

Артюкова Злата Романовна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА ПРИ
КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРВИСОВ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

3.1.25. – Лучевая диагностика (медицинские науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Работа выполнена в Государственном бюджетном учреждении здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»)

Научный руководитель:

Петряйкин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, доцент

Официальные оппоненты:

Васильев Александр Юрьевич – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО Российский университет медицины МЗ РФ

Селивёрстов Павел Владимирович – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом лучевой диагностики научно-клинического отдела нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)

Защита диссертации состоится «__» _____ 2026 года в ____ часов на заседании диссертационного совета 21.1.044.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 115093, г. Москва, ул. Большая Серпуховская, дом 27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации и на сайте:

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат медицинских наук, доцент

Кондратьев Евгений Валерьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Развитие отечественного здравоохранения, повышение качества жизни привели к увеличению продолжительности жизни населения в Российской Федерации (РФ), что, в свою очередь, повлекло за собой рост количества пациентов, относящихся к группе риска по остеопорозу (ОП). На сегодняшний день проблемы, связанные с заболеванием ОП, актуальны в отношении около 14 млн человек (10 % населения страны) [Белая Ж.Е. и др., 2021; Лесняк О.М. и др., 2018]. При этом риск развития ОП в РФ вырос на 18 % и затрагивает 40 млн человек [Лесняк О.М. и др., 2010]. Ожидается, что к 2050 г. данные показатели возрастут на 25 % и тем самым группа риска по патологическим низкоэнергетическим переломам (осложнение ОП) составит 50 млн человек. ОП чаще встречается у пожилых пациентов, с увеличением возраста частота встречаемости ОП растет. В РФ среди лиц в возрасте 50 лет и старше ОП выявляется у 34 % женщин и 27 % мужчин [Белая Ж.Е. и др., 2021]. Следует подчеркнуть, что появление низкоэнергетического перелома не только ухудшает качество жизни и может привести к длительной утрате трудоспособности, но и зачастую приводит к инвалидизации и летальным исходам, а также влечет за собой значительные финансовые затраты на лечение, реабилитацию и социальные выплаты [Добровольская О.В. и др., 2016; Петряйкин А.В. и др., 2021]. Таким образом, ОП является медицинской и социально-экономической проблемой, для предотвращения которой необходимо принимать меры обеспечения своевременной диагностики данного заболевания [Kanis J., 2007].

Передовым методом диагностики ОП, применяемым в клинической практике, является асинхронная количественная компьютерная томография (ККТ), которая представляет собой сканирование пациента на заранее откалиброванном компьютерном томографе [Brown J.K. и др., 2017]. Преимущество данного метода – возможность отдельного анализа минеральной плотности кости (МПК) в трабекулярном и кортикальном слоях кости позвонков, что важно для анализа метаболически активной губчатой костной ткани тел позвонков и для оценки терапевтической эффективности [Петряйкин А.В. и др., 2021]. Результаты анализа МПК, полученные в ходе исследований ККТ, сопоставимы с «золотым стандартом» в остеоденситометрии – двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) для проксимального отдела бедренной кости [Yu J.S. et al., 2022]. Однако в силу того, что для использования ККТ требуется специальное программное обеспечение и формируется более высокая лучевая нагрузка на пациента относительно ДРА, этот метод относят к дополнительным денситометрическим технологиям.

Рассматривается подход к диагностике ОП по данным рутинных рентгенологических исследований, выполненных по другим показаниям, – оппортунистический скрининг [Alacreu E. et al., 2017; Ziemlewicz T.J. et al., 2015; Rebello D. et al., 2018]. Таким образом, при исследовании методом компьютерной томографии органов грудной клетки и органов брюшной полости (КТ ОГК и ОБП) можно определить один из признаков ОП – наличие компрессионных переломов (КП) позвонков. При этом существует проблема гиподиагностики КП по данным рутинных рентгенологических исследований [Lenchik L. et al., 2004]. Эту проблему предлагалось решить путем применения автоматизированных решений для анализа изображений и уведомления врача-рентгенолога о возможном присутствии КП тел позвонков у конкретного пациента. В этой связи представляется перспективным применение сервисов искусственного интеллекта (ИИ-сервисов) с целью диагностики ОП: определение КП и идентификация состояний снижения МПК до уровня ОП по данным КТ-исследований как неотъемлемого компонента скрининга данного заболевания и инициирование лечения [Bar A. et al., 2017; Tomita N. et al., 2018; Savage R.H. et al., 2020; Tang C. et al., 2021].

На денситометрические исследования, в том числе на асинхронную ККТ, чаще направляют пациентов с первичным ОП, чем со вторичным, несмотря на эффективность определения МПК при помощи данной методики [Jiang Y. et al., 2022; Петрайкин А.В. и др., 2019]. Таким образом, применение автоматизированных решений для анализа рутинных КТ-исследований позволит выявить пациентов со сниженным значением МПК, в том числе и с риском возникновения вторичного ОП.

Существует ряд популяционных исследований, направленных на оценку возрастных показателей МПК по данным ДРА в разных странах [Zhang Z.-Q. et al., 2014; Namwongprom S. et al., 2011]. К таким исследованиям относится The National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III), данные которого используются в настоящее время как нормативные базы для производителей ДРА-сканеров. Однако для КТ-денситометрии применяются возрастные нормативные показатели изменения МПК – UCSF (University of California, San Francisco – Калифорнийский университет, Сан-Франциско). Целесообразно провести оценку возрастного распределения МПК в г. Москве.

Таким образом, проведение оппортунистического скрининга ОП с использованием ИИ-сервисов для автоматического анализа КТ-изображений на наличие КП и измерения МПК тел позвонков представляется перспективным направлением, которое сможет улучшить показатели скрининга ОП без дополнительной лучевой нагрузки, временных затрат, привлечения дополнительных усилий врачей-рентгенологов. Перспективным направлением также является исследование пациентов с вторичным ОП.

Цели и задачи

Цель исследования – улучшить диагностику остеопороза по данным компьютерной томографии с применением сервисов искусственного интеллекта.

Задачи исследования:

1. Проанализировать применение искусственного интеллекта для диагностики остеопороза по данным компьютерной томографии, используя результаты мониторинга исследований, обработанных различными сервисами искусственного интеллекта.
2. Разработать подходы к дифференциальной диагностике компрессионной деформации и компрессионных переломов, представить данные о их распространенности.
3. Сформировать данные по возрастному распределению минеральной плотности кости.
4. Оценить на практике аппаратно-программный комплекс для автоматизированной оценки минеральной плотности кости у пациентов с первичным и вторичным остеопорозом.
5. Обосновать применение сервисов искусственного интеллекта для ранней диагностики остеопороза.

Научная новизна

1. На основании проведенных мониторингов на этапе клинического внедрения выполнена сравнительная оценка работы ИИ-сервисов. Продемонстрированы более высокие диагностические возможности морфометрических ИИ-сервисов по сравнению с бинарными; наряду с базовыми диагностическими требованиями это сформировало стандарты автоматизированной диагностики КП тел позвонков при ОП. Помимо этого, выявлены основные влияющие факторы, определяющие точность выполнения клинической задачи, а также созданы условия для оптимизации ИИ-сервисов.
2. Предложено разделение клинически значимых компрессионных деформаций (КД) тел позвонков (более 25 %) на КП и собственно КД. Оптимальным критерием служит деформация тел позвонков более 31 % – КП с оптимальными метриками точности. Проведена оценка возможности применения ИИ-сервисов в диагностике ОП по данным КТ-исследований для оппортунистического скрининга ОП. Диагностическая точность применения ИИ-сервисов показана при выполнении ДРА.
3. Впервые ИИ-сервисы использованы для формирования возрастных нормативных зависимостей МПК тел позвонков в группе мужчин и женщин от 20 до 90 лет. Показано статистически значимое снижение МПК у мужчин относительно имеющейся нормативной базы

данных для КТ-денситометрии Калифорнийского университета, Сан-Франциско (UCSF) и отечественных данных 1999 г.

4. Создана методология автоматизированного определения МПК по данным КТ-исследований. С помощью аппаратно-программного комплекса (АПК) для асинхронной КТ-денситометрии впервые проведено исследование оценки МПК в группе пациентов с мочекаменной болезнью (МКБ) и показано статистически значимое занижение МПК по сравнению с полученной нормативной возрастной зависимостью.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. При использовании стандартных инструментов тестирования и мониторинга ИИ-сервисов в диагностике КП объективно сравнили два ИИ-сервиса, определили перспективную технологию морфометрической оценки степени КД тел позвонков.

2. На базе трех медицинских организаций (МО), оказывающих амбулаторно поликлиническую помощь, реализована модель оппортунистического скрининга ОП по данным рутинных КТ-исследований, которые были выполнены с другими целями, что позволило на практике внедрить алгоритм выявления и верификации данного заболевания.

3. Созданы актуальные нормативные данные объемной МПК для мужчин и женщин от 20 до 90 лет для г. Москвы с целью интерпретации перспективных данных КТ-денситометрии и проведения оппортунистического скрининга ОП.

4. Проведенная оценка аппаратно-программного комплекса, включающего в себя фантом, моделирующий заданную объемную МПК, и ПО для автоматизированной оценки МПК по данным КТ-исследований, продемонстрировала возможность определения снижения МПК у пациентов с мочекаменной болезнью по сравнению с возрастной нормой в рамках оппортунистического скрининга вторичного ОП.

Методология и методы исследования

Формулировка цели и задачи исследования, а также разработка дизайна научной работы основывались на анализе зарубежной и отечественной литературы, посвященной вопросам лучевой диагностики ОП. При создании методологии исследования были использованы данные из отечественных клинических рекомендаций по ОП, критерии Американской коллегии радиологии (American College of Radiology, ACR) 2023 г., позиция Международного общества клинической денситометрии (International Society for Clinical Densitometry, ISCD) 2023 г. относительно КТ-денситометрии, нормативные базы данных МПК для КТ-денситометрии UCSF

и отечественные данные 1999 г., а также базовые диагностические и базовые функциональные требования для ИИ-сервисов в Эксперименте по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения (далее – Эксперимент) по направлению «Компрессионные переломы тел позвонков (остеопороз)».

В исследование было включено 3207 пациентов, которым выполнялась КТ ОГК и ОБП в различных МО. Результаты КТ-исследований были проанализированы пятью ИИ-сервисами на наличие КП и снижение плотности костной ткани. Помимо этого, предварительно была проведена асинхронная калибровка КТ-сканеров с помощью фантома, что позволило оценить в абсолютных значениях состояние МПК в выполненных исследованиях.

Достоверность полученных результатов подтверждается проведенным статистическим анализом, что соответствует принципам доказательной медицины. Результаты исследования опубликованы в научных журналах, соответствующих критериям ВАК.

Положения, выносимые на защиту

1. Тестирование и апробация ИИ-сервисов в рамках Эксперимента позволяет определить наиболее перспективные технологии оценки КП и контролировать работу ИИ-сервисов в условиях клинического применения.
2. Применение ИИ-сервиса позволяет определить оптимальный порог КД, позволяющий проводить дифференциальную диагностику КП.
3. ИИ-сервисы возможно использовать для выявления признаков ОП для последующей верификации заболевания методом ДРА.
4. Применение ИИ-сервиса совместно с фантомным моделированием позволяет получить нормативные значения возрастной зависимости МПК тел позвонков и сравнить полученные данные с имеющимися нормативными кривыми.
5. Применение асинхронной калибровки с помощью фантома, что позволяет оценить степень снижения МПК у пациентов с МКБ.

Личный вклад

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, формулировке цели и задач работы на основании самостоятельного анализа данных отечественной и зарубежной литературы. Автором лично разработан дизайн исследования, методологический подход к

выполнению диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту. Автор самостоятельно подготовил базу данных, осуществил анализ данных и обобщил результаты, сформировал заключение, выводы, рекомендации. Автор участвовал в разработке рекомендаций по диагностике и скринингу ОП по результатам КТ-исследований, базовых диагностических и базовых функциональных требований для ИИ-сервисов по направлению «Компрессионные переломы тел позвонков (остеопороз)» и сопроводительной документации для врачей к АПК «Ка-Мед» на основе методики асинхронной ККТ. Публикации по теме диссертационного исследования, доклады на научных мероприятиях и объекты интеллектуальной собственности подготовлены как лично автором, так и в соавторстве. Написание и оформление рукописи диссертации осуществлялось соискателем лично.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Научные положения диссертации соответствуют паспорту специальности 3.1.25. Лучевая диагностика, направление исследований: п. 10 и п. 11 (Разработка программ раннего и своевременного выявления заболеваний органов и систем организма, включая программы скрининга, с использованием методов лучевой диагностики; использование цифровых технологий, искусственного интеллекта и нейросетей для диагностики и мониторинга физиологических и патологических состояний, заболеваний, травм и пороков развития (в том числе внутриутробно) с помощью методов лучевой диагностики).

Степень достоверности и апробация результатов

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на отечественных и международных конгрессах: ежегодное собрание The American Society for Bone and Mineral Research (2022 г.); Российский конгресс по остеопорозу, остеоартриту и другим метаболическим заболеваниям скелета с международным участием (2022 и 2024 гг.); Конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов (2023 и 2024 гг.); Российский диагностический саммит (2023 и 2024 гг.); IX конгресс, посвященный 100-летию Зацепина Сергея Тимофеевича «Проблема остеопороза в травматологии и ортопедии. Акцент на пациента: путь от теории к практике» (2024 г.); Научно-практическая конференция по медицинской визуализации «Онлайн-диагностика 24» (2024 г.).

В 2022 г. работа была удостоена премии Правительства Москвы молодым ученым в области «Фармацевтика, медицинское оборудование и материалы» за разработку и применение универсального тест-объекта (фантома) для денситометрических исследований с целью

повышения эффективности диагностики остеопороза» и премии молодым ученым им. Ю.Н. Соколова за лучшую научную работу по лучевой диагностике на XVII Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2024» за пилотное исследование.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 8 статей: 6 – в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования РФ, и 2 – в журнале, который включен в международную базу данных Scopus, 2 выпуска методических рекомендаций и 2 патента.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационного исследования применяются в практической работе Научно-исследовательского института урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России и активно используются в практической и научной деятельности Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Структура и объем работы

Диссертация изложена на 135 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, сокращения, списка литературы и приложения. Список литературы содержит 143 наименования, из них 50 отечественных и 93 иностранных источника. Представленный материал иллюстрирован 32 рисунками и 15 таблицами.

Одобрение этического комитета

Проведение диссертационного исследования одобрено Независимым этическим комитетом Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов, протокол от 17 ноября 2022 г. № 10.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы

В работу было включено 3207 пациентов, которым была выполнена КТ ОГК и ОБП в различных МО. КТ-изображения данных пациентов были проанализированы пятью ИИ-сервисами на наличие КП и снижение МПК.

Проанализирована работа двух ИИ-сервисов в рамках Эксперимента по направлению «Компрессионные переломы тел позвонков (остеопороз)». В соответствии с базовыми функциональными и базовыми диагностическими требованиями ИИ-сервисы анализируют КТ ОГК и ОБП на наличие патологии: определяют наличие и локализацию КП тел позвонков с деформацией более 25 %, а также выполняют их дифференцировку по степени согласно классификации Genant [Genant Н.К. et al., 1993]. Для улучшения диагностики ОП была сформирована дополнительная задача – выявление снижения МПК тел позвонков (для уровня Th11–L3) и оценка соответствия критериям ISCD 2023 и ACR 2023.

ИИ-сервисы прошли этап самотестирования на 6 исследованиях, который проводился самостоятельно разработчиками для оценки соответствия ИИ-сервиса критериям участия в Эксперименте. Далее следовало функциональное тестирование – 5 исследований (2 с признаками патологии, 2 – без, 1 – с техническим дефектом) и калибровочное – 100 исследований (50 с признаками патологии и 50 – без). Результаты функционального тестирования оценивались экспертной группой для подтверждения формального соответствия базовым функциональным и базовым диагностическим требованиям, а также оценки корректности решения поставленной клинической задачи. На этапе калибровочного тестирования рассчитывались количественные метрики точности (чувствительность, специфичность, точность, площадь под ROC-кривой).

Далее следовал этап апробации, который предполагал интеграцию в информационную систему Департамента здравоохранения г. Москвы (ДЗМ) и обработку результатов выполняемых диагностических исследований в ограниченном наборе МО. Ежемесячно экспертной группой проводился мониторинг 20 случайно отобранных исследований, которые проанализировали ИИ-сервисы, относительно выполнения клинической задачи и соответствия техническим параметрам. После каждого мониторинга выполнялся расчет количественных метрик и в компанию-разработчик направлялась детальная информация о результатах с рекомендациями по улучшению работы ИИ-сервиса. Заключительный этап в рамках Эксперимента – этап опытной эксплуатации, во время которого ИИ-сервисы работали в условиях, идентичных реальной практике в амбулаторных и стационарных МО ДЗМ. Аналогично этапу апробации каждый месяц экспертной группой проводился мониторинг 80 исследований.

На следующем этапе определяли диагностическую точность применения ИИ-сервисов в выявлении КП в клинической практике. Для этого было проведено ретроспективное исследование, в которое включили пациентов старше 50 лет. Им выполнялась КТ ОГК в МО, подведомственной ДЗМ. Сканирование пациентов проводилось на семи КТ-сканерах Aquilion 64 (Canon, Япония) на протяжении июня 2021 г. КТ-исследования анализировал ИИ-сервис, который участвовал в Эксперименте. Он проводил оценку медицинских изображений на наличие или отсутствие патологии по направлению «Компрессионные переломы тел позвонков (остеопороз)», т. е. оценивал высоту тела позвонка в вентральном, срединном и дорсальном отделах, и после этого производился расчет индекса деформации по формуле (1) и выполнялась классификация по степени Genant.

$$G = \left(\frac{h_{max} - h_{min}}{h_{max}} \right) * 100\%, \quad (1)$$

где G – индекс деформации в процентах, h_{max} – максимальная высота тела позвонка, h_{min} – минимальная высота тела позвонка. Значимой считается деформация более 25 %, что соответствует 2 и 3 степени Genant.

Каждое КТ-исследование и результат анализа, выполненного ИИ-сервисом, были пересмотрены врачами-рентгенологами со стажем работы от 3 до 5 лет: оценивалось наличие или отсутствие КП или КД, проводилось измерение высоты тел позвонков, рассчитывался индекс деформации. Помимо этого, выполнялась оценка в соответствии с алгоритмом качественного метода, т. е. оценивались изменения, характерные для КП, включая вовлечение замыкательной пластинки.

В рамках Эксперимента был реализован пилотный проект по оппортунистическому скринингу ОП с помощью ИИ-сервисов. Данный проект подразумевал апробацию применения в клинической практике результатов автоматического анализа КТ-исследований, полученных с помощью ИИ-сервисов, на наличие признаков ОП. В исследование были включены пациенты, которым выполнялась КТ ОГК в период с октября 2022 г. по октябрь 2023 г. в трех МО ДЗМ. Далее был проведен отбор пациентов старше 50 лет, у которых по данным анализа КТ-исследований ИИ-сервисы выявили признаки ОП, а именно наличие КП и/или снижение рентгеновской плотности (РП) тел позвонков. Отобранные КТ-исследования подвергались повторному чтению врачами-рентгенологами со стажем работы не менее 5 лет на предмет наличия целевой патологии, в том числе с использованием алгоритма качественного метода для определения КП на фоне ОП. Был сформирован окончательный список пациентов с признаками ОП, у которых по данным КТ-исследования ИИ-сервисы определили наличие КП (индекс деформации > 31 %), и РП у отобранных пациентов составляла менее 100 HU. В МО лечащему

врачу был направлен итоговый список пациентов, которым необходимо пройти исследование методом ДРА для подтверждения диагноза «остеопороз».

Далее было выполнено многоцентровое ретроспективное исследование, направленное на оценку МПК у пациентов обоих полов в возрасте от 20 до 90 лет в г. Москве. Для оценки МПК по данным рутинных КТ-исследований применялась ранее разработанная и апробированная методика ККТ, фантом калиевый (методика ККТ-ФК) [Петряйкин А.В. и др., 2020]. Методика заключается в применении фантомного моделирования для асинхронной калибровки КТ-сканера для пересчета из РП в единицах НУ в МПК в мг/мл.

Исследование включало в себя калибровку семи КТ-сканеров Aquilion 64 (Canon, Япония), которые находились в пяти МО ДЗМ, фантомом калиевым РСК-ФК 2 (сокр. от «Разработка средств контроля, фантом калиевый, вторая модификация», другое название – «Фантом денситометрический» (ФД-1)). Фантом имитирует поясничный отдел позвоночника, «позвонки» которого заполнены раствором гидрофосфата калия (K_2HPO_4) с различной объемной концентрацией – от «нормы» до «остеопороза»: 50,13; 100,19; 150,38; 200,49; 250,65; 350,79; 450,10; 551,21. (рисунок 1). В конструкцию фантома входят также две парафиновые накладки толщиной 38 мм, имитирующие жировую ткань.

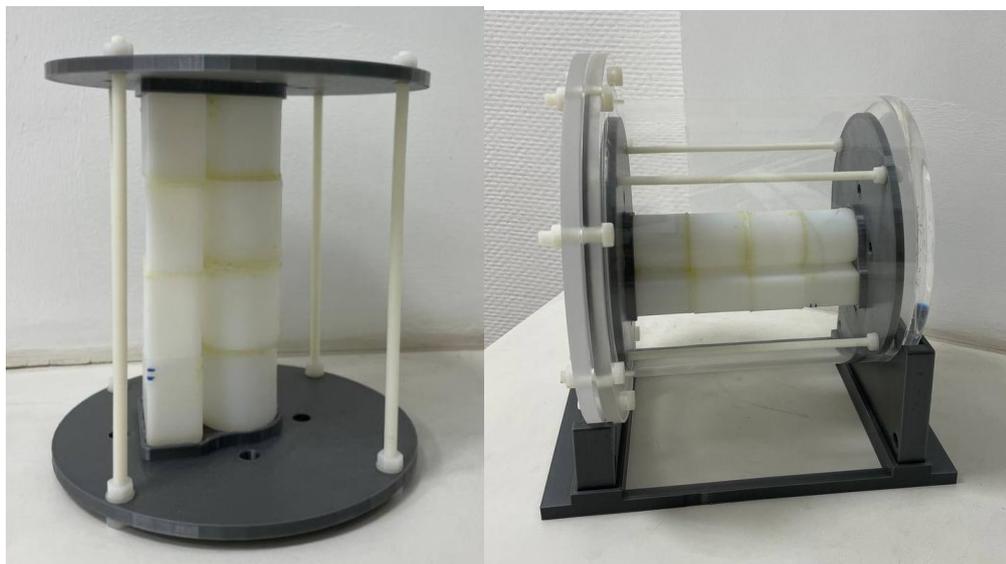


Рисунок 1 – Строение фантома РСК-ФК 2

После каждого сканирования фантома проводилось измерение РП «позвонков» в единицах НУ. Полученные средние значения (СЗ) и стандартные отклонения (СО) фиксировались в Excel-таблице и сравнивались с заданными значениями плотности «позвонков» (50; 100; 150; 200; 250; 350; 450; 550), заявленными для фантома РСК-ФК 2. В программе Excel строилась калибровочная кривая, обеспечивающая пересчет НУ в МПК, проводилась линейная аппроксимация полученных данных по формуле (2):

$$y = ax \pm b, \quad (2)$$

где y – МПК, a – коэффициент пересчета из НУ в МПК, x – КТ-плотность в единицах НУ, b – отклонение полученных значений КТ-плотности от заданных.

Анализировались данные пациентов, которым за один календарный месяц (июнь 2021 г.) была проведена КТ ОГК после выполнения асинхронной калибровки фантомом РСК-ФК 2 на семи КТ-сканерах. КТ-исследования анализировались ИИ-сервисом из Эксперимента по направлению «Компрессионные переломы тел позвонков (остеопороз)».

Для автоматического определения МПК и диагностики состояний ОП применялся аппаратно-программный комплекс для асинхронной ККТ – АПК «Ка-Мед», разработанный на базе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». В данный АПК заложена ранее разработанная методика ККТ-ФК для пересчета из единиц НУ в объемную МПК (мг/мл) [Петряйкин А.В. и др., 2020]. В состав АПК «Ка-Мед» входят: фантом для асинхронной калибровки КТ-сканера (РСК-ФК 2) и программное обеспечение «Ка-Мед», состоящее из модуля построения калибровочной кривой (ПКК) и модуля диагностики ОП (ДО). В модуле ПКК проводился автоматический анализ результатов сканирования фантома РСК-ФК 2: сегментировались позвонки и рассчитывалась усредненная РП в единицах НУ, после чего подбирался коэффициент пересчета из единиц НУ в МПК (мг/мл). После калибровки КТ-сканера проводилось сканирование пациента, у которого измерялась РП тел позвонков (Th11 – L3). В модуле ДО проводился анализ данных пациента, учитывая рассчитанные значения МПК в мг/мл для внесенных значений НУ с учетом калибровок для фантома. Данные для нескольких позвонков усреднялись и сравнивались с нормативными данными UCSF для возраста и абсолютными значениями по критериям ACR 2023 г. (ОП – менее 80 мг/мл, остеопения > 80 и < 120 мг/мл, норма – более 120 мг/мл).

АПК «Ка-Мед» применили в ходе одноцентрового ретроспективного исследования. Предварительно в ноябре 2022 г. было проведено сканирование фантома РСК-ФК 2 на 64-срезовом компьютерном томографе Aquilion 64 (Canon, Japan). Калибровка фантома была загружена в АПК «Ка-Мед» и получена кривая пересчета, которая имела следующий вид (рисунок 2).

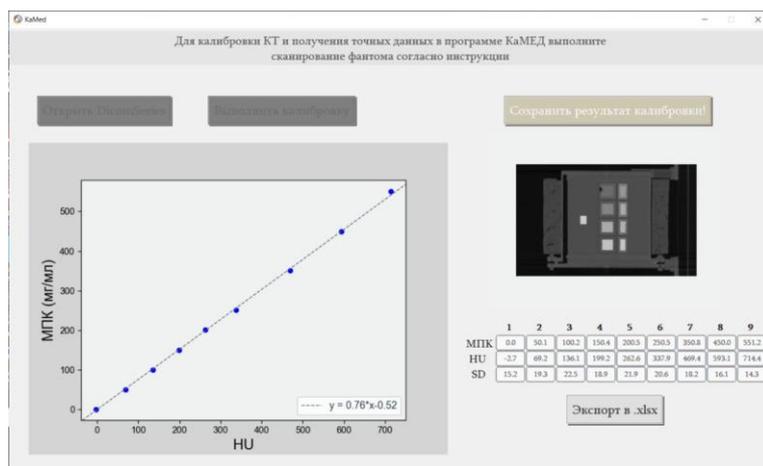


Рисунок 2 – Формирование калибровочной кривой в АПК «Ка-Мед»

Далее на данном КТ-сканере проводили исследования КТ ОБП пациентам в ходе стационарного лечения по поводу установленного диагноза «мочекаменная болезнь». Измерение РП в НУ проводилось врачом-рентгенологом в телах позвонков Th₁₁-L₃ на рабочей станции при помощи радиологической информационной системы АПК «АрхиМед». Данные РП в НУ каждого пациента вручную вносились в АПК «Ка-Мед». Далее для каждого пациента был подготовлен протокол описания с рассчитанными значениями МПК.

Результаты исследования

1. Анализ применения ИИ-сервисов для диагностики ОП по данным компьютерной томографии по результатам мониторинга исследований

В период с июня 2021 г. по июнь 2022 г. проходили тестирование два ИИ-сервиса (ИИ-сервис № 1 и ИИ-сервис № 2), которые используют отличные друг от друга методы определения наличия КП: ИИ-сервис № 1 осуществлял морфометрическую оценку (рисунок 3А), ИИ-сервис № 2 – полуколичественную оценку (рисунок 3Б).



Рисунок 3 – Пример работы ИИ-сервиса: А – ИИ-сервис № 1: дополнительная криволинейная реконструированная серия КТ-исследования с разметкой целевой патологии – КП тела позвонка Th12; Б – ИИ-сервис № 2: дополнительная серия КТ-исследования с разметкой целевой патологии – наличие КП

ИИ-сервисы успешно прошли этап самотестирования, функциональное и калибровочное тестирование. ROC-AUC для ИИ-сервиса № 1 составил 0,99 (95 % доверительный интервал (ДИ) 0,98–1,00), а для ИИ-сервиса № 2 – 0,91 (95 % ДИ 0,85–0,96). Этап апробации ИИ-сервиса № 1 прошел без существенных замечаний, в то время как ИИ-сервис № 2 был отправлен на доработку. После этапа опытной эксплуатации были получены следующие метрики точности: для ИИ-сервиса № 1 ROC-AUC составил 0,93 (95 % ДИ 0,89–0,96), для ИИ-сервиса № 2 – 0,92 (95 % ДИ 0,90–0,94). Результаты отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты метрик точности ИИ-сервисов калибровочного тестирования и на этапе опытной эксплуатации

Метрики / сервисы	Чувствительность	Специфичность	Точность	ROC-AUC	Время обработки исследования, с
Калибровочное тестирование (100 пациентов)					
ИИ-сервис № 1	1,00 (95 % ДИ 0,93–1,00)	0,98 (95 % ДИ 0,89–1,00)	0,99 (95 % ДИ 0,94–1,00)	0,99 (95 % ДИ 0,98–1,00)	50 ± 29
ИИ-сервис № 2	0,86 (95 % ДИ 0,72–0,95)	0,95 (95 % ДИ 0,85–0,99)	0,91 (95 % ДИ 0,83–0,96)	0,91 (95 % ДИ 0,85–0,96)	79 ± 54
Этап опытной эксплуатации (360 пациентов для ИИ-сервиса № 1 и 520 – для ИИ-сервиса № 2)					
ИИ-сервис № 1	1,00 (95 % ДИ 0,97–1,00)	0,87 (95 % ДИ 0,80–0,92)	0,95 (95 % ДИ 0,92–0,97)	0,93 (95 % ДИ 0,89–0,96)	48 ± 23
ИИ-сервис № 2	0,90 (95 % ДИ 0,86–0,94)	0,78 (95 % ДИ 0,72–0,82)	0,83 (95 % ДИ 0,80–0,87)	0,92 (95 % ДИ 0,90–0,94)	66 ± 43

Оба ИИ-сервиса показали снижение значений всех метрик точности при переходе от калибровочного тестирования к апробации и опытной эксплуатации, однако цифры остались в пределах пороговых значений, обозначенных в Эксперименте. Это объясняется спецификой подготовки эталонного набора данных для первичной оценки качества работы ИИ-сервисов, который не включает в себя исследования с вынужденной укладкой, артефактами от металлоконструкций и КТ-сканера.

Данный этап работы демонстрирует диагностическую и техническую точность применения ИИ-сервисов в определении наличия КП по данным КТ ОГК, что позволило провести последующее изучение возможностей ИИ-сервисов в ранней диагностике ОП при рутинных КТ-исследованиях.

2. Оппортунистический скрининг ОП у пациентов с фактором риска развития патологии

Для оценки диагностической точности определения КП по данным КТ ИИ-сервис проанализировал 1888 КТ ОГК. ИИ-сервис проводил морфометрическую оценку высоты тел позвонков по данным КТ ОГК и дополнительно измерял МПК тел позвонков (Th11-L4) у пациентов в соответствии с методикой ККТ-ФК.

ИИ-сервис определил КД более 25 % у 336 пациентов (17,8 %). Из них врачи-эксперты отметили качественные признаки, характерные для КП, у 105 пациентов (5,5 %). КД без качественных признаков КП наблюдалась у 231 пациента (12,2 %). Большинство пациентов с КП имели сниженную МПК (< 80 мг/мл), тогда как у пациентов в группах КД и без деформации в основном наблюдалась МПК > 80 мг/мл. КП сопровождалась МПК, которая соответствует ОП, у 79 пациентов (4,2 %). Однако важно отметить, что у 38,5 % (89 из 231) пациентов без КП, но с наличием КД более 25 %, и у 21,5 % (334 из 1552) пациентов из группы без деформации была сниженная МПК. Суммарно у 501 пациента (26,5 %) была сниженная МПК. Большинство КП было выявлено в нижней части грудного отдела позвоночника (Th11 и Th12) и первом поясничном позвонке (L1), в то время как КД в основном наблюдалась на уровне тел позвонков Th7, Th8 и Th11.

В ходе данного этапа работы был выявлен сбалансированный порог деформации, обеспечивающий более оптимальное разграничение на состояния КП и КД, который составил $\geq 31\%$ (ROC-AUC – 0,98; чувствительность – 0,84; специфичность – 0,98; точность – 0,97).

Данный порог применялся в пилотном исследовании, которое заключалось в оценке возможности практического применения ИИ-сервисов в ранней диагностике ОП по данным рутинных КТ-исследований для реализации оппортунистического скрининга. Схема исследования отражена на рисунке 4.

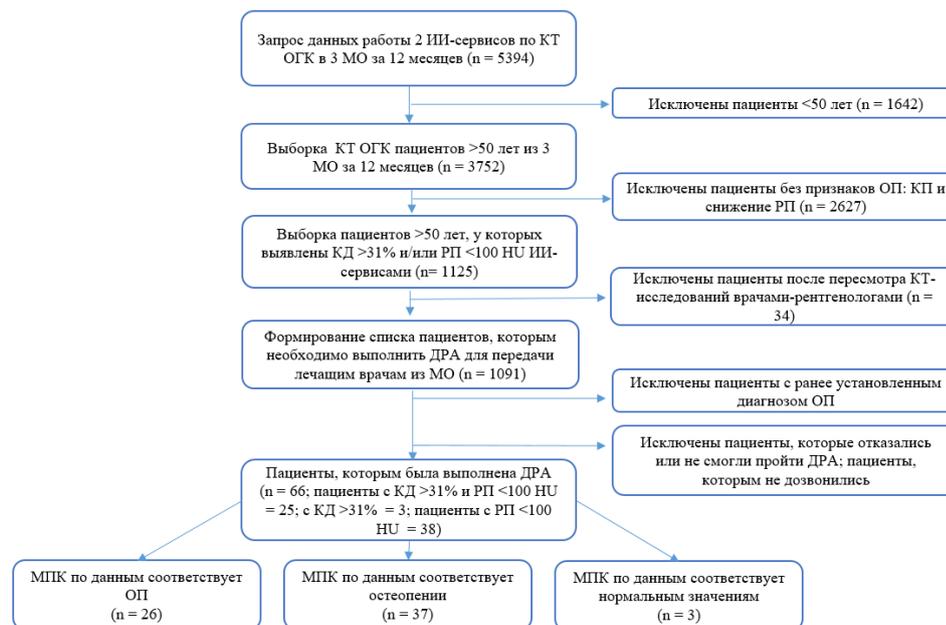


Рисунок 4 – Схема реализации пилотного исследования

Для уточнения или опровержения диагноза ОП на ДРА были направлены 66 пациентов, у которых ранее ИИ-сервисы определили признаки ОП по данным КТ-исследований, а врач-рентгенолог подтвердил наличие признаков. По результатам ДРА у 26 (39,4 %) из общего количества обследованных пациентов были выявлены показатели МПК, которые соответствуют ОП, у 37 (56,1 %) – остеопении и только у 3 (4,5 %) – норме. При анализе полученных результатов методом таблиц сопряженности с использованием критерия Хи-квадрат было показано, что итоговая выборка, сформированная с учетом результатов ИИ-сервисов и подтвержденная врачом-рентгенологом, была «насыщена» пациентами с МПК (95,5 %) по сравнению со значениями по данным ДРА (78,9 %), полученными на группе «возрастной нормы» ($p < 0,001$). Полученные данные демонстрируют перспективность применения ИИ-сервисов в качестве компонента оппортунистического скрининга ОП по данным КТ.

3. Данные по возрастному распределению МПК

В исследование вошли 3075 пациентов (1362 мужчин, 1713 женщин), которым было проведено измерение РП позвонков в НУ. Были исключены пациенты с измерением РП в НУ в позвонках с КД более 25 %. Среди пациентов от 20 до 90 лет фактор риска был выявлен у 452 пациентов (14,7 %), из них 215 мужчин (15,8 %) и 237 женщин (13,8 %). Пациенты со сниженной МПК встречались гораздо чаще, чем пациенты с КП: соотношение 430 (13,5 %) к 61 (2,0 %).

Получена отрицательная корреляция значения МПК с возрастом пациента: для мужчин $r = -0,67$ при $p < 0,001$ и для женщин $r = -0,78$ при $p < 0,001$. При сравнении с нормативной кривой UCFS и отечественными данными от 1999 г. показаны статистически значимые различия у мужчин до наступления старческого возраста (рисунок 5). Фактические данные, которые были получены в ходе исследования, снижены относительно нормативных данных. Для женщин при сравнении с нормативной кривой UCFS и отечественными данными от 1999 г. демонстрируется завышение результатов МПК, полученных у женщин в репродуктивном и постменопаузальном периодах. Наиболее схожие результаты демонстрируются у женщин в перименопаузе (рисунок 6).

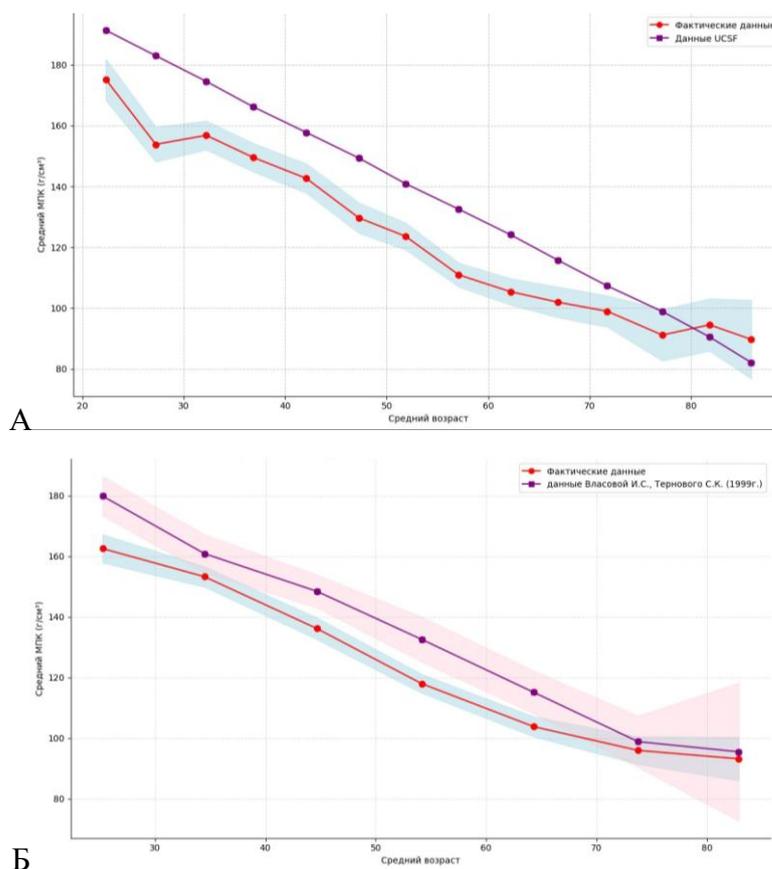


Рисунок 5 – Сравнение полученного среднего значения МПК с 95 % ДИ по возрастным категориям для мужчин с данными UCFS (А) и отечественными данными от 1999 г. (Б)

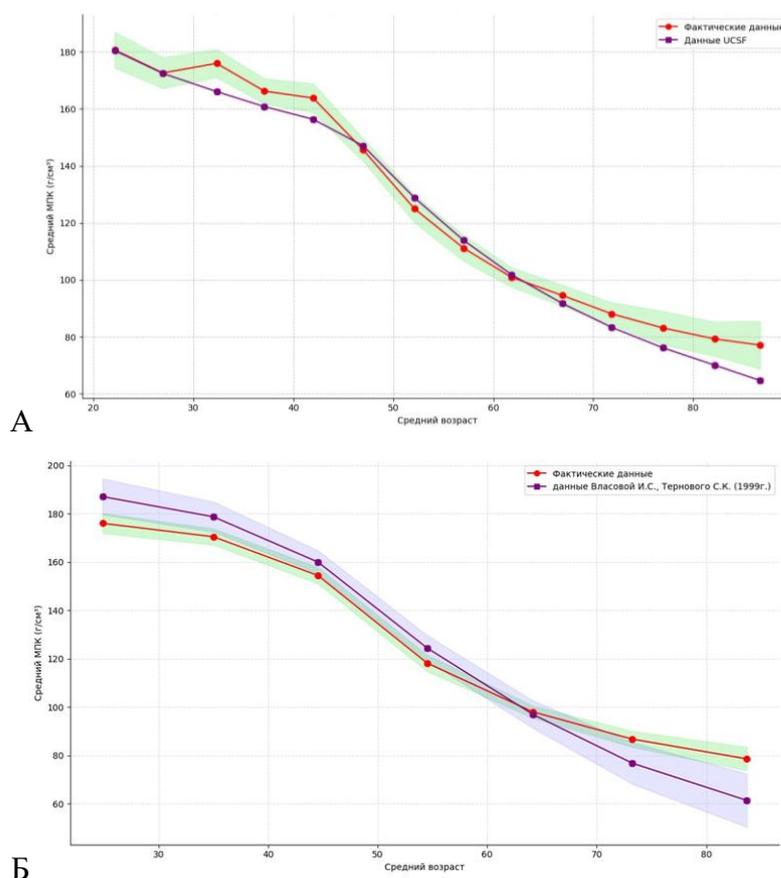


Рисунок 6 – Сравнение полученного среднего значения МПК с 95 % ДИ по возрастным категориям для женщин с данными UCSF (А) и отечественными данными от 1999 г. (Б)

Полученные данные были аппроксимированы и выведены формулы расчета возрастного значения МПК для мужчин (формула (3)) и для женщин (таблица 2).

$$y(x) = 0,011x^2 - 2,595x + 226,715 \quad (3)$$

При аппроксимации данных по мужчинам оптимальные значения $R^2 = 0,4412$, $CO = 28$ г/см³, MAE (англ. mean absolute error, средняя абсолютная ошибка) – 21,22 г/см³ были получены для полинома 2-й степени.

Таблица 2 – Уравнения аппроксимирующих кривых для МПК у женщин

Период	Формула	R^2	MAE , г/см ³	CO , г/см ³
Репродуктивный период (до 45 лет)	$y(x) = -0,033x^2 + 1,214x + 167,958$	0,066	21,039	26,48
Перименопауза (45-55 лет)	$y(x) = -3,647x + 315,836$	0,115	23,47	28,83
Постменопауза (старше 55 лет)	$y(x) = 0,028x^2 - 5,097x + 311,817$	0,141	20,13	26,14

4. Определение МПК по данным компьютерной томографии у пациентов с фактором риска развития вторичного ОП

АПК «Ка-Мед» для автоматизированного определения МПК по данным КТ, состоящий из двух модулей: ПКК – конвертация единиц НУ в МПК и ДО – распределение значения МПК в соответствии с классификацией по АСР. Была проведена валидация модуля ПКК АПК «Ка-Мед»: оценивались статистически значимые различия между экспертной оценкой и АПК «Ка-Мед» в определении РП в единицах НУ при сканировании фантома РСК-ФК 2 на семи КТ-сканерах Aquilion 64 (Canon, Япония) с моделированием жирового слоя и без такового.

Для режима «без жира» разница измерений РП в единицах НУ (АПК «Ка-Мед» – врач-эксперт) составила: среднее \pm СО (максимальное; минимальное); число сравнений, уровень значимости: $-0,55 \pm 1,55$ (3,13; -3,33); 62, $p = 0,006$; разница СО $0,44 \pm 4,28$ (11,27; -9,07); 62, $p = 0,42$. Для режима сканирования «с жиром» разница (АПК «Ка-Мед» – врач-эксперт) составила $0,07 \pm 1,72$ (4,07; -4,00); 63, $p = 0,76$, разница СО $0,23 \pm 2,75$ (6,50; -5,80); 63, $p = 0,76$. Средняя относительная разность измерений НУ (АПК «Ка-Мед» – врач-эксперт) составила 0,57 % и 0,38 % для «тела» и «кортикального блока» в режиме «без жира» и 0,57 % 0,38 % в режиме «с жиром». Полученные результаты говорят о высокой точности АПК «Ка-Мед» в определении РП в единицах НУ, что позволило применить его на дальнейшем этапе исследования и оценить МПК по данным КТ ОБП у пациентов с МКБ.

С применением АПК «Ка-Мед» у 65 пациентов с МКБ в возрасте от 20 до 75 лет (30 мужчин, 35 женщин) измерили МПК по данным КТ ОБП. В ходе исследования было выявлено, что у 7 пациентов (10,8 %) (мужчины и женщины) МПК соответствует ОП. Пациенты с МПК, соответствующей ОП, преимущественно женщины ($n = 5$). Обнаружена МПК, соответствующая остеопении, в 41,5 % случаев (27 пациентов). Соотношение мужчин и женщин с остеопенией составило 1,1 (14:13). У остальных пациентов было выявлено нормальное значение МПК – 31 пациент (47,7 %). Было проведено сравнение измеренных значений МПК у пациентов с МКБ с возрастными нормативными значениями от UCFS и данными КТ-денситометрии, которые были получены в ходе данной диссертационной работы. Для этого применялся биномиальный тест. Стоит отметить, что наблюдалась тенденция к снижению МПК относительно нормативной кривой UCFS (на -1,05 у мужчин и на -0,49 у женщин по среднему Z-критерию) и полученных в ходе диссертационной работы данных КТ-денситометрии (на -0,34 у мужчин и на -0,56 у женщин по среднему Z-критерию). Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение полученных значений МПК у выборки с нормативными данными UCFS и данными КТ-денситометрии, которые были получены в ходе настоящего диссертационного исследования, при $p = 0,05$

Параметр	Нормативная база			
	Данные UCFS		Данные КТ-денситометрии, полученные в ходе диссертационной работы	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
Средний Z-критерий	-1,05	-0,49	-0,34	-0,56
Медиана Z-критерия	-0,99	-0,70	-0,35	-0,62
p – значение	<0,001	<0,008	0,021	<0,001

ВЫВОДЫ

1. На основании выполненных мониторингов ИИ-сервисов определена диагностическая способность морфометрических ИИ-сервисов определения КД с диагностикой степени компрессии (чувствительность 1,00; специфичность 0,98; ROC-AUC 0,99), показано снижение метрик точности при переходе от этапа тестирования к опытной эксплуатации (чувствительность 1,00; специфичность 0,87; ROC-AUC 0,93).
2. Выявлен сбалансированный порог деформации (31 %), обеспечивающий оптимальное разграничение состояние КП и КД, распространённость КП у пациентов старше 50 лет составила 5,5 %; снижение оМПК до уровня остеопороза составила 26,5 %. У пациентов с КП и/или снижением оМПК по данным ИИ сервиса отмечается достоверное повышение состояния ОП и остеопении (95,5 %) по данным ДРА в сравнении с пациентами соответствующий возрастной группы (78,9 %).
3. При помощи ИИ-сервиса определены возрастные зависимости оМПК и показаны статистически значимые различия с нормативными кривыми UCSF и отечественными данными от 1999 г.: занижение у мужчин в возрастном диапазоне от 20 до 70 лет, у женщин завышение в репродуктивном (от 20 до 40 лет) и постменопаузальном периоде (от 65 до 90 лет).
4. Показано соответствие автоматизированных измерений МПК при помощи АПК и экспертной оценки. Применение АПК и полученных нормативных кривых позволило установить статистически значимое снижение объемной МПК пациентов с МКБ (на -0,34 у мужчин и на -0,56 у женщин по среднему Z-критерию).
5. Полученные результаты доказательно обосновывают применение ИИ-сервисов для ранней диагностики ОП по данным КТ, выполненные по другим показаниям.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для определения наиболее перспективных технологий ИИ и контроля качества их работы рекомендуется провести тестирование для оценки готовности ИИ-сервиса по направлению ОП, а в дальнейшем выполнять ежемесячные мониторинги.
2. ИИ-сервисы для диагностики степени КД и оценки РП тел позвонков следует применять в качестве фрагмента комплексного скрининга ОП с целью формирования групп риска данного заболевания и последующей верификации инструментальными и лабораторными методами.
3. Созданная нормативная база показателей МПК для мужчин и женщин в возрастном диапазоне от 20 до 90 лет для г. Москвы может быть использована для оценки возрастных отклонений минеральной плотности.
4. Для определения МПК тел позвонков и диагностики ОП возможно использовать АПК на основе асинхронной ККТ, включающий фантом и ПО.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Артюкова, З.Р. Оппортунистический скрининг остеопороза с использованием сервисов искусственного интеллекта / **З.Р. Артюкова**, Н.Д. Кудрявцев, А.В. Петрайкин, Д.С. Семёнов, А.В. Владзимирский, Ю.А. Васильев // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2025. – Т. 32. – №2. – С. 439-448. – DOI: 10.17816/vto634918
2. Артюкова, З.Р. Современные подходы к инструментальной диагностике остеопороза / **З.Р. Артюкова**, О.Ю. Панина, А.А. Монахова, А.В. Петрайкин, Р.А. Ерижоков, О.В. Омелянская, А.В. Владзимирский, Ю.А. Васильев // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. 2025 – Т. 2. – С. 22-36.
3. Petraikin, A. V. Opportunistic screening for osteoporosis using artificial intelligence-based morphometric analysis of chest computed tomography images: a retrospective multicenter study in Russia leveraging the COVID-19 pandemic / Petraikin, A. V. , P.J. Pickhardt, M.G. Belyaev, Z.E. Belaya, M.E. Pisov, A.N. Bukharaev, A.A. Zakharov, N.D. Kudryavtsev, T.M. Bobrovskaya, D.S. Semenov, E.S. Akhmad, **Z.R. Artyukova**, L.R. Abuladze, L.A. Nizovtsova, I.A. Blokhin, A.V. Vladzimirskyu, Y.A. Vasilev // Asian Spine J. – 2025 – Vol. 19, №3. – P. 355-371. – DOI: 10.31616/asj.2024.0314.
4. Артюкова, З.Р. Опыт применения сервисов искусственного интеллекта для диагностики компрессионных переломов тел позвонков по данным компьютерной томографии: от тестирования до апробации / **З.Р. Артюкова**, А.В. Петрайкин, Н.Д. Кудрявцев, Ф.А. Петрайкин,

Д.С. Семенов, Д.Е. Шарова, Ж.Е. Белая, А.В. Владимирский, Ю.А. Васильев // Digital Diagnostics. – 2024. – Т. 5, № 3. – С. 505-518.

5. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2024681736 Российская Федерация. Программа Ка-Мед для автоматизации количественной компьютерной томографии / Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Омелянская О.В., Семенов Д.С., Петрайкин А.В., **З.Р. Артюкова**, Кулиговский Д.В.; заявитель и правообладатель: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»; № 2024680461; заявл. 03.09.24; опубл. 12.09.24, Бюл. № 9. – 1 с.

6. Артюкова, З.Р. Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии / **З.Р. Артюкова**, Н.Д. Кудрявцев, А.В. Петрайкин, Л.Р. Абуладзе, А.К. Сморгчова, Е.С. Ахмад, Д.С. Семенов, М.Г. Беляев, Ж.Е. Белая, А.В. Владимирский, Ю.А. Васильев // Медицинская визуализация. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 125-137.

7. Васильев, Ю.А. Диагностика и скрининг остеопороза по результатам компьютерной томографии органов брюшной полости: методические рекомендации / Ю.А. Васильев, А.В. Владимирский, **З.Р. Артюкова**, А.В. Петрайкин, Н.Д. Кудрявцев, М.В. Черкасская, Д.Е. Шарова, Д.С. Семенов, А.К. Сморгчова, С.А. Кивасев. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023. – 28 с.

8. Пат. 2782998 Российская Федерация, МПК А61В 6/00. Способ калибровки программы асинхронной количественной компьютерной томографии / Кручинин С.А., Сергунова К.А., Петрайкин А.В., Семенов Д.С., **Артюкова З.Р.**, Смирнова А.В.; заявитель и правообладатель: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»; № 2021115468; заявл. 31.05.21; опубл. 08.11.22, Бюл. № 31. – 1 с.

9. Петрайкин, А.В. Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза / А.В. Петрайкин, **З.Р. Артюкова**, Л.А. Низовцова, Уринцов А.И., Сорокин А.С., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Сергунова К.А., Бабкин В.А., Васильев Ю.А., Владимирский А.В., Морозов С.П. // Менеджер здравоохранения. – 2021. – № 2. – С. 31-39.

10. Петрайкин, А.В. Остеоденситометрия: методические рекомендации / А.В. Петрайкин, Л.А. Низовцова, **З.Р. Артюкова**, Е.С. Ахмад, М.Н. Лобанов, Н.В. Ледихова, К.А. Сергунова, Д.С. Семенов, А.В. Смирнов, Ю.А. Васильев, А.В. Владимирский, С.П. Морозов // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 88. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». 2020. – 60 с.

11. Петрайкин, А.В. Технология искусственного интеллекта для распознавания компрессионных переломов позвонков с помощью модели морфометрического анализа, основанной на сверточных нейронных сетях / А.В. Петрайкин, Ж.Е. Белая, А.Н. Киселева, **З.Р. Артюкова**, М.Г. Беляев, В.А. Кондратенко, М.Е. Писов, А.В. Соловьев, А.К. Сморгчова, Л.Р. Абуладзе, И.Н. Киева, В.А. Феданов, Л.Р. Яссин, Д.С. Семёнов, Н.Д. Кудрявцев, С.П. Щелькалина, В.В. Зинченко, Е.С. Ахмад, К.А. Сергунова, В.А. Гомболевский, Л.А.

Низовцова, А.В. Владимирский, С.П. Морозов // Проблемы эндокринологии. – 2020. – Т. 66, № 5. – С. 48-60.

12. Петрайкин, А.В. Сравнение двух методик асинхронной КТ-денситометрии / А.В. Петрайкин, А.К. Смorchкова, Н.Д. Кудрявцев, К.А. Сергунова, **З.Р. Артюкова**, Л.Р. Абуладзе, Л.Р. Яссин, Ф.А. Петрайкин, М.Н. Лобанов, А.Е. Николаев, А.Н. Хоружая, Д.С. Семенов, Л.А. Низовцова, А.В. Владимирский, С.П. Морозов // Медицинская визуализация. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 108-118.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АПК	– аппаратно-программный комплекс
ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»	– государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»
ДИ	– доверительный интервал
ДЗМ	– Департамент здравоохранения города Москвы
ДРА	– двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия
ИИ	– искусственный интеллект
КД	– компрессионная деформация
ККТ	– количественная компьютерная томография
КП	– компрессионный перелом
КТ	– компьютерная томография
КТ ОБП	– компьютерная томография органов брюшной полости
КТ ОГК	– компьютерная томография органов грудной клетки
МКБ	– мочекаменная болезнь
МО	– медицинская организация
МПК	– минеральная плотность кости
oМПК	– объемная минеральная плотность кости
ОП	– остеопороз
ПО	– программное обеспечение
ПКК	– построение калибровочной кривой
РП	– рентгеновская плотность
РСК-ФК, ФД-1	– разработка средств контроля, фантом калиевый, 2-я версия; фантом денситометрический
СО	– стандартное отклонение
Эксперимент	– Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения
ACR	– American College of Radiology (Американская коллегия радиологов)
ISCD	– International Society for Clinical Densitometry (Международное общество клинической денситометрии)
HU	– единицы Хаунсфилда
MAE	– средняя абсолютная ошибка
NHANES III	– The National Health and Nutrition Examination Survey (Национальное обследование здоровья и питания)
ROC	– Receiver operating characteristic (рабочая характеристика приемника)
UCSF	– University of California, San Francisco (Калифорнийского университета, Сан-Франциско)