

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-1-116-122>

Оценка минеральной плотности кости по данным компьютерной томографии у пациентов с мочекаменной болезнью

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

З.Р. Артюкова¹, А.В. Петряйкин¹, А.И. Громов², М.Ю. Просянников², А.А. Трудов², Р.А. Ерижиков¹, М.Д. Варюхина¹, А.В. Владзимирский¹, Ю.А. Васильев¹, А.В. Казаченко^{2,3}, А.В. Сивков², А.Д. Каприн³⁻⁵

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия

³ Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

⁴ Московский научно-исследовательский онкологический институт имени П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия

⁵ Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Минздрава России, Обнинск, Россия

Контакт: Артюкова Злата Романовна, zl.artyuikova@gmail.com

Аннотация:

Введение. В России неуклонно растет заболеваемость мочекаменной болезни (МКБ), ассоциированной с нарушением минеральной плотности костной ткани. Для диагностики МКБ используется компьютерная томография (КТ), рутинно не позволяющая оценить минеральную плотность кости (МПК). Предложена методика асинхронной количественной компьютерной томографии с фантомом, которая позволяет проводить оценку автоматизировано.

Цель. Оценить МПК тел позвонков у пациентов с установленным диагнозом МКБ по данным КТ.

Материалы и методы. Автоматическую оценку МПК проводили аппаратно-программным комплексом «Ка-Мед», который включает фантом для асинхронной калибровки КТ-сканера и программное обеспечение. Фантом имитирует поясничный отдел позвоночника, с различным значением раствора гидрофосфата калия, моделируя объемную МПК от «остеопороза» до «нормы». Данные сканирования фантома загружались в программное обеспечение, где автоматически строилась калибровочная кривая для пересчета из рентгеновской плотности (НУ) в минеральную плотность кости (мг/мл). Проведена оценка МПК у 65 пациентов с МКБ по критериям Американской коллегии радиологов (American College of Radiology – ACR) и выполнено сравнение с нормативными данными Калифорнийского университета.

Результаты. Выявлено, что у 7 пациентов МПК соответствует остеопорозу, у 27 пациентов – остеопении и 31 пациента – норме. По сравнению с нормативными данными МПК достоверно ниже, чем у пациентов без МКБ ($-1,05$ у мужчин, $p < 0,001$ и $-0,49$ у женщин, $p < 0,008$).

Заключение. Проведена автоматическая оценка минеральной плотности тел позвонков у пациентов с мочекаменной болезнью по данным компьютерной томографии. Выявлено достоверное снижение минеральной плотности относительно возрастных норм.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь; минеральная плотность кости; компьютерная томография.

Для цитирования: Артюкова З.Р., Петряйкин А.В., Громов А.И., Просянников М.Ю., Трудов А.А., Ерижиков Р.А., Варюхина М.Д., Владзимирский А.В., Васильев Ю.А., Казаченко А.В., Сивков А.В., Каприн А.Д. Оценка минеральной плотности кости по данным компьютерной томографии у пациентов с мочекаменной болезнью Экспериментальная и клиническая урология 2026;19(1):116-122; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-1-116-122>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-1-116-122>

Assessment of bone mineral density according to computed tomography in patients with urolithiasis

CLINICAL STUDY

Z.R. Artyukova¹, A.V. Petraikin¹, A.I. Gromov², M.Yu. Prosyannikov², A.A. Trudov², R.A. Erizhokov¹, M.D. Varyuhina¹, A.V. Vladzimirskiy¹, Yu.A. Vasilev¹, A.V. Kazachenko^{2,3}, A.V. Sivkov², A.D. Kaprin³⁻⁵

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia

² N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

⁴ P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Center of Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁵ National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, Obninsk, Russia

Contacts: Zlata R. Artyukova, zl.artyukova@gmail.com

Summary:

Introduction. The incidence of urolithiasis associated with impaired bone density is increasing in Russia. Computed tomography (CT) is used to diagnose urolithiasis but does not routinely allow direct assessment of bone mineral density. A method of asynchronous quantitative computed tomography with phantom has been proposed, which enables automated assessment.

Objective. To evaluate the bone mineral density of vertebral bodies in patients with urolithiasis using computed tomography data.

Materials and methods. The automatic evaluation was performed by the Ka-Med hardware and software package. The Ka-Med includes a phantom for asynchronous calibration of the CT scanner and software. The phantom simulates the lumbar spine with varying concentrations of potassium hydrophosphate solution: the volumetric bone mineral density ranging from «osteoporosis» to «normal». The phantom scan data was uploaded to the software. In the software calibration curve was automatically constructed for conversion from X-ray density (HU) to bone mineral density (mg/ml). Bone mineral density was assessed in 65 patients diagnosed with urolithiasis according to the American College of Radiology 2023 criteria and compared with normative data from the University of California.

Results. It was found that 7 patients had bone mineral density corresponded to osteoporosis, 27 patients had osteopenia and 31 patients were normal bone mineral density. Bone mineral density was significantly lower compared to normative data: in men (-1.05 ; $p < 0.001$) and in women (-0.49 ; $p < 0.008$).

Conclusion. An automatic assessment of the mineral density of vertebral bodies in patients with urolithiasis was performed using computed tomography data. A significant decrease in bone mineral density relative to normative data was observed.

Key words: urolithiasis; bone mineral density; computed tomography.

For citation: Artyukova Z.R., Petryaykin A.V., Gromov A.I., Prosyannikov M.Yu., Trudov A.A., Erizhokov R.A., Varyukhina M.D., Vladzimirsky A.V., Vasilev Yu.A., Kazachenko A.V., Sivkov A.V., Kaprin A.D. Assessment of bone mineral density according to computed tomography in patients with urolithiasis. *Experimental and Clinical Urology* 2026;19(1):116-122; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2026-19-1-116-122>

ВВЕДЕНИЕ

Заболеваемость и распространенность мочекаменной болезни (МКБ) среди взрослого населения неуклонно растет во всех регионах Российской Федерации. С 2005 по 2019 гг. количество новых случаев уролитиаза увеличилось на 14,0% [1]. МКБ чаще встречается у мужчин, чем у женщин (соотношение около 3:1) и проявляется в основном в возрасте 40–50 лет. Рецидивирование МКБ отмечается в 30–50% в течение 5–10 лет после первого эпизода [2]. Популяционные исследования продемонстрировали, что у пациентов с установленным диагнозом МКБ существует повышенный риск переломов [3–5].

В соответствии с клиническими рекомендациями Минздрава России пациентам с проявлениями МКБ рекомендуется выполнять компьютерную томографию (КТ) почек и мочевыводящих путей без контрастного усиления для планирования консервативного или оперативного лечения, с целью визуализации конкрементов мочевых путей, определения их локализации, размеров, количества и плотности [2]. Однако КТ не является методом выбора измерения минеральной плотности кости (МПК). Для этого применяется специализированная методика количественной компьютерной томографии (ККТ), которая требует синхронного или асинхронного фантома для калибровки КТ-сканера и специального программного обеспечения (ПО) [6, 7].

ККТ проводит дифференцировку трабекулярного и кортикального слоев кости, что важно для анализа метаболически активной губчатой костной ткани тел

позвонок. При стандартной процедуре сканирования оценка МПК проводится в телах двух позвонков в диапазоне от Th12 до L4, предпочтительнее всего в L1 и L2 [6, 8]. Стоит отметить, что метод ККТ больше подходит для предсказания последующих переломов, чем двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия – «золотой стандарт» определения МПК [9]. В позициях Международной ассоциации по клинической денситометрии отражена возможность оценки снижения рентгеновской плотности (РП) костной ткани по данным КТ с использованием единиц Хаунсфилда (HU) [6]. Существующие работы демонстрируют корреляцию между значениями единиц HU и МПК, а также ряд работ обосновывает использование единиц HU для предсказания перелома [10–12].

Ранее в Научно-практическом клиническом центре диагностики и телемедицинских технологий был разработана асинхронная методика количественной компьютерной томографии, для перевода единиц рентгеновской плотности в единицах HU в МПК (мг/мл) с использованием фантомного моделирования, которая аналогична ранее разработанной технологии ККТ [13]. Используя данную методику можно оценить МПК по критериям Американской коллегии радиологов (American College of Radiology, ACR) в ходе проведения рутинных КТ-исследований [14]. Таким образом, определена возможность количественной оценки МПК позвоночника у пациентов с МКБ и ранее выполненной КТ органов брюшной полости, без проведения дополнительного исследования после калибровки КТ-сканера с помощью асинхронной количественной компьютерной томографии. ■

Цель – оценить МПК тел позвонков у пациентов с установленным диагнозом МКБ по данным КТ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено одноцентровое ретроспективное исследование в ходе которого оценивалась МПК тел позвонков у пациентов с МКБ по данным компьютерной томографии органов брюшной полости (КТ ОБП).

Характеристика обследованных пациентов с МКБ представлена в табл. 1. Всего обследованы 65 пациентов в возрасте от 18 до 75 лет средний возраст составил 50 лет. Соотношение мужчин и женщин в исследовании составило 0,86.

Всем пациентом было выполнено КТ-исследование в интервале 3 мес после сканирования фантома. В течении данного интервала не производилась замена рентгеновской трубки, узлов томографа и обновление программного обеспечения.

КТ ОБП выполнялись пациентам для уточнения наличия конкрементов в почках или мочеточниках, или контрольное исследование после оперативного вмешательства по поводу конкрементов.

Исследования выполнялись на КТ сканере Aquilion 128 (Canon, Нидерланды), 128 срезов. Параметры КТ-сканирования пациентов и фантома соответствовали стандартному протоколу исследования органов брюшной полости: напряжение на рентгеновской трубке – 120 кВ; подбор тока автоматически (Sure Exposure 3D); толщина срезов 1,0 мм; питч 0,828; фильтр реконструкции (kernel) для мягких тканей с коррекцией эффекта усиления жесткости рентгеновского пучка (FC08).

Для автоматической оценки МПК тел позвонков применялся аппаратно-программный комплекс (АПК) «Ка-Мед», который реализует методику асинхронной

ККТ с применением фантомного моделирования. В состав АПК «Ка-Мед» входит: фантом для асинхронной калибровки КТ-сканера и программное обеспечение (ПО) «Ка-Мед». В нашем исследовании мы применяли разработанный ранее в фантом РСК ФК 2 (разработка средств контроля, фантом калиевый, вторая модификация) или другое название фантом денситометрический (ФД-1). Фантом представляет собой полый цилиндр, который заполнен водой. В цилиндре размещена конструкция, имитирующая поясничный отдел позвоночника. Модели позвонков заполнены раствором гидрофосфата калия (K_2HPO_4) с различной объемной концентрацией МПК, от «нормы» до «остеопороза»: 50,13; 100,19; 150,38; 200,49; 250,65; 350,79; 450,10; 551,21. Парафиновые накладки толщиной 38 мм имитируют подкожно-жировую клетчатку (рис. 1).

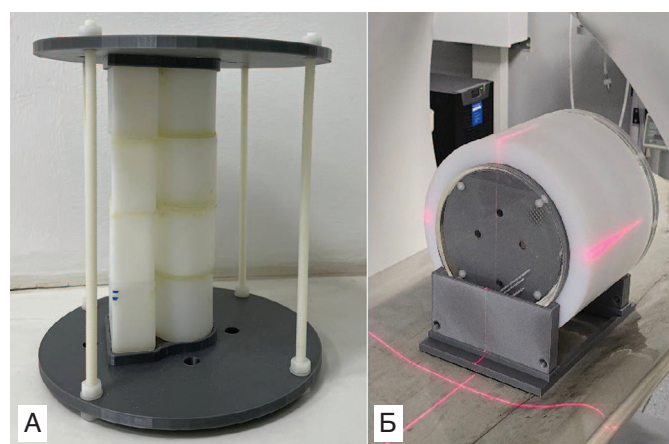


Рис. 1. А – конструкция фантома ФД-1; Б – расположение фантома ФД-1 во время сканирования в аппарате КТ
Fig. 1. A – construction of the densitometric phantom; Б – positioning of the densitometric phantom during scanning in the CT scan

Фантом ФД-1 помещался в центре деки стола КТ-сканера в соответствии с укладкой пациента при КТ ОБП (рис. 1, Б). После сканирования данные сохра-

Таблица 1. Характеристика группы пациентов
Table 1. Characterization of the patient group

Параметры Parameters	Мужчины Male	Женщины Female	Мужчины и женщины Male and female
Число пациентов с МКБ The number of patients with urolithiasis	30	35	65
Число пациенты, у которых выявлены конкременты по данным КТ The number of patients with stones detected on CT scans, n	23	30	53
Число пациенты после перенесенных операций по поводу МКБ The number of patients after surgery for urolithiasis	7	5	12
Число пациентов старше 50 лет The number of patients over 50 years old	18	17	35
Средний возраст, лет (M±SD) Mean age, years (M±SD)	50±14	49±14	50±14
Возраст, лет, МЕ [Q1; Q3] Age, years: ME [Q1; Q3]	53 [41; 61]; 18; 73	48 [39,5; 60]; 22; 73	65 [40; 60]; 18; 73

Примечание. М – среднее значение, SD – стандартное отклонение, ME – медиана, Q1 – 1 квартиль, Q3 – 3 квартиль
Note. M – mean value, SD – standard deviation, ME – median, Q1 – 1st quartile, Q3 – 3rd quartile

нялись в формате DICOM и загружалось в ПО «Ка-Мед». Далее использовался модуль построения калибровочной кривой, в котором автоматически анализировались результаты сканирования фантома ФД-1: проводилась автосегментация моделей позвонков и рассчитывалась усредненная РП в единицах HU, путем линейной аппроксимации подбирались коэффициенты пересчета из единиц HU в МПК (мг/мл) для интервала от «0» до «200» мг/мл. Данные калибровки фантома РСК-ФК 2 сохранялись и формировались в виде таблицы (рис. 2).

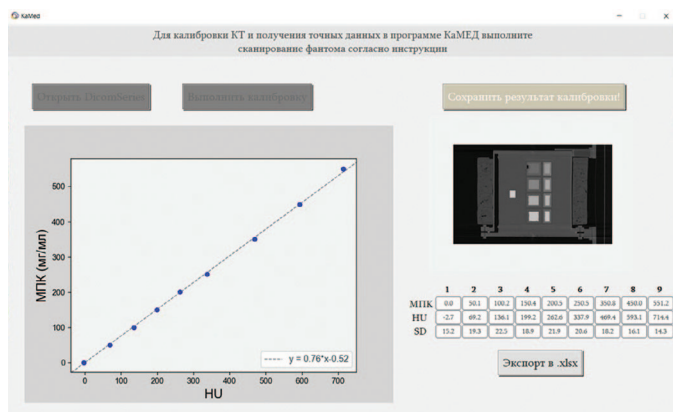


Рис. 2. Формирование калибровочной кривой в АПК «Ка-Мед» для получения коэффициента пересчета из РП в единицах HU (x) в МПК в мг/мл (y): $y=0,76x-0,52$

Fig. 2. Formation of the calibration curve in «Ka-Med» to obtain the coefficient of conversion of CT density in units HU (x) to bone mineral density in mg/ml (y): $y=0,76x-0,52$

После калибровки КТ-сканера проводилось сканирование пациента, у которого измерялась РП тел позвонков (Th11 – L3) врачом-рентгенологом, в программе просмотра DICOM-файлов – АПК АрхиМед. Измерение проводилось на бесконтрастной серии, после мультипланарной реконструкции, толщина среза увеличивалась до 1 см. Определялся срединный срез и проводилась разметка в теле позвонка без захвата позвоночной вены и кортикальных пластинок.

Анализировались данные по каждому пациенту, учитывая рассчитанные значения МПК в мг/мл для внесенных значений HU с учетом калибровок. Данные для нескольких позвонков усреднялись и сравнивались с нормативными данными Калифорнийского университета – UCSF (University of California, San Francisco) для возраста и абсолютными значениями по критериям ACR 2023, где при остеопорозе данный показатель – <80 мг/мл, при остеопении – >80 и <120 мг/мл, при норме – >120 мг/мл.

В исследование были включены все пациенты с установленным диагнозом МКБ, которым было выполнено КТ ОБП на откалиброванном КТ-сканере в период с декабря 2022 по март 2023 г. (3 мес после сканирования фантома с учетом рекомендаций) [15]. Была проведена оценка полученных данных МПК с нормативными критериями UCSF с использованием

биномиального теста. Все расчеты были проведены в Statistica 12 и Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным исследования было выявлено, что у 7 (10,8%) пациентов обоих полов МПК, которое соответствует остеопорозу. Средний возраст данных пациентов составлял 64 года. МПК, соответствующей остеопорозу, преимущественно наблюдался у пациентов женского пола (n=5). У 27 (41,5%) пациентов МПК соответствовала остеопении и средний возраст таких пациентов составил 47 лет. Соотношение мужчин и женщин с остеопенией составило 1,1 (14:13). У остальных пациентов было выявлено нормально значение МПК (31 пациент, 47,7%) и их средний возраст составлял 46 лет. Эти данные отображены на рис. 3, где МПК пациентов с МКБ отмечены черными точками. Пациенты, у которых МПК соответствовала остеопорозу, находились ниже красной линии, т.е. имели МПК <80 мг/мл, пациенты с остеопенией имели МПК в диапазоне между >120 мг/мл и <80 мг/мл. Пациенты выше желтой линии имели нормальное значение МПК (>120 мг/м).

Для оценки полученных значений МПК у пациентов МКБ относительно возрастных нормативных данных UCSF использовался биномиальный тест, заключающийся в определении достоверности смещения измеренных МПК пациентов выше; ниже средних значений, либо смещения не выявлено. Полученные данные демонстрировали значения МПК у пациентов с МКБ статистически значимо ниже соответствующих нормативных возрастных значений у мужчин ($p<0,001$) и у женщин ($p<0,008$) (табл. 2, рис. 3). Средний Z-критерий у мужчин составил -1,05 стандартного отклонения (SD); у женщин -0,49, что означает среднее снижение МПК у мужчин и женщин в соответствующих значениях SD. На рис. 3 наглядно демонстрируется, что большая часть полученных значений МПК у пациентов

Таблица 2. Сравнение полученных значений МПК у выборки с нормативными данными UCSF при $p=0,05$
Table 2. Comparison of the obtained bone mineral density values of the sample with the UCSF normative data at $p=0,05$

Параметр Parameter	Нормативная база UCSF The normative data of UASF	
	Мужчины Male	Женщины Female
Средний Z-критерий Mean Z-score	-1,05	-0,49
Медиана Z-критерия Median Z-score	-0,99	-0,70
p – значение p – value	<0,001	<0,008

с МКБ (черные точки) находится ниже средних возрастных значений (синяя кривая).

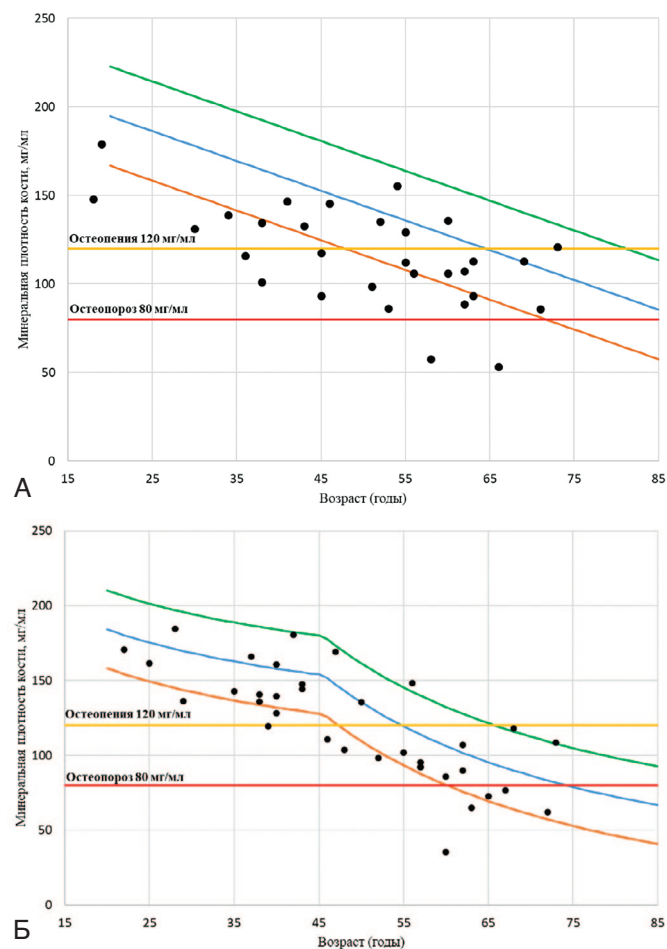


Рис. 3. Сравнение МПК у пациентов (мужчины – А, женщины – Б) с МКБ (черные точки) в сравнении с нормативными данными UCSF: значение МПК – синяя кривая, значение МПК +1 стандартное отклонение – зеленая кривая и значение МПК -1 стандартное отклонение – оранжевая кривая. Критерии АСР: красная линия – остеопороз (<80 мг/мл), желтая – остеопения (>120 мг/мл – <80 мг/мл)

Fig.3. Comparison of bone mineral density in patients (male – A, female – B) with urolithiasis (black dots) compared to UCSF normative data: bone mineral density value – blue curve, bone mineral density value +1 standard deviation – green curve and bone mineral density value -1 standard deviation – orange curve. ACR practice guideline: red curve – osteoporosis (< 80 mg/ml), yellow curve – osteopenia (>120 mg/ml – <80 mg/ml)

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования показано статистически значимые снижения объемной МПК тел позвонков при выполнении количественной компьютерной томографии у пациентов с МКБ относительно возрастных нормативных данных.

Данное наблюдение было выполнено с помощью проведения асинхронной ККТ и применением отечественного АПК «Ка-Мед» для КТ денситометрии. Существуют зарубежные программы для проведения КТ денситометрии, доступ к которым имеет ряд ограничений [16, 17].

Разработанный АПК «Ка-Мед», включает в себя фантом для асинхронной калибровки КТ-сканера и ПО с двумя внутренними программами: пересчет из

единиц НУ в МПК и диагностика остеопороза по критериям АСР [14, 18]. Данная методология имеет преимущество по сравнению с синхронными методами калибровки, позволяя проводить оценку МПК у пациентов с ранее выполненным КТ [16]. Помимо этого, в разработанном АПК «Ка-Мед» можно использовать данные РП, измеренные врачом-рентгенологом (в случае нашего исследования), и данные РП, которые были измерены специализированным сервисом искусственного интеллекта [19].

Отмечен интерес к оценке МПК у пациентов с установленным диагнозом МКБ. Проводится оценка взаимосвязи снижения МПК на фоне МКБ, оценивается природа конкрементов и их влияние на МПК, рассматривается снижение МПК, как предиктор рецидива МКБ [20–22]. Определено, что у пациентов с МКБ определяются факторы риска остеопороза по результатам анкетирования, а также сниженное МПК [23]. При этом МПК измерялась методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА). Нами проведена была оценка МПК по данным КТ-денситометрии. Общее количество пациентов со сниженным МПК в нашем исследовании составило 34 (52,3%). Это хорошо коррелирует с данными другого исследования, где аномальное значение МПК было выявлено у 60% пациентов [24]. Однако всего у 10,8% пациентов отмечена МПК, которая соответствует остеопорозу. Это соответствует данным полученными в работах, где у 9,2 и 12% пациентов с конкрементами был остеопороз [25, 26]. Это обусловлено возрастной особенностью групп пациентов, так в нашем исследовании средний возраст составил 50 лет.

Следует отметить, что наблюдалась тенденция снижения МПК относительно нормативной кривой UCSF (на -1,05 у мужчин и на -0,49 у женщин по среднему Z-критерию). Результаты настоящего исследования подтверждаются в других исследованиях. Например, в поперечном исследовании NHANES III мужчины с анамнезом МКБ и имели значительно более низкую МПК шейки бедренной кости, чем мужчины без анамнеза мочекаменной болезни (-0,051, $p < 0,001$) [26]. Также демонстрировалось, что МПК у пациентов с МКБ была ниже относительно пациентов без МКБ при выполнении ДРА, как поясничном отделе позвоночника (1,21 vs 1,04 г/см², $p < 0,001$), так и в шейке бедренной кости (0,98 vs 0,86 г/см², $p = 0,01$) [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена оценка минеральной плотности тел позвонков у пациентов с установленным диагнозом МКБ по данным КТ, используя разработанный аппаратно-программный комплекс для асинхронной количественной КТ «Ка-Мед» с применением фантомного моделирования. Полученные значения минеральной

плотности кости у пациентов с МКБ достоверно снижены относительно возрастных нормативных данных

для мужчин и женщин. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Каприн А.Д., Аполихин О.И., Сивков А.В., Анохин Н.В., Гаджиев Н.К., Малхасян В.А. и др. Заболеваемость мочекаменной болезнью в Российской Федерации с 2005 по 2020 гг. *Экспериментальная и клиническая урология*. 2022;15(2):10-17. [Kaprin A.D., Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Anokhin N.V., Gadzhiev N.K., Malkhasyan V.A., Akopyan G.N., Prosyannikov M.Yu. The incidence of urolithiasis in the Russian Federation from 2005 to 2020. *Experimentalnaya i klinicheskaya urologiya = Experimental and Clinical Urology*. 2022;15(2):10-17. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2022-15-2-10-17>.
- Мартов А.Г., Харчилова Р.Р., Акопян Г.Н., Гаджиев Н.К., Просьянников М.Ю., Малхасян В.А. Клинические рекомендации Мочекаменная болезнь. Общероссийская общественная организация «Российское общество урологов». Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава России. 2024 г. 118 с. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/7_2. [Martov A.G., Kharchilova R.R., Akopyan G.N., Gadzhiev N.K., Prosyannikov M.Yu., Malkhasyan V.A. Clinical guidelines Urolithiasis. All-Russian public organization «Russian Society of Urologists». Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2024. 118 p. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/view-cr/7_2. (In Russian)].
- Dhayat NA, Schneider L, Popp AW, Lüthi D, Mattmann C, Vogt B et al. Predictors of bone mineral density in kidney stone formers. *Kidney Int Rep*. 2021;15(7):558-67. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2021.12.003>.
- Taguchi K, Hamamoto S, Okada A, Tanaka Y, Sugino T, Unno R et al. Low bone mineral et al. Low bone mineral density is a potential risk factor for symptom onset and related with hypocitraturia in urolithiasis patients: a single-center retrospective cohort study. *BMC Urol*. 2020;20(1):174. <https://doi.org/10.1186/s12894-020-00749-5>.
- Taylor EN, Feskanich D, Paik JM, Curhan GC. Nephrolithiasis and Risk of Incident Bone Fracture. *J Urol*. 2016;195(5):1482-6. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2015.12.069>.
- The International Society For Clinical Densitometry (ISCD). The Adult Official Positions of the ISCD. URL: <https://iscd.org/official-positions-2023/>. Дата размещения: 20.10.2023. Дата обращения: 20.03.2025.
- Петрайкин А.В., Низовцова Л.А., Артюкова З.Р., Ахмад Е.С., Лобанов М.Н., Ледихова Н.В. Остеоденситометрия. Методические рекомендации. 2-е издание, переработанное и дополненное. Выпуск 88. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 60 с. [Petraikin A.V., Nizovtsova L.A., Artyukova Z.R., Akhmad E.S., Lobanov M.N., Ledikhova N.V. Osteodensitometry. Guidelines. 2nd edition, revised and supplemented. Issue 88. Series «Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics». Moscow: State Budgetary Healthcare Institution «Research and Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine of the Department of Health of the City of Moscow», 2020. 60 p. (In Russian)].
- Петрайкин А.В., Скрипникова И.А. Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор. *Медицинская визуализация*. 2021;25(4):134-46. [Petraikin A.V., Skripnikova I.A. Quantitative Computed Tomography, modern data. Review. *Meditsinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2021; 25 (4): 134-46. (in Russian)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>
- Löffler MT, Jacob A, Valentinitich A, Riemüller A, Zimmer C, Ryang YM et al. Improved prediction of incident vertebral fractures using opportunistic QCT compared to DXA. *Eur Radiol*. 2019;29(9):4980-9. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06018-w>.
- Buenger F, Sakr Y, Eckardt N, Senft C, Schwarz F. Correlation of quantitative computed tomography derived bone density values with Hounsfield units of a contrast medium computed tomography in 98 thoraco-lumbar vertebral bodies. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142(11):3335-40. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04184-5>.
- Jang S, Graffy PM, Ziemlewicz TJ, Lee SJ, Summers RM, Pickhardt PJ. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 Adults. *Radiology*. 2019;291(2):360-7. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019181648>.
- Emohare O, Cagan A, Polly D.W., Gertner E. Opportunistic computed tomography screening shows a high incidence of osteoporosis in ankylosing spondylitis patients with acute vertebral fractures. *J. Clin. Densitom*. 2015;18(1):17-21. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2014.07.006>
- Петрайкин А.В., Сморгчкова А.К., Кудрявцев Н.Д., Сергунова К.А., Артюкова З.Р., Абуладзе Л.Р. и др. Сравнение двух методик асинхронной КТ-денситометрии. *Медицинская визуализация*. 2020;24(4):108-18. [Petraikin A.V., Smorchkova A.K., Kudryavtsev N.D., Sergunova K.A., Artyukova Z.R., Abduladze L.R., et al. Comparison of two asynchronous QCT methods. *Meditsinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2020;24 (4): 108-18. (In Russian)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118>.
- American College of Radiology. ACR- Spr-Ssr Practice Guideline for the Performance of Quantitative Computed Tomography (QCT) Bone. URL: <https://gravitas.acr.org/PPTS/GetDocumentView?docId=11>.
- Васильев Ю. А., Владимирский А. В., Артюкова З. Р., Петрайкин А.В., Кудрявцев Н.Д., Черкасская М.В. и др. Диагностика и скрининг остеопороза по результатам компьютерной томографии органов брюшной полости. Выпуск 132. Методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023 г. 29 с. [Vasiliev Yu. A., Vladimirsky A. V., Artyukova Z. R., Petraikin A. V., Kudryavtsev N. D., Cherkasskaya M. V. et al. Diagnostics and screening of osteoporosis based on the results of computed tomography of abdominal organs. Issue 132. Methodological recommendations. Series "Best practices in radiation and instrumental diagnostics". Moscow: State Budgetary Healthcare Institution "Research and Clinical Center for Diagnostics and Technology of the Department of Health of the City of Moscow", 2023. 29 p. (In Russian)].
- Wang L, Su Y, Wang Q, Duanmu Y, Yang M, Yi C, Cheng X. Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography. *Sci Rep*. 2017;7(1):6284. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06608-y>.
- Skornitzke S, Vats N, Kopytova T, Tong EWY, Hofbauer T, Weber TF et al. Asynchronous calibration of quantitative computed tomography bone mineral density assessment for opportunistic osteoporosis screening: phantom-based validation and parameter influence evaluation. *Sci Rep*. 2022;12(1):20729. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24546-2>.
- Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Семенов Д.С., Петрайкин А.В., Артюкова З.Р. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681736 Российская Федерация. Программа Ка-Мед для автоматизации количественной компьютерной томографии: № 2024680461: заявл. 03.09.2024 : опубл. 12.09.2024; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы». [Vasiliev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Omelyanskaya O.V., Semenov D.S., Petraikin A.V., Artyukova Z.R. et al. The Ka-Med program for automation of quantitative computed tomography: No. № 2024680461: submitted 03.09.2024: published 12.09.2024. Submitter Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department. (in Russian)].
- Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петрайкин А.В., Абуладзе Л.Р., Сморгчкова А.К., Ахмад Е.С. и др. Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2023;27(2):125-37. [Artyukova Z.R., Kudryavtsev N.D., Petraikin A.V., Abduladze L.R., Smorchkova A.K., et al. Using an artificial intelligence algorithm to assess the bone mineral density of the vertebral bodies based on computed tomography data. *Meditsinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2023;27(2):125-37. (in Russian)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1257>.
- Jia S, Liao J, Wang Y, Zheng W, Jin J, Xu W, Zheng Q. Prevalence of osteoporosis in patients with nephrolithiasis and vice versa: a cumulative analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023;14:1180183. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1180183>.
- Rendina D, D'Elia L, Evangelista M, De Filippo G, Giaquinto A, Barone B et al. Osteoporosis is a predictive factor for nephrolithiasis in an adult free-living caucasian population from Southern Italy: A longitudinal retrospective study based on a general practice database. *Calcif Tissue Int*. 2020;107(5):446-52. <https://doi.org/10.1007/s00223-020-00737-9>.
- Ganesan C, Thomas IC, Romero R, Song S, Conti S, Elliott C et al. Osteoporosis, fractures, and bone mineral density screening in veterans with kidney stone disease. *J Bone Miner Res*. 2021;36(5):872-8. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4260>.
- Демидко Л.С., Руденко В.И., Григорян В.А., Демидко Л.С., Еникеев М.Э., Инояттов Ж.Ш. Факторы риска остеопороза при мочекаменной болезни. *Эффективная фармакотерапия*. 2017;(34):22-5. [Demidko Yu.L., Rudenko V.I., Grigoryan V.A., Demidko L.S., Enikeev M.E., Inoyatov Osteoporosis risk factors in urolithiasis. *Effektivnaya farmakoterapiya = Effective pharmacotherapy*. 2017;(34):22-5. (In Russian)].
- Elkoushy MA, Jundi M, Lee TT, Andonian S. Bone mineral density status in urolithiasis patients with vitamin D inadequacy followed at a tertiary stone centre. *Can Urol Assoc J*. 2014;8(9-10):323-8. <https://doi.org/10.5489/auaj.2055>.
- Kim SY, Chung J, Park DS, Yoo DM, Bang WJ, Choi HG. The Reciprocal Relationship between Osteoporosis and Renal Stones. *J Clin Med*. 2022;11(22):6614. <https://doi.org/10.3390/jcm11226614>.
- Lauderdale DS, Thisted RA, Wen M, Favus MJ. Bone mineral density and fracture among prevalent kidney stone cases in the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *J Bone Miner Res*. 2001;16(10):1893-8. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2001.16.10.1893>.

Сведения об авторах:

Артюкова З.Р. – м.н.с. отдела стандартизации и контроля качества Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 1065545, <https://orcid.org/0000-0003-2960-9787>

Петрайкин А.В. – д.м.н., доцент, главный научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 568598, <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>

Громов А.И. – д.м.н., профессор, руководитель группы лучевых методов диагностики и лечения отдела онкоурологии НИИ урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиал НМИЦ радиологии Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 304475, <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Просьянников М.Ю. – д.м.н., заведующий отделом мочекаменной болезни НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал НМИЦ радиологии Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 791050, <https://orcid.org/0000-0003-3635-5244>

Трудов А.А. – врач-уролог НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал НМИЦ радиологии Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 787871

Ерижиков Р.А. – руководитель отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 1252143, <https://orcid.org/0009-0007-3636-2889>

Варюхина М.Д. – к.м.н., начальник сектора разработки цифровых решений для медицины Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 1133601, <https://orcid.org/0000-0001-8870-7649>

Владимирский А.В. – д.м.н., заместитель директора по научной работе Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 820681, <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Васильев Ю.А. – д.м.н., главный врач Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 798326, <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>

Казаченко А.В. – д.м.н., заместитель директора по лечебной работе НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – Филиал НМИЦ радиологии Минздрава России, профессор кафедры урологии и оперативной нефрологии с курсом онкоурологии Российского университета дружбы народов; Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 334714, <https://orcid.org/0000-0003-3198-5933>

Сивков А.В. – к.м.н., заместитель директора по научной работе НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал НМИЦ радиологии Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 622663, <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Каприн А.Д. – д.м.н., профессор, академик РАН, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, директор МНИОИ имени П.А. Герцена, зав. кафедрой онкологии и рентгеноурологии им. В.П. Харченко, РУДН, главный внештатный онколог Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID: 96775, <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Вклад авторов:

Артюкова З.Р. – обзор литературы, написание текста статьи, общий и статистический анализ полученных данных, 15%
Петрайкин А.В. – написание текста статьи, выполнение экспериментальной части исследования, 15%
Громов А.И. – выполнение экспериментальной части исследования, редактирование текста статьи, 10%
Просьянников М.Ю. – сбор материала, редактирование текста статьи, 15%
Трудов А.А. – сбор материала, 5%
Ерижиков Р.А. – создание методологии, концепции и дизайна исследования, редактирование текста статьи, 5%
Варюхина М.Д. – разработка программного обеспечения, статистический анализ, 10%
Владимирский А.В. – редактирование текста статьи, 5%
Васильев Ю.А. – создание методологии, концепции и дизайна исследования, 5%
Казаченко А.В. – создание методологии, концепции и дизайна исследования, 5%
Сивков А.В. – научное консультирование, 5%
Каприн А.Д. – научное консультирование, 5%

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена без финансовой поддержки.

Статья поступила: 5.11.25

Результаты рецензирования: 24.12.25

Исправления получены: 20.01.26

Принята к публикации: 25.01.26

Information about authors:

Artyukova Z.R. – Junior Research Scientist of Standardization and Quality Control Department of Center for Diagnostics and Telemedicine of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 1065545, <https://orcid.org/0000-0003-2960-9787>

Petraikin A.V. – Dr. Sci., Associate Professor, Senior Research Scientist of Standardization and Quality Control Department of Center for Diagnostics and Telemedicine of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 568598, <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>

Gromov A.I. – Dr. Sci., Professor, Head of the Group of Radiation Diagnostic and Treatment Methods of the Oncology Department of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID: 304475, <https://orcid.org/0000-0002-9014-9022>

Prosyannikov M.Yu. – Dr. Sci., head of the department of urolithiasis of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID: 791050, <https://orcid.org/0000-0003-3635-5244>

Trudov A.A. – urologist of N.A. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID: 787871

Erizhokov R.A. – Head of the Department Standardization and Quality Control Department of Center for Diagnostics and Telemedicine of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 1252143, <https://orcid.org/0009-0007-3636-2889>

Varyukhina M.D. – PhD, Head of the Department for Development of Digital Solutions for Medicine of Center for Diagnostics and Telemedicine of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 1133601, <https://orcid.org/0000-0001-8870-7649>

Vladzimirskyy A.V. – Dr. Sci., Deputy Director for Research of Center for Diagnostics and Telemedicine of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 820681, <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>

Vasilev Yu.V. – Dr. Sci., Chief Medical Officer of Center for Diagnostics and Telemedicine, of Moscow City Department of Health, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 798326, <https://orcid.org/0000-0002-5283-5961>

Kazachenko A.V. – Dr. Sci., Deputy Director for Medical Work of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – Branch of the National Medical Research Centre of Radiology of the Ministry of Health of Russian Federation, professor of the Department of Urology and Operative Nephrology with a course of oncology of RUDN University, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 334714, <https://orcid.org/0000-0003-3198-5933>

Sivkov A.V. – PhD, Deputy Director on scientific work of N. Lopatkin Research Institute of urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Centre of Ministry of health of Russian Federation, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 622663, <https://orcid.org/0000-0001-8852-6485>

Kaprin A.D. – Dr. Sci., professor, academician of RAS, general director of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, director of P.A. Herzen Institution, Head of Department of Oncology and Radiology named after V.P. Kharchenko RUDN University, Moscow, Russia; RSCI Author ID: 96775, <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Authors' contributions:

Artyukova Z.R. – literature review, writing the text of the article, general and statistical analysis of the obtained data, 20%
Petraikin A.V. – writing the text of the article, performing the experimental part of the research, 15%
Gromov A.I. – performing the experimental part of the research, editing the text of the article, 10%
Prosyannikov M.Yu. – collection of materials, editing the text of the article, 10%
Trudov A.A. – collection of materials, 5%
Erizhokov R.A. – creation of methodology, concept and design of research, editing the text of the article, 5%
Varyukhina M.D. – software development, statistical analysis, 10%
Vladzimirskyy A.V. – editing the text of the article, 5%
Vasilev Yu.A. – creation of methodology, concept and design of research, 5%
Kazachenko A.V. – creation of methodology, concept and design of research, 5%
Sivkov A.V. – scientific advice, 5%
Kaprin A.D. – scientific advice, 5%

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was made without financial support.

Received: 5.11.25

Peer review: 24.12.25

Corrections received: 20.01.26

Accepted for publication: 25.01.26