

УТВЕРЖДАЮ

Главный врач

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Ю.А. Васильев

«14» *сентября* 20*25* г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы
«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских
технологий Департамента здравоохранения города Москвы»
(ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»)

на основании решения расширенного заседания ученого совета ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» (совместно с заседанием Кафедры лучевой диагностики с курсом клинической радиологии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России) от 26.02.2025.

Диссертация «Совершенствование ранней диагностики остеопороза при компьютерной томографии с использованием сервисов искусственного интеллекта».

Артюкова Злата Романовна, 1996 года рождения, образование высшее, в 2020 окончила ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по специальности «Медицинская биофизика». По окончании медицинского ВУЗа с 2020 по 2022 год проходила подготовку в клинической ординатуре на базе ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Президента Российской по специальности «Рентгенология».

В период подготовки диссертации соискатель Артюкова Злата Романовна работала в ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» в должности младшего научного сотрудника отдела стандартизации и контроля качества (с марта 2020 года по настоящее время).

Справка № 05/2024 о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 17 июля 2024 года ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ».

Научный руководитель: Петряйкин Алексей Владимирович, главный научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», доктор медицинских наук, доцент.

Текст диссертации был проверен в системе «Антиплагиат» и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Совершенствование ранней диагностики остеопороза при компьютерной томографии с использованием сервисов искусственного интеллекта», представленного на соискание ученой степени кандидата медицинских наук по специальности 3.1.25 – Лучевая диагностика, принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

В работе четко определены и сформулированы цели и задачи, разработан дизайн исследования, получены и проанализированы результаты исследований. Использование современных методов статистической обработки данных не позволяет подвергнуть сомнению объективность сделанных заключений. Работа выполнена на большом статистическом материале и по своему объему, методическому уровню и новизне является современным, актуальным исследованием и важным в научном и практическом отношении.

Актуальность темы диссертационного исследования

Автором диссертационного исследования поднимается весьма актуальная тема диагностики остеопороза. Остеопорозу подвержены прежде всего люди старшего и пожилого возраста, так распространенность данного заболевания в Российской Федерации среди лиц старше 50 лет составляет 34% женщин и 27% мужчин (Ж.Е. Белая и др., 2021). С учетом специфики развития, остеопороз чаще всего диагностируется на стадии осложнений – при

возникновении низкоэнергетических переломов крупных костей, лечение и реабилитация после которых, требует значительных временных и экономических затрат, как для пациента, так и для системы здравоохранения в целом, оказывает существенное влияние на качество жизни пациента. Таким образом, ранняя диагностика остеопороза представляется весьма актуальной.

Рассматривается подход диагностики остеопороза по данным рутинных рентгенологических исследований, выполненных по другим показаниям – оппортунистический скрининг (Alacreu E. и др., 2017; Ziemlewicz T.J. и др., 2015; Rebello D. и др., 2018). Компьютерная томография не является методом выбора при диагностике остеопороза. Однако, она выполняется в разы чаще, чем двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия – «золотой стандарт» в инструментальной диагностике остеопороза. Помимо этого, по данным компьютерной томографии можно выявить компрессионные переломы тел позвонков, которые зачастую не имеют клинической картины и протекают бессимптомно, но их наличие говорит об увеличении факторов риска возникновения последующих переломов. Следовательно, выявление компрессионных переломов по данным рутинных КТ-исследований позволяет определить наличие остеопороза на ранних стадиях.

Изучается подход активного использования сервисов искусственного интеллекта в определение компрессионных переломов тел позвонков и измерение плотности костной ткани при компьютерной томографии органов грудной клетки и брюшной полости (Bar A. и др., 2017; Tomita N. и др., 2018; Savage R.H. и др., 2020; Tang C. и др., 2021). Ожидается, что использование сервисов искусственного интеллекта, в качестве системы поддержки принятия врачебных решений, укажет врачу-рентгенологу на сопутствующую патологию и минимизирует время описания рутинных исследований.

С учетом вышесказанного, актуальной является цель исследования – улучшить диагностику остеопороза по данным компьютерной томографии с применением сервисов искусственного интеллекта.

Личный вклад

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, формулировка 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 участвовала в разработке рекомендаций по диагностике и скринингу остеопороза по результатам КТ-исследований, в разработке базовых диагностических и функциональных требований для сервисов искусственного интеллекта в «Эксперименте по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения этих технологий в системе здравоохранения г. Москвы» по направлению «Компрессионные переломы (остеопороз)», конструкторской и сопроводительной документации к аппаратно-программному комплексу «Ка-Мед», проводила ежемесячный клинический и технический аудит работы сервисов искусственного интеллекта по направлению «Компрессионные переломы (остеопороз)». Автор самостоятельно провела накопление и последующий анализ первичных данных, систематизировала и обобщила результаты, сформировала заключение, выводы, рекомендации. Автором лично выполнялась подготовка публикаций по теме диссертации. Представление результатов в научных публикациях и в виде докладов на научно-практических мероприятиях осуществлялось соискателем как лично, так и в соавторстве. Автор лично участвовала в создании объектов интеллектуальной собственности. Написание и оформление рукописи диссертации осуществлялось соискателем лично.

Достоверность результатов исследования

Задачи научно-исследовательской работы сформулированы соответственно поставленной цели и выполнены на высоком научно-методическом уровне, достаточном для решения поставленных задач. В исследование было включено 3207 пациентов, которым выполнялась компьютерная томография органов грудной клетки и органов брюшной полости в различных медицинских организациях. Результаты КТ-данных пациентов были проанализированы пятью сервисами искусственного интеллекта на наличие компрессионных переломов и снижение плотности костной ткани. Помимо этого, предварительно была проведена асинхронная калибровка КТ-сканеров с помощью фантома, что позволило оценить в абсолютных значениях состояние минеральной плотности кости в выполненных исследованиях.

Достоверность полученных результатов подтверждается проведенным статистическим анализом. Для пилотного проекта по оппортунистическому скринингу остеопороза применялись методы описательной статистики и проводился анализ таблиц сопряженности полученных результатов с нормой в соответствии с распределением на популяцию для мужчин и женщин методом Хи-квадрат при уровне значимости $p < 0,001$ с использованием программы Statistica 12 и Excel. Для возрастного распределения минеральной плотности кости применялся метод описательной статистики, проводилась оценка наличия фактора риска у пациентов, оценивалась нормальность выборки по критерию Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова; выполнялась оценка корреляции по критерию Спирмана и сравнительный анализ выборки с нормативными критериями возрастному распределению минеральной плотности кости. Анализ, визуализация данных и статистические расчеты были реализованы при помощи языка программирования Python версии 3.11.8 и его основных библиотек. В ходе оценки минеральной плотности кости при вторичном остеопорозе первоначально была проведена оценка статистически значимых различий между экспертной оценкой и аппаратно-программным

комплексом «Ка-Мед» парным Т-критерием Стьюдента. Для пациентов была проведена описательная статистика, оценивалась нормальность выборки по критерию Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. Проводилась оценка полученных данных минеральной плотности кости с нормативными критериями с использованием биномиального теста. Все расчёты были проведены в Statistica 12 и Excel.

Научная новизна

На основании проведенных мониторингов на этапе клинического внедрения проведена сравнительная оценка работы сервисов искусственного интеллекта. Продемонстрирована диагностическая способность морфометрических сервисов искусственного интеллекта по сравнению с бинарными; наряду с базовыми диагностическими требованиями это сформировало стандарты автоматизированной диагностики компрессионных переломов тел позвонков при остеопорозе. Помимо этого, выявлены основные влияющие факторы, определяющие точность выполнения клинической задачи, а также созданы условия для оптимизации сервисов искусственного интеллекта.

Предложено разделение клинически значимых компрессионных деформаций тел позвонков (более 25 %) на компрессионные переломы и собственно компрессионные деформации. Оптимальным критерием служит деформация тел позвонков более 31 % – компрессионные переломы с оптимальными метриками точности. Проведена оценка возможности применения сервисов искусственного интеллекта в диагностике остеопороза по данным КТ-исследований для оппортунистического скрининга. Диагностическая точность применения сервисов искусственного интеллекта показана при выполнении двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии.

Впервые сервисы искусственного интеллекта использованы для формирования возрастных нормативных зависимостей минеральной

плотности кости тел позвонков в группе мужчин и женщин в возрасте от 20 до 90 лет в городе Москве. Показано статистически значимое занижение минеральной плотности кости у мужчин относительно имеющейся нормативной базы данных для КТ-денситометрии Калифорнийского университета, Сан-Франциско (UCSF) и отечественных данных от 1999 г.

Создана методология автоматизированного определения минеральной плотности кости по данным КТ-исследований. С помощью созданного аппаратно-программного комплекса для асинхронной КТ-денситометрии впервые проведено исследование оценки минеральной плотности кости в группе пациентов с мочекаменной болезнью и показано статистически значимое занижение минеральной плотности кости по сравнению с полученной нормативной возрастной зависимостью.

Теоретическая и практическая значимость работы

При использовании стандартных инструментов тестирования и мониторинга сервисов искусственного интеллекта в диагностики компрессионных переломов, объективно сравнили два сервиса искусственного интеллекта, определили перспективную технологию морфометрической оценки степени компрессионной деформации тел позвонков.

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

Созданы актуальные нормативные данные объемной минеральной плотности кости для мужчин и женщин в возрасте от 20 до 90 лет для города Москвы с целью интерпретации перспективных данных КТ-денситометрии и проведения оппортунистического скрининга остеопороза.

Разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя фантом, моделирующий заданную объемную минеральную плотность кости, и программное обеспечение для автоматизированной оценки МПК по данным КТ-исследований, который продемонстрировал возможность определения снижения минеральной плотности кости у пациентов с мочекаменной болезнью по сравнению с возрастной нормой в рамках оппортунистического скрининга вторичного остеопороза.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на отечественных и международных конгрессах: на ежегодном собрании The American Society for Bone and Mineral Research в 2022 г., на Российском конгрессе по остеопорозу, остеоартриту и другим метаболическим заболеваниям скелета с международным участием в 2022 и 2024 гг., конгрессе «Российского общества Рентгенологов и Радиологов» в 2023 и 2024 гг., Российском диагностическом саммите в 2023 и 2024 гг., IX конгрессе, посвященному 100-летию Зацепина Сергея Тимофеевича. Проблема остеопороза в травматологии и ортопедии «Акцент на пациента: путь от теории к практике» в 2024 г., Научно-практической конференции по медицинской визуализации «Онлайн-диагностика 24» в 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.

Внедрение результатов диссертационного исследования в практику

Полученные в диссертационном исследовании результаты внедрены в практическую работу 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 Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Артюковой Златы Романовны «Совершенствование ранней диагностики остеопороза при компьютерной томографии с использованием сервисов искусственного интеллекта» на соискание ученой степени кандидата медицинских наук соответствует научной специальности 3.1.25. Лучевая диагностика, направление исследований п. 10 и п. 11.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По результатам исследования автором опубликовано 10 научных работ, в том числе 6 статей: 4 – 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 методические рекомендации и 2 патента:

1. Petraikin AV, Pickhardt PJ, Belyaev MG, Belaya ZE, Pisov ME, Bukharaev AN, Zakharov AA, Kudryavtsev ND, Bobrovskaya TM, Semenov DS, Akhmad ES, **Artyukova ZR**, Abuladze LR, Nizovtsova LA, Blokhin IA, Vladzimirsky AV, Vasilev YA. 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. Asian Spine J. 2025 Mar 5. doi: 10.31616/asj.2024.0314.

2. 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. Петряйкин, Н.Д. Кудрявцев, Ф.А. Петряйкин, Д.С. Семенов, Д.Е. Шарова, Ж.Е. Белая, А.В. Владзимирский, Ю.А. Васильев // Digital Diagnostics. – 2024. – Т. 5, № 3. – С. 505-518.

3. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2024681736 Российская Федерация. Программа Ка-Мед для автоматизации количественной компьютерной томографии / Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Омелянская О.В., Семенов Д.С., Петряйкин 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.

4. 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. Петряйкин, Л.Р. Абуладзе, А.К. Смorchкова, Е.С. Ахмад, Д.С. Семенов, М.Г. Беляев, Ж.Е. Белая, А.В. Владзимирский, Ю.А. Васильев // Медицинская визуализация. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 125-137.

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

6. Пат. 2782998 Российская Федерация, МПК А61В 6/00. Способ калибровки программы асинхронной количественной компьютерной томографии / Кручинин С.А., Сергунова К.А., Петряйкин 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.

7. 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., Владзимирский А.В., Морозов С.П. // Менеджер здравоохранения. – 2021. – № 2. – С. 31-39.

8. 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. Владзимирский, 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.

9. 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. Смorchкова, Л.Р. Абуладзе, И.Н. Киева, В.А. Феданов, Л.Р. Яссин, Д.С. Семёнов, Н.Д. Кудрявцев, С.П. Щелыкалина, В.В. Зинченко, Е.С. Ахмад, К.А. Сергунова, В.А. Гомболевский, Л.А. Низовцова, А.В. Владзимирский, С.П. Морозов // Проблемы эндокринологии. – 2020. – Т. 66, № 5. – С. 48-60.

10. 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. Владзимирский, С.П. Морозов // Медицинская визуализация. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 108-118.

Заключение

Диссертационная работа Артюковой Златы Романовны на тему: «Совершенствование ранней диагностики остеопороза при компьютерной томографии с использованием сервисов искусственного интеллекта»

соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата медицинских наук специальности 3.1.25. Лучевая диагностика.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенным в диссертацию.

Заключение принято на заседании расширенного заседания Ученого совета ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» (совместно с заседанием Кафедры лучевой диагностики с курсом клинической радиологии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России) 26 февраля 2025 г.

Присутствовало на заседании 22 чел. из 32 членов Ученого совета. По специальности 3.1.25 Лучевая диагностика – 9 докторов медицинских наук (проф. Аржанцев А.П., проф. Босин В.Ю., Буренчев Д.В., Кременова Е.И., проф. Нуднов Н.В., проф. Ольхова Е.Б., Привалова Е.Г., проф. Сеницын В.Е., Фисенко Е.П.) и 3 кандидата медицинских наук (Бажин А.В., Блохин И.А., Учеваткин А.А.) Результаты голосования: «за» – 21 чел. (научный руководитель, член ученого совета, не голосовал), «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. (протокол № 3 /2025 от 26 февраля 2025 г.).

Председатель заседания



Доможирова Алла Сергеевна,
ученый секретарь ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»,
доктор медицинских наук

«Подпись заверяю»



«26» февраля 2025 г.

Красных Виталий Анатольевич,
начальник отдела кадров ГБУЗ «НПКЦ ДиТ
ДЗМ»