

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы
«Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских
технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

На правах рукописи

Соловьёв Александр Владимирович

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ
ВЫЯВЛЕНИЯ РАСШИРЕНИЯ АОРТЫ И СТВОЛА ЛЁГОЧНОЙ АРТЕРИИ
ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ**

3.1.25 – Лучевая диагностика (Медицинские науки)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

Синицын Валентин Евгеньевич

доктор медицинский наук, профессор

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	13
1.1 Актуальность	13
1.2 Аневризмы аорты	15
1.2.1 Краткая история изучения аневризмы аорты	17
1.2.2 Диагностика аневризм грудной аорты	18
1.2.3 Различные подходы к анализу расширения грудной аорты	23
1.3 Оценка патологического расширения легочного ствола	25
1.3.1 Краткая история изучения легочной гипертензии	26
1.3.2 Методы раннего выявления легочной гипертензии	27
1.3.3 Современные направления в диагностике легочной гипертензии и изменений легочной артерии	32
1.4 Искусственный интеллект и его роль в оппортунистическом скрининге по данным КТ	33
1.5 Влияние ТИИ на диагностику сердечно-сосудистых заболеваний	36
1.5.1 Диагностика грудной аорты и легочного ствола в рамках «Московского Эксперимента»	41
1.5.2 Влияние ТИИ на рабочую нагрузку и нехватку кадров	42
1.6 Биомаркеры КТ при оценке аорты и ствола легочной артерии	46
1.7 Заключение	46
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
2.1 Общая характеристика исследования	49
2.2 Обработка данных с помощью технологий искусственного интеллекта	51
2.3 Статистический анализ	59
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	61
3.1 Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей- рентгенологов	61
3.2 Распространенность патологического расширения грудной аорты	73

3.3 Распространенность патологического расширения легочного ствола.....	87
3.4 Оценка диагностической точности ИИ-сервисов.....	102
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	110
ВЫВОДЫ	120
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	121
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А	148

ВВЕДЕНИЕ

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), продолжают оставаться основной причиной смертности во всем мире. Каждый год более 17,9 млн человек умирают от патологий сердечно-сосудистой системы, включая аневризмы аорты и различные виды легочной гипертензии (ЛГ) [1, 2]. Эти патологические состояния часто остаются незамеченными на ранних стадиях, что значительно повышает риск внезапных и фатальных осложнений. Аневризмы аорты, часто протекающие бессимптомно, могут приводить к тяжелым, часто летальным осложнениям (диссекции, разрывы) [3, 4]. Годовая заболеваемость аневризмами грудного отдела аорты оценивается примерно в 10 случаев на 100 000 человек, а частота диссекций и разрывов — около 1,6 случая на 100 000 человек [5].

Легочная гипертензия, возникающая при широком спектре заболеваний сердца и легких, играет ключевую роль в ранней диагностике сердечно-сосудистой патологии [6]. Расширение ствола легочной артерии является одним из основных симптомов ЛГ [7], в частности, оно часто встречается при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), пороках сердца, сердечной недостаточности и других заболеваниях системы кровообращения [6]. ЛГ представляет собой гетерогенную группу заболеваний, но, независимо от своей природы, она приводит к тяжелым последствиям, таким как перегрузка правого желудочка (ПЖ) сердца и развитие правожелудочковой недостаточности. В Российской Федерации распространенность артериальной ЛГ варьирует в пределах 15–60 случаев на миллион населения, при этом уровень заболеваемости достигает 10 случаев на миллион [8]. В глобальном масштабе ЛГ различного генеза диагностируется приблизительно у 1 % населения, а среди лиц старше 65 лет ее распространенность возрастает до 10 %. Основными этиологическими факторами ЛГ являются заболевания сердца и легких, причем 80 % пациентов проживают в развивающихся странах [9]. Для сравнения, в Великобритании распространенность ЛГ составляет 97 случаев на миллион человек [6].

Раннее выявление ЛГ играет ключевую роль в профилактике ее тяжелых последствий, таких как правожелудочковая недостаточность, нарушения сердечного ритма, отек легких и, в конечном итоге, смерть [6, 8].

В России крупные эпидемиологические исследования по распространенности аневризм грудного отдела аорты не проводились уже более 40 лет, а масштабные исследования по раннему выявлению расширения легочного ствола отсутствуют, что указывает на необходимость обновления статистики с помощью внедрения современных методов диагностики.

Применение технологий искусственного интеллекта (ТИИ) в медицине, особенно в области диагностики ССЗ, открывает новые возможности для улучшения выявляемости таких патологий, как аневризма аорты и ЛГ. ТИИ может помочь в анализе больших объемов данных, повышая точность диагностики и снижая вероятность пропуска клинически значимых патологий [10, 11]. Более того, применяющийся все шире в настоящее время так называемый оппортунистический скрининг с использованием ТИИ, который включает в себя анализ данных уже имеющихся компьютерной томографии (КТ) и других исследований, может существенно улучшить диагностику сопутствующих заболеваний без необходимости выполнения дополнительных исследований, снижая лучевую нагрузку на пациентов [11, 12].

Изучение распространенности изменений грудной аорты и легочной артерии с использованием КТ органов грудной клетки (ОГК), оценка их клинической значимости при диагностике сосудистой патологии, а также возможности выявления этих изменений с применением ТИИ и оппортунистического скрининга представляют собой актуальное направление научных исследований. Реализация данных подходов позволит повысить выявляемость клинически значимых патологий, снизить смертность и улучшить качество жизни пациентов.

Степень разработанности темы исследования

Аневризмы грудной аорты и ЛГ остаются важными факторами сердечно-сосудистой смертности, главным образом из-за их позднего выявления. Поздняя диагностика существенно ограничивает возможности эффективного лечения, увеличивая риск осложнений, таких как разрыв аорты или развитие правожелудочковой сердечной недостаточности.

Несмотря на значимость этих патологий, в России отсутствуют организованные скрининговые программы для выявления аневризм грудной аорты и патологического расширения легочного ствола, которое может быть признаком наличия ЛГ. Популяционные исследования на крупных выборках более 100 000 тысяч человек в России и в мире не проводились, что подчеркивает необходимость обновления данных с использованием современных ТИИ.

В этом контексте оппортунистический скрининг с применением ТИИ представляет собой перспективный подход. Использование ТИИ позволяет анализировать данные КТ, выполненной по другим показаниям, для выявления скрытых патологий на ранних стадиях. Такой подход может значительно повысить эффективность диагностики, своевременно выявлять пациентов и способствует раннему началу лечения, снижению смертности и улучшению качества жизни.

Цели и задачи

Цель исследования – повышение эффективности ранней диагностики расширения грудной аорты и легочной артерии с использованием технологий искусственного интеллекта при анализе компьютерной томографии органов грудной клетки.

Задачи исследования:

1. Выполнить исследование распространенности расширения грудной аорты и ствола легочной артерии на основе данных нативной КТ ОГК, выполненной по клиническим показаниям в лечебных учреждениях г. Москвы.

2. Оценить роль ТИИ в повышении качества описания расширения грудной аорты в протоколах КТ ОГК на примере аневризм.

3. Выполнить контроль точности определения ИИ-сервисами линейных показателей диаметров грудной аорты и ствола легочной артерии путем сравнения с результатами измерений системы мониторинга ТИИ, проводимого врачами-экспертами.

4. Обосновать использование ИИ-сервисов в диагностике расширения грудной аорты и ствола легочной артерии по данным КТ ОГК.

5. Подготовить рекомендации по применению ИИ-сервисов для выявления признаков заболеваний грудной аорты и ствола легочной артерии на КТ ОГК и направления пациентов на уточняющие исследования.

Область исследования

Исследование относится к области лучевой диагностики, направлено на изучение распространенности патологий магистральных сосудов по данным КТ ОГК и оценку эффективности ТИИ в их выявлении.

Объект исследования

353 027 пациентов, которым выполнялась КТ ОГК и анализировались ее данные с помощью ИИ-сервисов с целью выявления патологического расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также ствола легочной артерии.

Предмет исследования

Предметом диссертационного исследования являются технологии лучевой диагностики, способствующие достоверной диагностике заболеваний ОГК, включая патологические изменения магистральных сосудов, обоснование автоматизированного скрининга данных состояний с применением ТИИ.

Научная новизна

1. Впервые в РФ проведено популяционное исследование, основанное на анализе КТ ОГК в Едином радиологическом информационном сервисе (ЕРИС)

г. Москвы, позволившее установить распространенность расширения грудной аорты и ствола легочной артерии у взрослых пациентов, направленных на КТ. В частности, выявлено, что распространенность аневризмы грудного отдела аорты составляет 12,4 случая на 100 000 человек, а распространенность расширения ствола легочной артерии — 794,7 случая на 100 000 человек.

2. Впервые проведено сопоставление диагностической эффективности ИИ-сервисов и врачей-экспертов при выявлении расширения грудной аорты по данным КТ ОГК, показавшее, что применение алгоритмов ТИИ увеличивает выявляемость аневризм грудного отдела аорты на 41%, что свидетельствует о высокой эффективности систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), основанных на применении ТИИ.

3. Впервые проведена оценка точности применения ИИ-сервисов при анализе КТ ОГК в ЕРИС г. Москвы, выявившая, что чувствительность алгоритмов при выявлении патологического расширения грудной аорты составила от 1,00 до 1,00, специфичность — от 0,98 до 1,00; для расширения легочного ствола чувствительность — от 0,87 до 1,00, специфичность — от 0,98 до 1,00, что подчеркивает необходимость обязательного применения ТИИ при анализе данных КТ ОГК.

4. Впервые разработана и обоснована методология оппортунистического скрининга патологий магистральных сосудов (аневризм грудного отдела аорты и возможных признаков ЛГ) на основе применения ИИ-сервисов при проведении КТ ОГК, позволяющая выявлять данные патологии на доклинических стадиях.

5. Впервые сформулированы рекомендации по стандартизации протоколов КТ-исследований ОГК с применением ИИ-сервисов и по повышению квалификации медицинского персонала. Их внедрение позволит обеспечить более высокое качество диагностики и раннее выявление жизненно важных патологий магистральных сосудов в рутинной медицинской практике.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Определена распространенность патологических расширения грудной аорты и легочной артерии по данным бесконтрастной КТ ОГК. Это позволило выделить группы риска и обосновать необходимость дальнейших уточняющих исследований у пациентов с выявленными патологическими изменениями сосудов.

2. Доказана эффективность интеграции ИИ-сервисов в рутинную практику лучевой диагностики, позволяющая своевременно выявлять заболевания грудной аорты и легочной артерии и существенно снижать вероятность пропуска данной патологии при описании КТ ОГК.

3. Усовершенствованы шаблоны протоколов описания КТ ОГК, что повысит качество диагностики заболеваний магистральных сосудов грудной клетки и привлечет дополнительное внимание врачей-рентгенологов к изменениям в структуре аорты и легочной артерии.

4. Полученные результаты способствовали совершенствованию подходов к использованию ИИ-сервисов при анализе КТ ОГК, обеспечив повышение точности диагностики и упростив процесс интеграции данных технологий в клиническую практику здравоохранения.

Методология и методы исследования

Исследование проведено в 2022–2023 гг. в медицинских организациях (МО) Департамента здравоохранения города Москвы (ДЗМ), оказывающих первичную медико-санитарную и специализированную помощь взрослому населению. В его основу лег ретроспективный анализ данных КТ ОГК, выполненных по клиническим показаниям и хранящихся в ЕРИС г. Москвы. Методологическая база работы включала комплексный эпидемиологический подход, направленный на изучение распространенности патологий магистральных сосудов, а также оценку эффективности ТИИ в их выявлении.

Теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные ранней диагностике заболеваний магистральных сосудов с использованием КТ, а также нормативные правовые акты Российской Федерации и Министерства здравоохранения РФ, регламентирующие применение ТИИ в медицине. Анализ проводился с использованием статистических и аналитических методов, включая оценку точности автоматизированных измерений сосудов, сравнение результатов ИИ-сервисов с заключениями врачей-экспертов, а также определение эффективности оппортунистического скрининга для выявления скрытых патологий. Статистическая обработка данных включала методы корреляционного и дисперсионного анализа, логистической регрессии и тестов на достоверность различий, что обеспечило объективность полученных результатов и их клиническую значимость.

Положения, выносимые на защиту

1. Определена распространенность расширения магистральных сосудов по данным КТ ОГК. Проведенное популяционное исследование позволило установить частоту встречаемости расширения грудной аорты и ствола легочной артерии, что является основой для формирования групп риска и дальнейшего клинического наблюдения.
2. Доказана эффективность применения ТИИ для диагностики патологий магистральных сосудов. Использование ИИ-сервисов увеличивает выявляемость аневризм грудного отдела аорты на 41 %, повышает точность диагностики и снижает риск пропуска клинически значимых патологий.
3. Подтверждена эффективность оппортунистического скрининга с применением ТИИ. Использование ТИИ при анализе рутинных КТ-исследований ОГК позволяет выявлять скрытые аневризмы грудной аорты и признаки легочной гипертензии даже у пациентов без клинических проявлений, что способствует ранней диагностике и профилактике осложнений.

4. Обоснована необходимость стандартизации протоколов КТ ОГК и повышения квалификации медицинского персонала. Внедрение унифицированных шаблонов описания с обязательным анализом магистральных сосудов и обучение врачей методам работы с ИИ-сервисами позволят повысить качество диагностики и внедрить ТИИ в клиническую практику.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных результатов, обоснованность сделанных выводов и предложенных практических рекомендаций основаны на достаточной выборке клинических данных и применении корректных методов статистического анализа.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность и учебный процесс Отдела лучевых исследований Медицинского научно-образовательного центра МГУ имени М.В. Ломоносова, а также использованы в работе Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»). Разработанные методические подходы по оппортунистическому скринингу заболеваний магистральных сосудов с применением ТИИ интегрированы в обучение студентов, клинических ординаторов и аспирантов, а также применяются в клинической практике учреждений, участвовавших в исследовании. Полученные результаты способствуют повышению эффективности диагностики, стандартизации протоколов КТ-исследований ОГК и расширению возможностей использования ИИ-сервисов в рутинной лучевой диагностике.

Основные положения и результаты диссертационного исследования были автором самостоятельно опубликованы в научных статьях и представлены на следующих научных конференциях:

- Вторая Всероссийская конференция молодых ученых «Современные

тренды в хирургии», секция «Перспективы лучевой диагностики в хирургии», 31 марта 2023 г.;

– III Открытая конференция молодых ученых ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», секция «Большие языковые модели для научных исследований. Наука и ИИ», 27 апреля 2023 г.;

– Российский диагностический саммит 2023 (РДС), 4-6 октября 2023 г.;

– Конференция Российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР), 8 ноября 2023 г.;

– XI Международный конгресс «Кардиоторакальная радиология», секция «Искусственный интеллект в кардиоторакальной радиологии», 6 апреля 2024 г.;

– IV Открытая конференция молодых ученых, 3 апреля 2024 г.;

– Конференция «Онлайн диагностика 2024», 29 марта 2024 г.;

– Конференция «Искусственный интеллект и Радиомика: от диагностики к лечению», 17 мая 2024 г.;

– Конгресс РОРР, 6 ноября 2024 г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 3 статьи, 1 обзор в научных рецензируемых изданиях, соответствующих критериям и перечню рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 тезиса в сборниках тезисов Конгрессов РОРР и в научных рецензируемых изданиях. По теме диссертации получено свидетельство о государственной регистрации базы данных: «MosMedData: КТ с отсутствием и наличием признаков расширения легочного ствола» № 2023621254 от 18.04.2023 г.

Структура диссертации

Диссертация изложена на 148 печатных страницах, состоит из введения, 4 глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, который включает 192 источника, из них – 52 отечественных и 140 иностранных. Диссертация иллюстрирована 26 рисунками, содержит 31 таблицу.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Актуальность

По данным ВОЗ, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) и связанные с ними патологии являются одними из основных причин смертности в глобальном масштабе [1], приводя к 17,9 млн смертей ежегодно [2].

Эти болезни представляют существенную социальную проблему в сфере здравоохранения и остаются актуальными в современном мире. ССЗ связаны с высокими экономическими расходами, потерей трудоспособности населения и повышенным риском смертности для пациентов [13]. Среди ССЗ особое значение имеют заболевания аорты и легочной артерии. Количество смертей, связанных с ними, постоянно растет, и прогнозируется увеличение этого показателя на 42 % к 2030 году [14].

Аневризмы представляют собой локальное патологическое расширение просвета аорты, которое превышает нормальный диаметр более чем в 1,5 раза. Во многих случаях они протекают бессимптомно, оставаясь незамеченными пациентом. Именно из-за этой скрытой природы они получили название «тихие убийцы» [15]. Зачастую диагностика аневризм происходит на поздних стадиях, когда патологическое расширение достигает критических размеров и приводит к серьезным осложнениям, таким как расслоение стенки аорты или ее разрыв. Научные исследования свидетельствуют, что осложнения, вызванные аневризмами аорты, имеют крайне тяжелые последствия, приводя к летальному исходу в 94-100 % случаев при отсутствии своевременного лечения [3, 4]. Лечение аневризм аорты требует значительных ресурсов от системы здравоохранения, включая финансовые и медицинские. В отчете, опубликованном в Журнале Американской кардиологической ассоциации, был проведен анализ экономического ущерба, связанного с аневризмами аорты. Результаты показали, что в США было израсходовано 587 млн долларов на ежегодное медицинское обслуживание 0,1 % пациентов с аневризмами из общей численности населения

Онтарио в 13,8 млн человек. Эти затраты включали лечение осложнений аневризм, таких как расслоение и разрыв аорты, что создавало непропорционально большую нагрузку на ресурсы и бюджет больниц. Несомненно, раннее выявление и диагностика аневризм могли бы помочь снизить эту нагрузку и существенно сократить затраты на лечение [16].

Кроме того, значительную роль в здравоохранении играют заболевания, приводящие к развитию ЛГ, что представляет серьезную проблему. ЛГ, вызывающая патологическое расширение ствола легочной артерии и ее ветвей, может быть следствием широкого спектра заболеваний, таких как первичная ЛГ, хроническая постэмболическая ЛГ, хронические болезни легких и сердечная недостаточность [6, 17].

Согласно многочисленным источникам литературы, увеличение диаметра легочной артерии свыше 29 мм считается значимым признаком (биомаркером), указывающим на формирование ЛГ и рост легочного сосудистого сопротивления [6, 18, 19]. Между тем, в 2022 г. в рекомендациях Европейского кардиологического общества (ESC) и Европейского респираторного общества (ERS) были пересмотрены пороговые значения, получаемые по результатам КТ, и для диагностического подтверждения ЛГ была установлена граница ≥ 30 мм. Аналогичные изменения в октябре 2024 г. отразило и Министерство здравоохранения Российской Федерации в обновленных клинических рекомендациях, которые также включают 30 мм в качестве граничного диаметра легочной артерии. При этом подчеркивается важность комплексной оценки трех ключевых параметров, наиболее корректно измеряемых при контрастном усилении: диаметр легочной артерии ≥ 30 мм, толщина передней стенки ПЖ ≥ 6 мм и отношение ПЖ к левому желудочку ≥ 1 [20, 21]. Примечательно, что в первоисточнике, используемом как европейскими, так и российскими рекомендациями, указано три пороговых значения для диаметра легочного ствола: ≥ 28 мм как чувствительный порог, ≥ 30 мм как компромиссный и ≥ 32 мм как специфический [22]. С учетом ранее действовавшего критерия, указывавшего на 29 мм, это значение по-прежнему может использоваться в качестве

независимого биомаркера при КТ-исследованиях с контрастным усилением и без него.

Без своевременной диагностики и адекватного лечения ЛГ неизбежно прогрессирует, вызывая правожелудочковую сердечную недостаточность и приводя в конечном итоге к летальному исходу. Смерть наступает в результате осложнений, таких как тромбоэмболия, острая сердечная недостаточность и аритмии [6, 8].

Ранняя диагностика аневризм грудного отдела аорты и патологического расширения легочного ствола является критически важным для своевременного начала углубленной диагностики этих заболеваний и выбора оптимальной стратегии лечения, что может значительно улучшить прогноз у пациентов. Такой подход позволяет провести необходимое вмешательство до того, как болезнь достигнет критической стадии, существенно снижая риск развития серьезных осложнений и летального исхода. Внедрение современных методов ранней диагностики патологий аорты и легочной артерии, включая КТ с автоматическим анализом изображений посредством ТИИ в рамках оппортунистического скрининга, открывает новые возможности для последующего применения специализированных диагностических методов (например, КТ-ангиографии (КТА)) и эффективного лечения. Это способствует более точной оценке состояния пациентов и своевременному принятию мер по предотвращению прогрессирования заболевания.

1.2 Аневризмы аорты

Статистические исследования указывают на значительный рост глобальной смертности от аневризмы аорты на 81,6 % — с 94 968 до 172 427 случаев — в период с 1990 по 2019 гг. Данное заболевание преимущественно поражает мужчин [23–25]. В Канаде частота случаев аневризмы грудного отдела аорты увеличилась с 3,5 до 7,6 на 100 000 населения за период с 2002 по 2014 гг., отражая значительное повышение заболеваемости [26]. В странах Западной

Европы аневризма грудной аорты является вторым по распространенности заболеванием аорты после атеросклероза [27, 28]. В США ежегодно регистрируется около 10 случаев аневризм грудной аорты на 100 000 населения, при этом частота разрывов аорты составляет примерно 1,6 случая на 100 000 человек [5]. Осложнения этого состояния включают расслоение (3,7 %) и разрыв (3,6 %) аорты, что подчеркивает его опасность для жизни пациентов [29]. В 2020 г. более 6000 человек в США скончались вследствие аневризмы аорты, что указывает на ее значительный вклад в общую смертность [30]. В Гонконге (Китай) среди 1529 пациентов с артериальной гипертензией у 7,5 % (115 человек) была диагностирована аневризма грудной аорты [31]. В этом мегаполисе ежегодно аневризма и расслоение аорты приводят к более чем 1900 госпитализациям и 350 смертям, при этом уровень заболеваемости продолжает расти, что свидетельствует о нарастающей медицинской проблеме [32]. В Южной Корее, согласно исследованию выборки из 496 пациентов, распространенность аневризм грудной аорты среди мужчин с гипертензией составляет 36,5 % (181 случай) [33]. В Японии аневризма грудной аорты была обнаружена у 6,5 % пациентов (88 из 1351), что подтверждает необходимость раннего выявления и профилактики заболевания [34]. В Иране частота встречаемости аневризм диаметром более 45 мм составляет 1,2 % [35]. В России распространенность аневризмы восходящего отдела грудной аорты варьирует от 0,16 до 1,06 % [36]. Например, анализ данных аутопсий в ГКБ № 15 им. О.М. Филатова за 1991–2001 гг. показал, что аневризма грудного отдела аорты выявлена в 0,8 % случаев, при этом лишь в 11 % диагноз был известен при жизни, что указывает на сложности в своевременной диагностике [37].

Различия в статистических данных по аневризме аорты могут быть связаны с используемыми методами диагностики (КТ, ультразвуковое исследование (УЗИ), магнитно-резонансная томография (МРТ)), которые отличаются по точности и чувствительности, а также с вариациями в протоколах обследования и стандартах отчетности в разных странах. Кроме того, размер аорты может зависеть от расы и этнической принадлежности пациента [38].

Ключевые факторы, которые играют важную роль в развитии аневризмы грудного отдела аорты, включают такие состояния, как атеросклероз, артериальную гипертензию, гиперхолестеринемию и активное курение. Кроме того, особое значение имеют генетические синдромы, такие как синдром Марфана и синдром Элерса – Данлоса [39].

1.2.1 Краткая история изучения аневризмы аорты

История изучения аневризмы аорты началась много веков назад. Первые упоминания о подобных заболеваниях встречаются в древнеегипетских иероглифах, которым уже несколько тысяч лет до нашей эры. Гален (Galen) в начале II века н.э. предоставил первое медицинское описание аневризмы аорты, а приблизительно в тот же период греческий хирург Антилл (Antyllus) предположил, что причиной артериальных аневризм может быть тромбообразование [29, 40, 41]. Детальные анатомические описания восходящего отдела аорты и аортального клапана (включая его бicuspidальный вариант) впервые появились в работах Леонардо да Винчи (Leonardo da Vinci), датируемых 1508–1513 гг. Он детально исследовал гемодинамические аспекты работы аортального клапана и выдвинул гипотезу, что вихревые потоки крови в синусах аорты снижают риск травматизации створок и способствуют их равномерному и плавному закрытию [42]. В 1555 г. фламандский хирург Везалий (Vesalius) подробно описал аневризмы грудной и брюшной аорты [43]. Его современник Амбруаз Паре (Ambroise Paré) утверждал, что разрыв аневризмы аорты приводит к смертельному кровотечению, и считал, что внутренне расположенные аневризмы не поддаются лечению [44]. В 1740 г. Ланчизи (Johannis Mariae Lancisii) в труде «*De motu cordis et aneurysmatibus opus postumum, in duas partes divisum juxta exemplar Romanum*» представил этиологию и патогенез аневризм аорты, дополнив теорию описанием клинических случаев [45].

Начало хирургии грудной аорты датируется 1913 г., когда российский хирург Ю.Ю. Джанелидзе провел первую успешную операцию на восходящей

аорте, заключавшуюся в зашивании раны грудной аорты у 20-летнего пациента, получившего ножевое ранение. Этот случай стал знаковым событием, положив начало развитию хирургических методов лечения артериальных повреждений [46].

26 февраля 2024 г. Европейская ассоциация кардиоторакальной хирургии (EACTS) и Общество торакальных хирургов США (STS) опубликовали рекомендации, согласно которым аорта теперь классифицируется как отдельный орган человека. Это нововведение может иметь важные последствия, такие как разделение медицинских специальностей и предоставление специфического ухода за пациентами [14]. Эти изменения основываются на важном исследовании Раймунда Эрбеля «Сосудистая аорта», изданном в 2001 г. ESR, где аорта была предложена как отдельный орган, что послужило фундаментом для дальнейших медицинских открытий [47].

1.2.2 Диагностика аневризм грудной аорты

У пациентов с аневризмой грудной аорты нередко обнаруживаются другие сердечно-сосудистые болезни и сопутствующие нарушения. Раннее обнаружение аневризмы позволяет оптимизировать лечение этих больных и проводить необходимые хирургические вмешательства. Плановая хирургическая операция при аневризме грудной аорты значительно повышает шансы на выживание и дает возможность достичь ожидаемой продолжительности жизни, сопоставимой с таковой у здоровых людей того же возраста. Пятилетняя выживаемость после планового оперативного вмешательства по поводу аневризмы аорты составляет около 85 %, тогда как экстренные операции связаны лишь с 37 % выживаемостью [32, 48].

Ниже перечислены основные методы диагностики аневризмы грудной аорты.

Обзорная рентгенография грудной полости

Обзорная рентгенография грудной клетки является первым этапом диагностики, позволяющим выявить аномалии контуров и размеров аорты только в 30-40 % случаев у пациентов с заболеваниями этого органа. Несмотря на неспецифичность многих отклонений, рентгенография может выявить расширение тени средостения и корня аорты, а также смещение трахеи от средней линии. Необходимо уделять внимание соотношению диаметров восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также наличию кальциноза в проекции аорты и аортального клапана [48, 49].

Ультразвуковые методы диагностики

Ультразвуковые методы являются наиболее распространенными и доступными для первичной оценки заболеваний сердечно-сосудистой системы, включая аневризму аорты. Эхокардиография, в частности, включает в себя трансторакальную эхокардиографию (ТТ-ЭхоКГ) и чреспищеводную эхокардиографию (ЧП-ЭхоКГ), которые широко используются в клинической практике для оценки различных патологий аорты, включая аневризмы [50–55].

Трансторакальная эхокардиография (ТТ-ЭхоКГ)

Данный метод позволяет визуализировать восходящую аорту, корень аорты и частично дугу аорты [50].

Преимущества. ТТ-ЭхоКГ не требует инвазивных процедур и не связана с радиационным облучением, что делает ее безопасной для пациентов [50]. ТТ-ЭхоКГ доступна в большинстве МО и является относительно недорогим методом исследования [51].

Ограничения. ТТ-ЭхоКГ может эффективно выявлять дилатацию аорты, ее чувствительность составляет около 55–60 % для диагностики аневризмы [56]. Обеспечивает получение изображений в реальном времени, что позволяет оценить динамическое состояние аорты и ее функционирование (доплеровское картирование). ТТ-ЭхоКГ не всегда позволяет детально визуализировать всю

аорту, особенно в области дуги аорты и нисходящего отдела, а также визуализацию затрудняет деформация грудной клетки, узкие межреберные промежутки, избыточный вес пациента и наличие эмфиземы легких [48, 56–59].

Чреспищеводная эхокардиография (ЧП-ЭхоКГ)

ЧП-ЭхоКГ является полуинвазивным методом, при котором ультразвуковой датчик вводится в пищевод через рот для получения более точных изображений структур, расположенных близко к пищеводу. Данный метод особенно полезен для детальной оценки корня аорты, дуги аорты и восходящего отдела [48, 52, 58].

Преимущества. ЧП-ЭхоКГ обеспечивает более четкое и детализированное изображение аорты по сравнению с ТТ-ЭхоКГ, что позволяет лучше оценить морфологические особенности аорты и ее патологии. Метод полезен для исследования пациентов с ограничениями в доступности для ТТ-ЭхоКГ, таких как ожирение или деформация грудной клетки [48, 52, 58, 59].

Ограничения. ЧП-ЭхоКГ является полуинвазивным методом, что может быть менее комфортным для пациента по сравнению с ТТ-ЭхоКГ или привести к осложнениям, например повреждению пищевода [48, 52, 58].

Компьютерная томография (КТ)

КТ, как нативная, так и с контрастированием (КТА), зарекомендовала себя как золотой стандарт в диагностике заболеваний грудной аорты, включая аневризму аорты [56, 60–62].

Преимущества. КТ обеспечивает высокое пространственное разрешение, наиболее детализированные и точные изображения, что делает ее незаменимым инструментом в современной диагностике. Это особенно важно для оценки размера аневризмы и состояния стенки аорты. Возможность создания трехмерных изображений аорты позволяет врачу подробно изучить анатомию и планировать хирургические вмешательства с максимальной точностью [56, 60–62]. КТ-сканирование занимает всего несколько секунд, что особенно ценно в неотложных ситуациях, когда требуется быстрая диагностика. КТ-аппараты

распространены в большинстве МО, что делает этот метод доступным для широкого круга пациентов [56, 60–62]. КТ играет ключевую роль в диагностике и оценке аневризмы аорты. Метод позволяет точно определить размер и расположение аневризмы, оценить ее отношение к окружающим структурам и выявить возможные осложнения, такие как расслоение аорты или тромбоз [48, 62–66]. КТ также используется для планирования хирургических вмешательств, включая стентирование и эндоваскулярные процедуры [14, 30, 48].

Ограничения. Несмотря на многочисленные преимущества, КТ имеет и свои ограничения: она связана с воздействием ионизирующего излучения, что может быть проблематично для некоторых пациентов, особенно при повторных исследованиях [14, 48, 67]. Введение контрастного вещества может вызвать нарушение функции почек, особенно у пациентов с уже существующими проблемами с почками. Поэтому важно проводить предварительную оценку функции почек перед процедурой [14, 67]. Движение пациента или наличие металлических имплантов могут вызвать артефакты, затрудняющие интерпретацию изображений [14, 67].

Магнитно-резонансная томография (МРТ)

МРТ является важным и высокоинформативным методом диагностики аневризмы аорты, предоставляя детальную визуализацию аортальной структуры. МРТ обеспечивает точные измерения диаметра аорты, что критично для определения стратегии лечения и мониторинга прогрессирования заболевания.

Преимущества. Одним из главных преимуществ МРТ является отсутствие ионизирующего излучения, что делает его безопасным для повторных исследований и особенно ценным для молодых пациентов и тех, кто требует длительного мониторинга [14, 48, 62, 68]. МРТ обеспечивает превосходное разрешение мягких тканей, что позволяет детально визуализировать стенки аорты, выявлять интрамуральные гематомы, тромбы и другие патологические изменения. Современные МРТ позволяют получать трехмерные изображения, что упрощает оценку анатомии аорты и ее аневризмы, а также взаимодействие

с окружающими структурами. Трехмерные реконструкции играют важную роль в планировании операций, таких как эндопротезирование аорты, обеспечивая хирурга детальной анатомической информацией [69, 70]. МРТ может быть выполнена без использования контрастных препаратов, что особенно важно для пациентов с аллергией на йодсодержащие контрасты или с почечной недостаточностью [14, 48, 62, 68].

Ограничения. МРТ требует больше времени на выполнение по сравнению с КТ, что может быть критично в экстренных ситуациях [14, 62, 70]. Наличие металлических имплантатов, таких как стенты или клапаны, может вызвать артефакты на изображениях, ухудшая их качество и затрудняя интерпретацию. МРТ менее доступна по сравнению с КТ, что может ограничивать ее использование в некоторых МО [14, 48, 62, 68].

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

ПЭТ является передовым методом визуализации, который применяется для диагностики и оценки аневризмы аорты, особенно в случаях, когда необходимо выявить воспалительные процессы или инфекции. Метод основан на распределении радиофармпрепаратов, в основном таких как ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ), которые поглощаются гиперметаболическими клетками, часто связанными с воспалением или злокачественными процессами [71–73]. Одним из преимуществ ПЭТ является возможность комбинации с КТ, что позволяет объединить функциональные данные ПЭТ с анатомическими данными КТ, улучшая точность диагностики [71–73]. ПЭТ является дорогостоящей процедурой, что ограничивает ее рутинное использование [74, 75].

Прямая аортография

Прямая (или катетерная) аортография долгое время считалась золотым стандартом в диагностике заболеваний аорты, включая аневризмы. Этот инвазивный метод позволяет получать точные изображения просвета аорты с использованием контрастного вещества, введенного через катетер, проводимый

через артерии. Данный метод позволяет оценить функциональные характеристики клапанов сердца и левого желудочка, а также провести транскатетерные лечебные манипуляции [76–78]. Однако процедура требует катетеризации крупных артерий, что связано с риском осложнений, таких как тромбоэмболии. Кроме того, прямая аортография менее подходит для экстренных случаев, таких как острое расслоение аорты, из-за потенциальных рисков [27, 79, 80].

1.2.3 Различные подходы к анализу расширения грудной аорты

Исследования показали, что размер аорты зависит от таких факторов, как возраст, пол, масса тела и рост, при этом наиболее сильная корреляция наблюдается с возрастом. С течением времени диаметр аорты увеличивается на всех уровнях грудного отдела, поэтому при определении нормальных размеров необходимо учитывать возраст пациента. Пол влияет только на диаметр нисходящей части аорты, со средней разницей в 1,99 мм, что не имеет существенного клинического значения. Индекс массы тела (ИМТ) также играет роль на большинстве уровней, с изменением диаметра на 0,23 мм на каждую единицу ИМТ, что требует корректировки в соответствии с антропометрическими данными пациента [81, 82].

Для более точной оценки расширения аорты и определения риска развития аневризм был создан индекс размера аорты (ASI), учитывающий диаметр аорты и площадь поверхности тела (BSA). ASI показал себя как более эффективный предиктор неблагоприятных событий по сравнению с использованием только максимального диаметра аорты. В 2006 г. Ryan R. Davies и др. [83] предложили использовать ASI для индексирования диаметра аорты относительно BSA. Пациенты с ASI менее 2,75 см/м² считались имеющими низкий риск развития осложнений аневризмы аорты, тогда как значения ASI более 4,25 см/м² указывали на необходимость хирургического вмешательства. Однако данный метод имеет свои ограничения, поскольку BSA и вес могут меняться с возрастом и не всегда

точно отражают физиологическое состояние аорты. Поэтому требуется разработка более надежных показателей для оценки степени ее расширения [84].

Соотношение площади поперечного сечения аорты к ее высоте было предложено для оценки риска острых аортальных событий у пациентов с генетическими патологиями аорты, но этот параметр имеет свои ограничения. Исследования показали, что у пациентов с низким индексом наблюдалась сниженная долгосрочная выживаемость, но при анализе общей смертности вместо конкретных острых аортальных событий прогностическая значимость этого показателя не была подтверждена. Из-за этого и ряда других причин данный индекс не получил широкого распространения в клинической практике [84].

При оценке риска острых аортальных событий необходимо принимать во внимание длину восходящего отдела аорты. Установлено, что длина аорты увеличивается с возрастом независимо от площади поверхности тела, а также возрастает ее извитость, что можно оценить посредством индекса извитости аорты [84].

Объединение показателей диаметра и длины аорты для вычисления ее объема может повысить чувствительность измерений при прогнозировании острых аортальных событий по сравнению с использованием только одного из параметров. Волюметрия аорты предоставляет количественные данные, которые полезны для наблюдения как до, так и после операции. С помощью этого метода можно обнаружить значительные изменения, которые могут быть упущены при оценке расширения аорты только по диаметру. Исследования показали, что увеличение объема аорты является чувствительным предиктором осложнений после эндоваскулярных процедур на аорте. Анализ объема аорты может стать важным инструментом для мониторинга состояния и прогноза, однако его клиническая значимость требует дальнейших исследований [84].

Диагностика аневризмы аорты требует междисциплинарного подхода с участием специалистов различных профилей и использованием современных методов диагностики и анализа, включая ТИИ, которые помогают в оппортунистическом скрининге и раннем выявлении расширения аорты.

Таким образом, ключевыми показателями для оценки риска острых аортальных событий являются диаметр, длина и объем аорты, которые учитывают индивидуальные особенности пациента. Комбинированные методы измерения, такие как волуметрия, обеспечивают более высокую чувствительность и точность при прогнозировании рисков и мониторинге состояния аорты, что способствует своевременной диагностике и эффективному лечению.

1.3 Оценка патологического расширения легочного ствола

Легочная гипертензия — серьезное заболевание, от которого страдает примерно 1 % мирового населения. У людей старше 65 лет ее распространенность значительно увеличивается, достигая 10 % [9]. Среди множества факторов, способствующих ее развитию, ключевую роль играют заболевания сердца и легких [9]. В Великобритании зарегистрировано 97 случаев ЛГ на каждый миллион жителей, причем мужчины страдают этим недугом в 8 раз чаще женщин. В Соединенных Штатах уровень смертности от этого заболевания варьируется от 4,5 до 12,3 случая на 100 тысяч населения. Наиболее распространенные формы ЛГ связаны с болезнями, поражающими левые отделы сердца, а также с легочными заболеваниями в сочетании с гипоксией [6]. В Западной Австралии было зафиксировано 326 случаев данного заболевания на 100 тысяч человек; из них 250 случаев связаны с патологиями левых отделов сердца, а 37 — с заболеваниями легких [85].

В Российской Федерации распространенность артериальной ЛГ составляет от 15 до 60 случаев на миллион человек, при этом заболеваемость достигает 10 случаев на миллион [86, 87]. Среди 511 пациентов с COVID-19 у 189 было обнаружено расширение легочного ствола размером ≥ 29 мм [88]. В исследовании, охватывающем 7164 пациента с ХОБЛ, распространенность заболевания среди тех, кто испытывал респираторные симптомы, составила 21,8 %, тогда как в общей группе этот показатель был 15,3 % [89, 90].

1.3.1 Краткая история изучения легочной гипертензии

История изучения ЛГ берет свое начало в конце XIX века, когда немецкий терапевт Эрнст фон Ромберг в 1891 г. впервые обратил внимание на патологию, названную им «изолированным склерозом легочных артерий». Он описал случаи, характеризующиеся обструкцией и склерозом мелких артериол легких, гипертрофией ПЖ, а также сильной одышкой и акроцианозом. Это открытие стало отправной точкой для дальнейших исследований в этой области медицины [91, 92].

В 1901 г. аргентинский врач Абель Айерза (Abel Ayerza) в своей лекции в Буэнос-Айресе ввел понятие «cardiacos negros» и описал схожий синдром, который позже стали называть первичной ЛГ. Его коллеги из Аргентины прозвали это состояние «болезнью Айерза» и предположили, что причиной его может быть сифилис [91, 92].

Значительные шаги в изучении заболевания были сделаны в 1940-х гг. J.R. Gilmour и W. Evans опубликовали первое гистологическое описание идиопатической ЛГ, особое внимание уделяя утолщению интимы и пролиферации эндотелиальных клеток. Чуть позже Heath и Edwards выявили связь между ЛГ и врожденными пороками сердца. В 1951 г. D.T. Dresdale предложил термин «первичная легочная гипертензия» [91, 92].

Диагностические возможности расширились благодаря выдающейся работе Андре Курнана в 1950-х гг., который разработал метод катетеризации ПЖ и легочных сосудов, вдохновившись экспериментами Вернера Форссмана. Курнан, Форссман и их коллега Дикинсон Ричардс были удостоены Нобелевской премии в 1956 г. за этот вклад [91, 92].

В 1960-х гг. кардиолог Пол Вуд стал первым, кто провел систематические исследования гемодинамики малого круга кровообращения, установив верхнюю границу нормы среднего давления в легочной артерии на уровне 20 мм рт. ст. Эта работа актуальна и поныне [91, 92].

Случаи ЛГ стали массово обсуждаться общественностью в период «эпидемии Меносила» в середине 1960-х гг. Препарат для подавления аппетита (аноректик) Меносил (действующее вещество — аминорекс), поступивший на рынок в 1965 г. в Германии, Австрии и Швейцарии, вызвал значительное увеличение числа случаев тяжелой ЛГ. Только после изъятия препарата в 1968 г. частота случаев снизилась. Несмотря на это, аналогичные препараты с тем же механизмом действия продолжали поступать на рынок, приводя к новым всплескам заболевания [91, 92].

Ключевым моментом в классификации ЛГ стала конференция ВОЗ в Эвиане в 1998 г. Тогда ЛГ была разделена на пять категорий, включающих артериальную ЛГ, гипертензию при заболеваниях соединительной ткани, гипертензию при легочных заболеваниях, хронические тромбоэмболические формы и другие виды. Эта классификация была скорректирована на симпозиумах в Венеции (2003 г.) и Дана-Пойнт (2008 г.), но основные положения остались неизменными, что помогло упорядочить подход к диагностике и лечению этого сложного заболевания [91, 92].

1.3.2 Методы раннего выявления легочной гипертензии

Эффективная диагностика ЛГ требует сотрудничества мультидисциплинарной команды специалистов, включая кардиологов, рентгенологов и пульмонологов [6].

На ранних стадиях ЛГ симптомы могут быть слабо выражены и проявляться только при физической нагрузке, что усложняет ее своевременное обнаружение. Одышка и усталость могут быть ошибочно приняты за признаки менее серьезных заболеваний. По мере прогрессирования болезни клинические проявления становятся более заметными [6].

ЛГ является одной из главных причин дилатации легочного ствола. С увеличением использования неинвазивных методов визуализации возрастает вероятность случайного выявления расширенной легочной артерии. Раннее

обнаружение ЛГ крайне важно для начала специализированного лечения и улучшения прогноза для пациентов. Однако, несмотря на повышенную осведомленность о ЛГ, ее диагностика часто задерживается из-за схожести симптомов с другими, более распространенными респираторными или сердечно-сосудистыми заболеваниями [93–96].

Ниже представлены методы диагностики расширения легочного ствола как признака ЛГ.

Эхокардиография

Эхокардиография является неинвазивным методом диагностики ЛГ, позволяя оценивать систолическое давление в легочной артерии и визуализировать структуру и функцию сердца. ТТ-ЭхоКГ использует непрерывную волновую доплерографию для измерения максимальной скорости трикуспидальной регургитации. Эхокардиография также помогает выявить причины ЛГ, такие как дефекты межпредсердной перегородки или аномальный легочный венозный возврат, и оценивает диастолическую функцию левого желудочка. Эхокардиография, благодаря своей доступности, безопасности и информативности, остается ключевым методом в первичном обследовании пациентов с подозрением на ЛГ [6, 97].

УЗИ зависит от навыков оператора и часто показывает диаметр аорты на 2-5 мм меньше реального [98, 99].

Рентгенография грудной клетки

Рентгенография грудной клетки является базовым методом в диагностике ЛГ, хотя отсутствие изменений не исключает заболевания. При ЛГ часто наблюдаются кардиомегалия за счет увеличения правых отделов сердца, расширение центральных легочных артерий и сужение периферических кровеносных сосудов. Рентген может выявить перикардальный выпот, указывающий на прогрессирование ЛГ. Помимо основной диагностики, рентгенография помогает в определении возможных причин и сопутствующих

заболеваний, включая интерстициальные болезни легких или эмфизему, а также признаки тромбоэмболии легочной артерии (знак Вестермарка (Westermarck sign)). Несмотря на свою доступность и простоту, этот метод имеет ограничения по специфичности и точности, поэтому его результаты часто дополняются более современными методами визуализации, такими как КТ или МРТ, для более точной оценки и дифференциальной диагностики [6, 97, 100].

Компьютерная томография

КТ и КТА легких являются важными методами диагностики ЛГ, предоставляя высокоточные изображения и позволяя детально оценить состояние легочной сосудистой системы и легочной паренхимы. Основные преимущества КТ включают быстрое сканирование, высокое пространственное и временное разрешение, а также возможность всесторонней оценки сердечно-легочных структур. Эти качества делают КТ незаменимым инструментом для выявления причин ЛГ, включая хроническую тромбоэмболическую ЛГ, интерстициальные заболевания легких и эмфизему [6, 97, 100, 101].

КТА с контрастированием, особенно с электрокардиографической (ЭКГ) синхронизацией, позволяет подробно визуализировать легочные артерии и оценивать их структуру, выявляя тромбы, утолщение стенок и другие патологии. Кроме того, КТА может визуализировать точнее вторичные изменения сердечно-сосудистой системы, такие как гипертрофия и дилатация ПЖ, расширение правого предсердия, а также наличие перикардального выпота [6, 97].

Расширение легочного ствола является одним из основных диагностических признаков ЛГ на КТ. Согласно проведенным исследованиям, диаметр легочного ствола, превышающий 29 мм, с высокой точностью свидетельствует о наличии ЛГ и обладает 97 % положительной прогностической ценностью для данного заболевания [7, 102]. Установлено, что существует статистически значимая связь между отношением диаметра легочного ствола к диаметру восходящей аорты и повышенным риском летального исхода, независимо от наличия ишемической болезни сердца. Для оценки данного параметра предлагается измерять

максимальные диаметры ствола легочной артерии и восходящего отдела грудной аорты с последующим определением их соотношения. Ранее нормальным считалось значение индекса ≤ 1 , при этом индекс > 1 указывал на расширение ствола легочной артерии [19, 103–106]. Однако в актуальных рекомендациях ESC/ERS (2022 г.) и клинических рекомендациях Министерства здравоохранения Российской Федерации (2024 г.) применяется пороговое значение индекса 0,9 [20, 21]. Данное соотношение может оказаться полезным при клинической оценке и прогнозировании течения ЛГ [18, 103–106]. Пример приведен на рисунке 1.1.

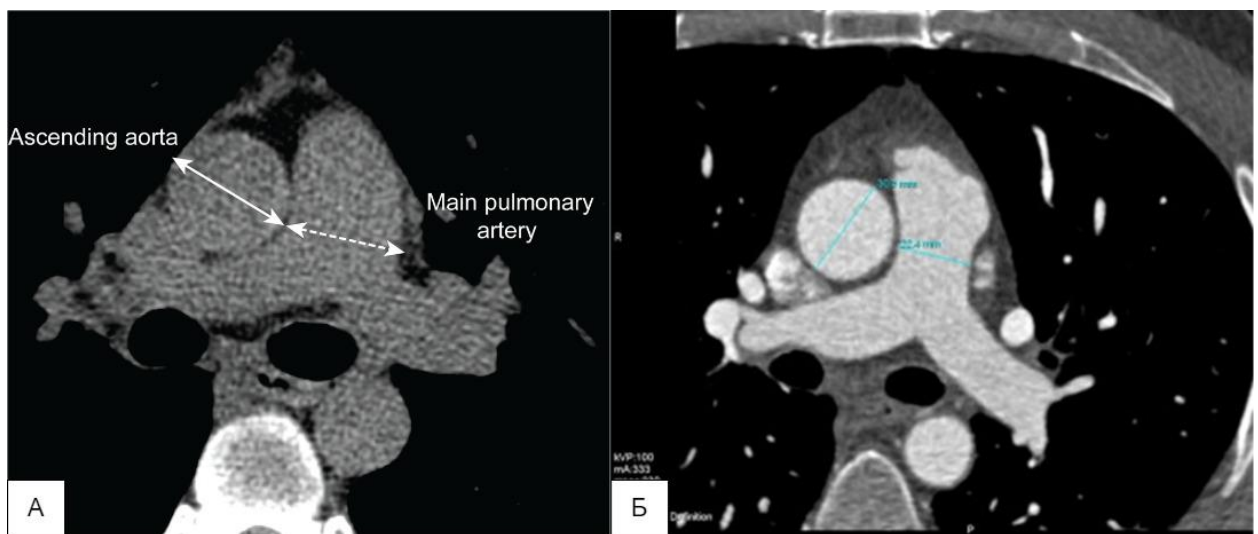


Рисунок 1.1 – Пример измерения соотношения между стволом легочной артерии и восходящей аортой. На аксиальном срезе КТ-изображения, выполненном на уровне бифуркации легочной артерии, проводились измерения диаметров как легочной артерии, так и восходящей аорты. Для этого использовался компьютерный штангенциркуль, который фиксировал максимальный вертикальный диаметр сосудов относительно длинной оси главной легочной артерии. Измерения осуществлялись как с применением контрастного усиления (изображение А), так и без него (изображение Б). Изображения были получены из следующих источников [103, 104]

Ствол легочной артерии обычно измеряется в точке ее бифуркации, перпендикулярно длинной оси, на аксиальном срезе; на этом же уровне производится измерение восходящей аорты для определения их соотношения [18]. Визуальные биомаркеры, такие как диаметр ствола легочной артерии и вторичные признаки сердечной недостаточности — включая расширение нижней полой вены, наличие плеврального выпота и уплотнения легочной ткани типа

«матового стекла» — являются ключевыми для диагностики ЛГ, а отношение легочного ствола к восходящей аорте более > 1 специфично на 92 % для повышенного среднего артериального давления более 20 мм рт. ст. [102].

Магнитно-резонансная томография сердца

МРТ сердца становится все более значимым методом для диагностики ЛГ благодаря своей способности предоставлять детальную структурную и функциональную информацию о сердечно-сосудистой системе без использования ионизирующего излучения. МРТ позволяет оценить структурные и функциональные изменения ПЖ, которые часто сопровождают ЛГ. Одним из ключевых преимуществ МРТ является возможность точной оценки объема и массы ПЖ, а также измерения фракции выброса. Эти параметры важны для диагностики и оценки тяжести ЛГ. МРТ позволяет выявить гипертрофию и дилатацию ПЖ. Этот метод превосходит ТТ-ЭхоКГ благодаря лучшему пространственному разрешению и отсутствию ограничений, связанных с акустическими окнами [6, 97].

Протокол МРТ включает несколько ключевых последовательностей. Первоначально получают осевые изображения и киносъемку для оценки функции ПЖ. Фазово-контрастная МРТ используется для измерения скорости кровотока в легочных артериях, что позволяет оценить гемодинамические параметры, такие как сердечный выброс и ударный объем. Магнитно-резонансная ангиография (МРА) с контрастированием или без него обеспечивает детализированное изображение легочной сосудистой сети, выявляя аномалии, такие как тромбы и изменения стенок сосудов. МРТ также предоставляет ценную информацию для мониторинга эффективности терапии у пациентов с ЛГ. Несмотря на значительные преимущества, МРТ остается менее доступной [6, 97].

Катетеризация правых отделов сердца

Катетеризация правых отделов сердца является золотым стандартом для диагностики ЛГ, необходимой для подтверждения диагноза и оценки тяжести

гемодинамических нарушений. Процедура включает измерение давления в правом предсердии, ПЖ, легочной артерии. Эти данные позволяют оценить среднее давление в легочной артерии и легочное сосудистое сопротивление, критически важные для диагностики ЛГ [6].

1.3.3 Современные направления в диагностике легочной гипертензии и изменений легочной артерии

Благодаря прогрессу в технологиях и развитию программного обеспечения для обработки данных, четырехмерная фазово-контрастная МРТ (4D flow MR) становится все более доступной. Этот неинвазивный метод позволяет визуализировать особенности кровотока и измерять параметры циркуляции в аорте и легочной артерии. Применение 4D flow MR способствует более глубокому пониманию механизмов развития аневризм, особенно у пациентов с двустворчатым аортальным клапаном. Однако для широкого внедрения этой технологии в клиническую практику необходимы стандартизация методик и повышение ее доступности [14, 107].

Еще одна инновационная технология — КТ с подсчетом фотонов — начинает применяться в клинической практике. Этот метод использует новые типы детекторов, которые не только подсчитывают количество фотонов, но и измеряют их энергию. Это позволяет получать изображения с более высоким разрешением, без электронного шума и с улучшенным контрастом. КТ с подсчетом фотонов позволяет снизить лучевую нагрузку, уменьшить артефакты (в частности, от металлических имплантатов), повысить эффективность использования контрастных средств и формировать изображения с несколькими контрастными агентами одновременно. Так, во время исследования возможно одновременное или последовательное внутривенное введение гадолиний- и йодсодержащих препаратов (двойное контрастирование), а также пероральный прием контрастного вещества на основе висмута. Первые клинические исследования показывают значительные преимущества этой технологии

в визуализации сердечно-сосудистой системы и ее потенциал для дальнейшего развития [108–110].

1.4 Искусственный интеллект и его роль в оппортунистическом скрининге по данным КТ

Оппортунистический скрининг представляет собой анализ исследований, выполненных по другим медицинским показаниям, как в проспективном, так и в ретроспективном плане. Такой подход позволяет обнаруживать не только основную патологию, но и дополнительные факторы риска и состояния, которые могут привести к серьезным осложнениям. Это обеспечивает выявление сопутствующих заболеваний без необходимости проведения дополнительных обследований той же анатомической области. Одним из ключевых преимуществ этого метода является возможность избежать повторных исследований, что снижает радиационную нагрузку на пациентов и оптимизирует процесс диагностики, а также способствует раннему обнаружению нецелевых патологий [111–116].

Примером такого подхода является использование данных КТ-исследований грудной клетки или брюшной полости для обнаружения аневризм аорты. Для эффективного скрининга необходимо охватить большое число пациентов, поскольку сложно определить конкретные группы риска для этой патологии, что ставит под сомнение экономическую эффективность организованного скрининга [57]. УЗИ также может использоваться для диагностики аневризмы, но имеет технические ограничения, особенно при оценке нисходящего отдела грудной аорты при трансторакальном доступе [57]. КТ имеет ряд преимуществ перед ультразвуковыми методами, включая более высокое качество изображений, меньшую зависимость от навыков оператора, возможность трехмерной реконструкции и ретроспективного анализа данных [10].

С момента появления термина «искусственный интеллект» в 1956 г. ТИИ все глубже интегрируются в различные сферы жизни, включая медицину.

ИИ, подразумевающий способность компьютерных программ имитировать человеческие когнитивные функции, нашел широкое применение в здравоохранении. Благодаря прогрессу в вычислительных мощностях и росту числа цифровых рентгенологических изображений, ТИИ помогают упростить рутинные задачи врачей, улучшить визуализацию патологических изменений и ускорить диагностические процессы [117]. Эти достижения свидетельствуют о трансформационном потенциале ТИИ в улучшении медицинской диагностики и ухода за пациентами. Например, во время пандемии COVID-19 в России были специально разработаны алгоритмы ТИИ для выявления признаков пневмонии посредством анализа данных КТ [118].

Опportunистический скрининг на основе данных КТ предоставляет возможность выявлять патологии других органов без необходимости проведения дополнительных исследований. Этот подход доказал свою эффективность в диагностике остеопороза по данным КТ среди жителей г. Москвы. Во время пандемии COVID-19 было выполнено свыше 90 тысяч КТ грудной клетки, что с помощью ТИИ на основе нейронных сетей позволило выявить признаки остеопороза у более чем 29 тысяч пациентов [111, 119]. ТИИ не только оптимизируют клинические процессы, но и улучшают результаты лечения пациентов за счет раннего вмешательства.

Системы ИИ также применяются для ранней диагностики расширения аорты и легочного ствола. В исследовании, проведенном О. М. Mets и др., обсуждается возможность использования неконтрастной КТ в скрининговых программах для раннего обнаружения расширения аорты. Это позволит проводить профилактические операции вовремя и спасти жизни пациентов. Включение КТ грудной аорты в комплексные скрининговые обследования, где также оцениваются состояние легких, наличие коронарного кальция и плотность костной ткани позвонков, существенно расширит диагностические возможности и повысит эффективность профилактических мероприятий [120]. Более того, интеграция ТИИ в скрининговые протоколы представляет собой значительный прогресс в профилактической медицине.

Анализ данных КТ с помощью ТИИ показал влияние COVID-19 на биомеханические характеристики восходящей аорты. Исследование в Ухане показало, что у более чем 50 % из 38 взрослых пациентов с COVID-19 наблюдалось увеличение диаметра восходящей аорты, связанное с сильным воспалением и повреждением сердца. У детей с COVID-19 и мультисистемным воспалительным синдромом были отмечены сниженные показатели напряжения и эластичности восходящего отдела аорты [121–123]. Кроме того, исследование под руководством А.Ф. Aliev выявило расширение легочного ствола у 189 из 511 пациентов с COVID-19 [88]. Такие выводы подчеркивают критическую необходимость продолжения исследований сердечно-сосудистых последствий COVID-19, особенно с использованием ТИИ для анализа данных. Эти результаты указывают на важность выявления пациентов с высоким риском и должны учитываться в постковидный период.

Исследование, опубликованное в журнале *Clinical Imaging*, выделило интерес врачей первичной медико-санитарной помощи к использованию оппортунистического КТ-скрининга, поскольку такие данные могут способствовать ранней профилактике заболеваний и снижению показателей заболеваемости и смертности. Тем не менее в работе выражалась осторожность относительно использования ТИИ для автоматического выявления таких находок. Подчеркивалось, что результаты, полученные с помощью ТИИ, должны проходить проверку рентгенологом для минимизации возможных ошибок и повышения доверия к технологии. В опросе принял участие 71 врач, из которых 74,6 % были знакомы с концепцией ТИИ, но только 8,5 % использовали его в практике и лишь 4,2 % имели представление об оппортунистическом КТ-скрининге. Это указывает на то, что, несмотря на интерес к ТИИ, его практическое применение остается ограниченным, что свидетельствует о наличии барьеров, требующих преодоления. Для успешной интеграции ТИИ и оппортунистического КТ-скрининга врачи отмечают необходимость дополнительного обучения и информационной поддержки [11].

Применение ТИИ в оппортунистическом скрининге, например для выявления остеопороза и расширения аорты по данным КТ, продемонстрировало свою эффективность. Это подчеркивает необходимость включения подобных методов в комплексные скрининговые программы для повышения качества медицинских услуг и профилактики заболеваний, особенно в постпандемический период COVID-19.

Учитывая обширный объем собранных данных КТ, оппортунистический скрининг может помочь в раннем обнаружении расширения аорты и аневризм среди населения. Несмотря на потенциальные преимущества, оппортунистический скрининг аневризмы аорты с использованием КТ остается сложной задачей. Ошибки, допущенные рентгенологами, могут привести к ложноотрицательным результатам из-за неточных измерений диаметра аорты, что может быть обусловлено как человеческими, так и техническими факторами [10]. Поэтому усилия по повышению точности измерений и обучению рентгенологов являются существенными для полного раскрытия преимуществ оппортунистического КТ-скрининга аневризмы аорты.

1.5 Влияние ТИИ на диагностику сердечно-сосудистых заболеваний

Внедрение ТИИ в медицинскую визуализацию существенно преобразило диагностику ССЗ. Методы глубокого обучения, которые используются в ТИИ, повысили эффективность интерпретации медицинских изображений [2]. Комбинируя ТИИ с методами лучевой диагностики, включая УЗИ, можно проводить более детальную оценку структур и функций сердечно-сосудистой системы. Эти технологии способствуют сегментации и классификации заболеваний, прогнозированию рисков и поддержке клинических решений, что подчеркивает важность ТИИ в борьбе с ССЗ [124–126].

За последние 15 лет рабочая нагрузка в отделениях лучевой диагностики значительно возросла. Недавние исследования указывают на то, что количество пациентов с дилатацией грудной аорты может быть значительно выше, чем

предполагалось ранее, что требует увеличения объема диагностических исследований. Это создает дополнительные вызовы для рентгенологов и подчеркивает необходимость внедрения новых технологий [30, 127].

Одной из ключевых областей применения ТИИ является автоматизация обработки КТ-изображений, что предоставляет ряд существенных преимуществ. Во-первых, ТИИ позволяют проводить ретроспективный анализ больших массивов данных, значительно ускоряя диагностический процесс. Во-вторых, они обеспечивают воспроизводимость и точность измерений, снижая уровень неопределенности для медицинских специалистов. Таким образом, ТИИ становятся важным инструментом для рентгенологов, способствуя более точной и эффективной диагностике [10].

Исследования показывают, что применение ТИИ в диагностике значительно повышает эффективность работы рентгенологов [2, 128, 129]. В научном обзоре Мохамеда Халифы и соавторов были рассмотрены ключевые направления применения ТИИ, включая анализ изображений, повышение операционной эффективности, предиктивную и персонализированную медицину, а также поддержку клинических решений. Использование ТИИ в этих областях способствует ускорению диагностики и снижению количества ошибок. В частности, ТИИ способны выявлять до 8,4 % дополнительных патологий, которые могли быть пропущены радиологами [130].

В контексте операционной эффективности ТИИ также демонстрируют значительные преимущества. Они ускоряют процесс интерпретации изображений и снижают затраты на здравоохранение за счет уменьшения необходимости в повторных сканированиях, что снижает риск неправильной диагностики. Например, исследование Дхира Галы и др. показало, что роль ТИИ в кардиологии продолжает расширяться, предлагая существенные преимущества в диагностике, лечении и мониторинге пациентов. Одним из примеров является использование КТ сердца с автоматической оценкой кальциевого индекса в коронарных артериях (Ca Score). Этот подход позволяет автоматически оценивать уровень кальция, что способствует более персонализированной оценке сердечно-сосудистого риска.

Точность диагностики в этом случае составляет от 52 до 94 %, а положительные прогностические показатели варьируются от 65 до 96 % [131].

В исследовании Янь-Жань (Джойс) Ван и др. была оценена эффективность модели ТИИ по сравнению с результатами врачей-рентгенологов. Для этого был создан тестовый набор данных МРТ от 500 пациентов с 11 различными типами ССЗ. Пациенты были оценены врачами с разным стажем работы (от 3 до более 10 лет) и моделью на основе ТИИ. Результаты показали, что ИИ достиг точности, сопоставимой с наиболее опытными специалистами, при этом время анализа ИИ было значительно меньше (1,94 минуты для ИИ на 500 пациентов против 418 минут у врачей). Более того, ИИ превзошел врачей в диагностике артериальной ЛГ, успешно выявив пациентов на МРТ. Это демонстрирует потенциал ТИИ в обнаружении признаков на МРТ, которые могут быть труднодоступны для человека [132].

Эти результаты подчеркивают важность дальнейших исследований в области внедрения ТИИ для диагностики заболеваний, особенно когда требуется высокая точность и скорость анализа. Например, в исследовании Макото Мори и др. при анализе 5662 КТ ОГК случайно выявили дилатацию аорты в 2,1 % случаев, включая 3,2 % у мужчин и 0,9 % у женщин, преимущественно у пациентов старше 50 лет. Эти данные свидетельствуют о том, что скрининг дилатации грудного отдела аорты и аневризмы следует фокусировать на мужчинах старше 50 лет [133]. Однако женщин также необходимо учитывать, так как женщины, перенесшие операцию по поводу аневризмы грудной аорты, имеют более высокий уровень смертности. Кроме того, у них наблюдается более быстрое развитие аневризмы и повышенный риск расслоения аорты по сравнению с мужчинами [134]. Это подтверждается и другими исследованиями [135], что также поддерживает целесообразность применения метода оппортунистического скрининга.

Точность измерения диаметра аорты является важным аспектом диагностики, однако она может значительно варьироваться между различными рентгенологами, что создает дополнительный риск получения ошибочных

заклучений. Например, в систематическом обзоре Кейна Н.С. и коллег восемь опытных рентгенологов выявили среднюю разницу в 4 мм при измерении максимального диаметра аорты на КТ-снимках. Поэтому для точной диагностики необходимо сравнивать идентичные изображения и проводить измерения лично [136, 137]. В этом контексте Седжи Гамечи и др. пришли к выводу, что ручное измерение аорты трудоемко и зависит от наблюдателя, поэтому автоматизированное сегментирование и анализ диаметра предпочтительны как в скрининге, так и в клинической практике. Автоматическая сегментация аорты на неконтрастных КТ сложна из-за отсутствия контраста между кровотоком и окружающими тканями, в отличие от КТА, где автоматические решения уже доступны [138]. Однако в рамках «Московского Эксперимента» (более подробно описание приведено в разделе 1.5.1) ТИИ способен проводить разметку сосуда на КТ без использования контрастного усиления [124].

Кроме того, в исследовании Катерины Б. Монти и др. была оценена эффективность коммерческого алгоритма ТИИ (AI-Rad Companion) на 250 КТ-снимках грудной клетки (без контрастного усиления) и КТА из различных клинических случаев. Результаты показали, что этот алгоритм может точно измерять диаметры грудной аорты, что сопоставимо с результатами, полученными врачами-экспертами. Анализ Блэнда – Альтмана выявил отклонение между измерениями алгоритма и врачами-экспертами в 1,5 мм. Хотя это небольшое расхождение, оно указывает на необходимость присутствия врача-рентгенолога для проверки и интерпретации данных, чтобы обеспечить максимальную точность и надежность медицинской диагностики [139].

Подтверждая предыдущие выводы, в другом исследовании с участием 240 человек было показано, что автоматизированные измерения диаметра грудной аорты с помощью ТИИ на низкодозовых неконтрастных КТ-снимках сопоставимы с результатами ручной оценки. Анализ Блэнда – Альтмана не выявил систематических ошибок, а среднее расхождение между измерениями, выполненными ТИИ и врачами экспертами, составило около 2 мм [140].

Эти данные получают дальнейшее подтверждение в исследовании Мориса Праделлы и соавторов, которые продемонстрировали, что использование программы DL-prototype (AIRad, Siemens Healthineers, Germany) с алгоритмами ИИ на выборке КТ грудной клетки с контрастированием и без него показало высокую точность в оценке диаметра грудной аорты. Согласно описаниям рентгенологов, AIRad правильно определил наличие или отсутствие дилатации грудной аорты в 17 691 случае (97 %), включая 452 случая с ранее пропущенной дилатацией, независимо от использования контраста. Это означает, что ИИ помог обнаружить пропущенные дилатации в 2,6 % случаев (452 из 17 691). Эти результаты подтверждают полезность ТИИ как вспомогательного средства для повышения качества и эффективности рентгенологических заключений [30].

Одно из исследований продемонстрировало использование алгоритма глубокого обучения (DL) на основе архитектуры 3D U-Net для автоматической сегментации легочных артерий на КТ-изображениях. Этот метод позволил не только создать трехмерные реконструкции, но и провести количественный анализ изменений структуры легочных артерий при хронической тромбоэмболической ЛГ и артериальной ЛГ. Алгоритм продемонстрировал высокую эффективность и может применяться для автоматизированной сегментации легочных артерий [141].

Дополнительно была выполнена сегментация сердца вместе с сосудами, что позволяет обеспечить комплексный подход к диагностике ССЗ.

Другое исследование продемонстрировало более широкое применение ТИИ для анализа сердца и крупных сосудов на КТ-изображениях с целью фенотипирования ЛГ. Было показано, что алгоритмы на основе архитектуры U-Net способны достигать коэффициента Дайса (DSC) около 0,9, что сопоставимо или даже превосходит качество ручной сегментации, выполненной опытными радиологами. Эти методы не только облегчают процесс разметки, но и предоставляют возможность автоматического выявления и оценки различных патологий, связанных с ЛГ. Кроме того, применение текстурного анализа и методов классификации способствует более точному прогнозированию течения заболевания [102].

1.5.1 Диагностика заболеваний грудной аорты и легочного ствола в рамках «Московского Эксперимента»

С 2020 г. Москва проводит самое масштабное в мире исследование – «Московский Эксперимент» по применению ТИИ для анализа медицинских изображений в рамках проекта внедрения инновационных методов компьютерного зрения в городскую систему здравоохранения [124–126, 142]. В рамках данного проекта проводится двухэтапное тестирование программного обеспечения, основанного на ТИИ (ИИ-сервисов), предназначенного для решения строго определенных диагностических задач. На первом, ретроспективном, этапе выполняется валидация ИИ-сервисов на эталонных наборах данных, что позволяет оценить их точность и воспроизводимость. Второй, основной и проспективный, этап направлен на исследование качества и стабильности работы алгоритмов в условиях реального клинического применения, включая их адаптацию к потоку диагностических исследований в практическом здравоохранении [124–126, 142]. В 2022 г. было выполнено свыше 647 тысяч КТ-исследований грудной клетки, а в 2023 г. — более 470 тысяч. Эти данные предоставляют возможности для оппортунистического скрининга патологических расширений грудной аорты и легочного ствола [112–116, 143]. В настоящее время отсутствует систематический и/или организованный скрининг аневризм и дилатаций грудной аорты [133]. Пример работы ТИИ в рамках работы «Московского Эксперимента» показан на рисунке 1.2.

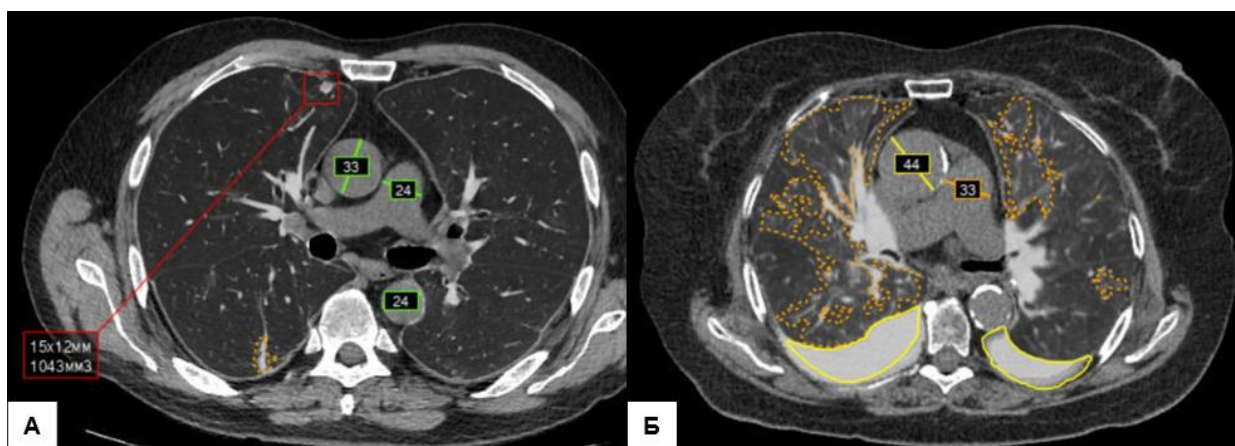


Рисунок 1.2 – Пример работы российского ИИ-сервиса: А – зелеными линиями обозначены нормальные значения диаметра восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также легочного ствола; Б – желтая линия указывает на дилатацию (расширение) восходящей аорты, а оранжевая линия – на патологическое расширение диаметра легочного ствола. Следует отметить, что измерения нисходящей аорты отсутствуют (на изображении Б), что указывает на некорректную работу ТИИ в данном конкретном случае. Также на обоих изображениях представлены дополнительные модули: оранжевым контуром выделено подозрение на уплотнение легочной ткани, что может свидетельствовать о пневмонии; желтым контуром обозначен гидроторакс; а в красном квадрате выделен легочный узел с указанием его размеров и объема

1.5.2 Влияние ТИИ на рабочую нагрузку и нехватку кадров

Современные исследования указывают на то, что технологический прогресс превратил КТ в основной диагностический метод при различных клинических ситуациях, особенно связанных с заболеваниями легких и сердечно-сосудистой системы человека. Однако рост числа исследований приводит к дефициту врачей-рентгенологов, что увеличивает их рабочую нагрузку и способствует эмоциональному выгоранию. В связи с этим рекомендуется интеграция ТИИ в процессы лучевой диагностики. Хотя внедрение ТИИ требует первоначального обучения, в дальнейшем они помогают сократить время на выполнение рутинных задач. Экономия до одного часа в день на интерпретацию исследований с помощью ТИИ позволит рентгенологам уделять больше внимания клинической работе, образовательным или административным обязанностям и научным исследованиям. В конечном счете использование ТИИ может снизить уровень

выгорания и уменьшить физическое и психологическое истощение специалистов [144–146].

Данная тенденция приобретает особую значимость в свете прогнозируемого глобального дефицита медицинского персонала. Предполагается, что к 2035 г. нехватка составит 12,9 млн специалистов, и уже сегодня страны, такие как Китай, Великобритания и США, испытывают недостаток рентгенологов для удовлетворения растущих потребностей в медицинской помощи. Это подчеркивает важность внедрения ТИИ для решения проблемы кадрового дефицита [147].

Проблема нехватки специалистов также отражена в отчете Future Health Index за 2024 г., основанном на опросе почти 3000 руководителей здравоохранения из 14 стран. В документе подчеркивается, что автоматизация и ТИИ могут устранить критические пробелы в оказании неотложной помощи, улучшая своевременность и качество медицинских услуг. Согласно данным, 92 % руководителей считают автоматизацию ключевым решением проблемы нехватки персонала, несмотря на определенный скептицизм среди специалистов. Около 43 % опрошенных уже внедрили ТИИ для мониторинга пациентов, а 85 % планируют инвестировать в генеративные ТИИ в ближайшие три года [148, 149]. Отчет также акцентирует внимание на том, что дефицит кадров вызывает серьезную озабоченность в сфере здравоохранения: 55 % руководителей отмечают увеличение вероятности ухода персонала, а 77 % сообщают о задержках в оказании помощи. Автоматизация рутинных задач и виртуальная помощь (телемедицинские технологии и дистанционное описание) рассматриваются как решения для смягчения кадрового дефицита. По мнению 32 % руководителей, виртуальная помощь помогает расширить специализированную помощь в недостаточно обслуживаемых регионах, особенно в странах с большими географическими расстояниями, таких как Китай, Индия и США [148, 149].

Эти выводы согласуются с исследованиями, посвященными нагрузке на рентгенологов. Так, в работе Andrew B. Rosenkrantz и соавторов показано, что рентгенологи испытывают самый значительный рост рабочей нагрузки по

сравнению с другими медицинскими специалистами. Анализ данных Medicare за период с 2013 по 2019 г. выявил, что относительная рабочая нагрузка рентгенологов увеличилась больше, чем у врачей неотложной помощи, патологоанатомов, терапевтов, хирургов и анестезиологов. В 2019 г. средняя рабочая нагрузка рентгенологов выросла на 14 % по сравнению с 2015 г., что является самым высоким показателем среди всех исследованных специальностей [150]. Этот рост нагрузки может усугубить проблему выгорания среди рентгенологов.

Проблема выгорания дополнительно подчеркивается в исследовании Nitya L. Thakore и коллег, где показано, что более трети рентгенологов во всем мире испытывают выгорание, уровень которого варьируется от 34 до 39 % по опроснику профессионального выгорания Маслач (MBI) и Индексу профессиональной самореализации Стэнфордского университета (PFI). Анализ 57 исследований с участием 11 405 рентгенологов выявил, что выгорание негативно сказывается на благополучии врачей, качестве медицинской помощи и результатах лечения. В США распространенность выгорания среди рентгенологов достигает 54 % [151], что дополнительно подчеркивает необходимость мер по снижению рабочей нагрузки и повышению эффективности рабочего процесса.

Одним из возможных решений является применение ТИИ, как показано в исследовании Basel Yacoub и соавторов. В этой работе продемонстрировано, что использование ТИИ сокращает среднее время интерпретации КТ ОГК на 22,1 %. Это позволяет экономить около одного часа в день при интерпретации 40 исследований. Сокращение времени наблюдалось при всех типах сканирования и связано с автоматизированными измерениями, выполняемыми ИИ, что освобождает рентгенологов от необходимости проводить эти измерения вручную. Радиология особенно подходит для применения ТИИ благодаря цифровой природе данных, что помогает приоритизировать описание срочных сканирований и автоматизировать диагностику, повышая эффективность рабочего процесса [152].

Неудивительно, что такие технологические достижения привлекают внимание на государственном уровне. Согласно распоряжению Правительства РФ от 17.04.2024 №959-р, подписанному М. Мишустиним, к 2030 г. в каждом регионе страны должно быть внедрено 12 медицинских изделий с ТИИ, при этом к концу 2024 г. их должно быть не менее трех в каждом регионе. Цель внедрения ТИИ — автоматизация процессов, оптимизация ресурсов и поддержка принятия решений в здравоохранении, а также анализ больших данных для улучшения диагностики и лечения. Основные вызовы включают недостаток качественных данных для машинного обучения, низкие темпы внедрения ТИИ и нехватку квалифицированных специалистов, что может ограничить возможности диагностики и персонализированной медицины, а также увеличить затраты на научные исследования [153].

Эти проблемы отражены в исследованиях, посвященных анализу недостатков и рисков применения ТИИ в рентгенологии. Например, Shima Behzad и соавторы отмечают, что, как и человек, ТИИ может ошибаться. Анатомические вариации и возрастные изменения могут привести к неправильным интерпретациям ТИИ, вызывая ложноположительные или ложноотрицательные результаты. Эффективность ТИИ сильно зависит от качества и разнообразия обучающих данных, а артефакты и шум в изображениях могут негативно влиять на точность анализа. Кроме того, применение ТИИ в медицине поднимает важные этические и правовые вопросы, такие как ответственность за ошибки и конфиденциальность данных пациентов. Эти аспекты подчеркивают необходимость осторожного подхода к интеграции ТИИ в радиологическую практику. На начальных этапах использования ИИ в диагностике необходимо контролировать результаты его работы специалистами. Это позволяет обеспечить точность и безопасность автоматизированной диагностики, минимизируя возможные ошибки и повышая уровень доверия к новым технологиям [154].

1.6 Биомаркеры КТ при оценке аорты и ствола легочной артерии

В 1989 г. был введен термин «биомаркер» (биологический маркер), обозначающий измеримый и количественно оцениваемый биологический параметр, который служит индикатором для оценки здоровья и физиологических функций. В 2001 г. Национальные институты здоровья (NIH), крупнейшее американское агентство медицинских исследований, стандартизировали это определение, описав биомаркер как характеристику, которая объективно измеряется и используется в качестве индикатора нормальных биологических процессов, патологических процессов или реакции на терапевтическое вмешательство. Методы визуализации сердца играют ключевую роль в обнаружении таких биомаркеров, связанных с риском, прогрессированием и ответом на лечение ССЗ. Биомаркеры необходимы для выявления лиц с высоким риском, постановки точного диагноза и эффективной терапии [155].

Примерами таких биомаркеров являются расширение восходящей аорты до размеров от 40 до 49 мм, что может предсказывать развитие аневризмы, и увеличение диаметра ствола легочной артерии свыше 29 мм, что может указывать на развитие ЛГ, потенциально ведущей к сердечной недостаточности. Эти показатели служат важными предикторами развития соответствующих заболеваний [112, 156]. Кроме того, применение ТИИ способствует снижению количества ошибок [102].

После валидации биомаркеры, основанные на визуализации, могут оценивать ответ на терапию и использоваться в качестве конечных точек в клинических исследованиях, способствуя повышению эффективности и поддерживая точный медицинский подход к лечению ССЗ, таких как ЛГ [102].

1.7 Заключение

Своевременное обнаружение аневризм грудной аорты и патологического расширения легочного ствола имеет решающее значение для предотвращения

серьезных осложнений. Аневризмы аорты увеличиваются со скоростью 0,1–0,3 см в год [157]. Когда диаметр грудной аорты превышает 6 см, риск опасных для жизни осложнений становится практически неизбежным [157]. При отсутствии своевременного лечения такие состояния могут привести к расслаиванию или разрыву аорты, что часто заканчивается смертельным исходом [3, 4]. ЛГ также представляет серьезную угрозу: без адекватной терапии она может прогрессировать до правожелудочковой недостаточности, сопровождающейся риском смерти от тромбоэмболии, аритмий или отека легких [6, 8]. Важно отметить, что дилатация грудной аорты и патологическое расширение легочного ствола являются ключевыми биомаркерами, указывающими на наличие этих патологий. Раннее обнаружение таких предикторов позволяет начать лечение на стадиях, когда оно наиболее эффективно, тем самым снижая заболеваемость и смертность [102, 112, 114, 115, 155, 156].

Использование ТИИ играет ключевую роль в этом процессе, значительно повышая точность диагностики и мониторинга. ТИИ обеспечивают высокую воспроизводимость измерений, что особенно важно при динамических исследованиях. Например, при измерении диаметра аорты или легочного ствола, где даже незначительные изменения могут повлиять на клинические решения, ТИИ снижают риск ошибок, связанных с человеческим фактором, и ускоряют обработку данных. Благодаря автоматическому анализу КТ-изображений, врачи могут более точно и эффективно отслеживать прогрессирование заболеваний, что имеет критическое значение для выбора оптимальной стратегии лечения [158, 159].

Оппортунистический скрининг с применением ТИИ имеет особое значение, позволяя выявлять скрытые патологии на ранних стадиях. Анализ КТ-данных, полученных по другим показаниям, помогает обнаруживать изменения в аорте или легочном стволе, которые могли бы остаться незамеченными при стандартной диагностике. Внедрение ТИИ не только повышает эффективность выявления заболеваний, но и снижает потребность в дополнительных

исследованиях, что помогает предотвратить серьезные осложнения и улучшить результаты лечения.

Автоматизация и применение ТИИ также играют важную роль в рентгенологической практике, особенно в условиях увеличивающейся нагрузки на врачей. Внедрение ТИИ может существенно снизить рабочую нагрузку рентгенологов, автоматизируя рутинные задачи и повышая общую эффективность диагностики. Это не только улучшает качество медицинской помощи, но и помогает предотвратить выгорание среди медицинских специалистов, способствуя более устойчивому и эффективному здравоохранению.

Современные методы диагностики аневризм грудной аорты и патологического расширения легочного ствола включают использование ТИИ. Ранняя диагностика этих заболеваний имеет критическое значение для предотвращения тяжелых осложнений и улучшения прогноза пациентов. КТ признана золотым стандартом в этой области, обеспечивая высокое пространственное разрешение и возможность трехмерной реконструкции, что делает ее незаменимой для точной оценки состояния сосудов и планирования хирургических вмешательств. Интеграция ТИИ в процесс диагностики, в сочетании с оппортунистическим скринингом, значительно повышает точность и эффективность анализа КТ-изображений, снижая нагрузку на врачей и уменьшая вероятность ошибок. Перспективы развития этих технологий и их интеграция в клиническую практику имеют потенциал значительно улучшить диагностику и снизить смертность от ССЗ. Однако некоторые эксперты рекомендуют, чтобы результаты работы ТИИ контролировались человеком.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика исследования

В рамках диссертационного исследования был проведен ретроспективный анализ в общем количестве 353 027 КТ ОГК (161 617 мужчин и 191 410 женщин), полученных из ЕРИС Единой медицинской информационно-аналитической системы города Москвы (ЕМИАС). Исследование выполнено в рамках «Московского Эксперимента» по внедрению ТИИ в здравоохранении (mosmed.ai) [124, 160, 161] и включало три основных направления:

1. **Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов:** анализ 86 КТ ОГК (62 мужчины и 24 женщины) с подозрением на аневризму грудного отдела аорты диаметром более 50 мм.

2. **Распространенность патологического расширения грудной аорты:** анализ 227 149 КТ ОГК (103 704 мужчины и 123 445 женщин) за период с октября 2022 г. по октябрь 2023 г. для оценки распространенности расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты в популяции г. Москвы.

3. **Распространенность патологического расширения легочного ствола:** анализ 125 878 КТ ОГК (57 913 мужчин и 67 965 женщин) за период с октября 2022 г. по февраль 2023 г. с целью выявления патологического расширения ствола легочной артерии.

Краткий дизайн исследований изображен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Краткий дизайн исследований

Критерии включения и исключения

Критерии включения:

- Пациенты старше 18 лет (мужчины и женщины), обследованные в амбулаторных и стационарных МО ДЗМ.
- Проведенные исследования: КТ ОГК без контрастного усиления с толщиной срезов ≤ 3 мм.
- Наличие КТ-изображений в формате DICOM и протокола врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС.

Критерии исключения:

- Пациенты младше 18 лет.
- Наличие металлоконструкций, формирующих артефакты в области ОГК (постоперационные скобы, пластины, кардиостимуляторы).
- Использование контрастного усиления и исследования с легочным кернелем.
- Отсутствие КТ-изображений в формате DICOM и/или протокола врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС.

Проведение КТ-исследований

КТ ОГК назначались врачами различных специальностей по разнообразным клиническим показаниям. Исследования выполнялись рентгенолаборантами в МО государственной системы здравоохранения г. Москвы, оказывающих медицинскую помощь как в амбулаторных условиях, так и в стационаре. Исследования проводились по стандартным протоколам без применения контрастного вещества, с толщиной срезов не более 3 мм и без кардиосинхронизации. Результаты исследований архивировались в ЕРИС ЕМИАС и затем, согласно процедурам «Московского Эксперимента», обрабатывались ТИИ [124, 160, 161].

2.2 Обработка данных с помощью технологий искусственного интеллекта

Для автоматического анализа изображений и выявления патологических изменений использовались отечественные сервисы на основе ТИИ.

А. Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов

Для автоматического измерения диаметра грудного отдела аорты применялся алгоритм ТИИ «Chest-IRA» (ООО «Интеллидгент радиолоджи ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)», Россия) (таблица 2.1). Алгоритм работал по базовым диагностическим требованиям, разработанным на основании рекомендаций Европейского общества кардиологов по диагностике и лечению заболеваний аорты, пример работы алгоритма ТИИ приведен на рисунке 2.2 [161].

Таблица 2.1 – Производительность ТИИ, заявленная производителем

Сервис ТИИ	ROC AUC	Точность	Чувствительность	Специфичность
Chest-IRA	0,99	0,95	0,94	0,96

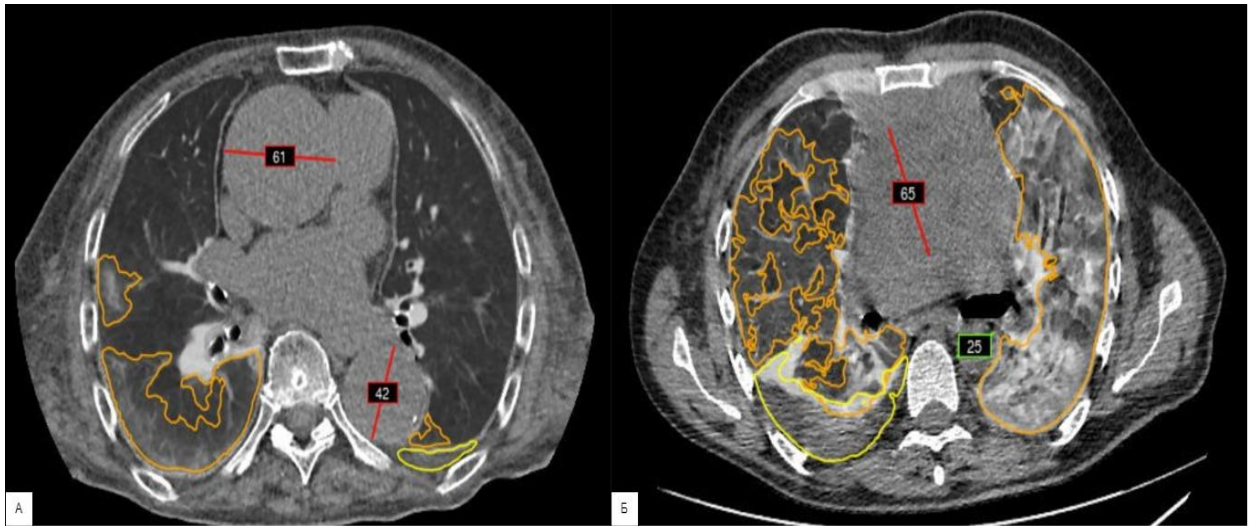


Рисунок 2.2 – Иллюстрация работы комплексного сервиса с ТИИ при анализе данных КТ грудной клетки:

А — ТИИ правильно выделил и обозначил (красной линией) возможное наличие аневризмы восходящего и нисходящего отделов грудной аорты;

Б — ложноположительный результат: образование средостения отмечено красной линией вместе с восходящим отделом грудной аорты, а диаметр нисходящего отдела указан в зеленой рамке. Этот комплексный сервис с ТИИ также имеет дополнительные модули для маркировки инфильтративных изменений легких (оранжевый контур) и плеврального выпота (желтый контур)

Б. Распространенность патологического расширения грудной аорты

Для автоматического измерения диаметров восходящего и нисходящего отделов грудной аорты использовались четыре отечественных ИИ-сервиса (таблица 2.2):

1. «Chest-IRA» (ООО «Интеллидгент радиолоджи ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)», Россия),
2. «CVL – Chest CT Complex» (ООО «СиВижинЛаб», Россия),
3. «Третье мнение – КТ ОГК комплекс» (ООО «Платформа Третье Мнение», Россия),
4. «Цельс – КС КТ ОГК» (ООО «Медицинские скрининг системы», Россия).

Пример работы алгоритма ИИ приведен на рисунке 2.3 [161].

Таблица 2.2 – Производительность ТИИ, заявленная производителем

Сервис ТИИ	ROC AUC	Точность	Чувствительность	Специфичность
Chest-IRA	0,99	0,95	0,94	0,96
CVL – Chest CT Complex	0,88	0,82	0,82	0,81
Третье мнение – КТ ОГК комплекс	0,92	0,85	0,87	0,86
Цельс – КС КТ ОГК	0,91	0,91	0,8	0,93

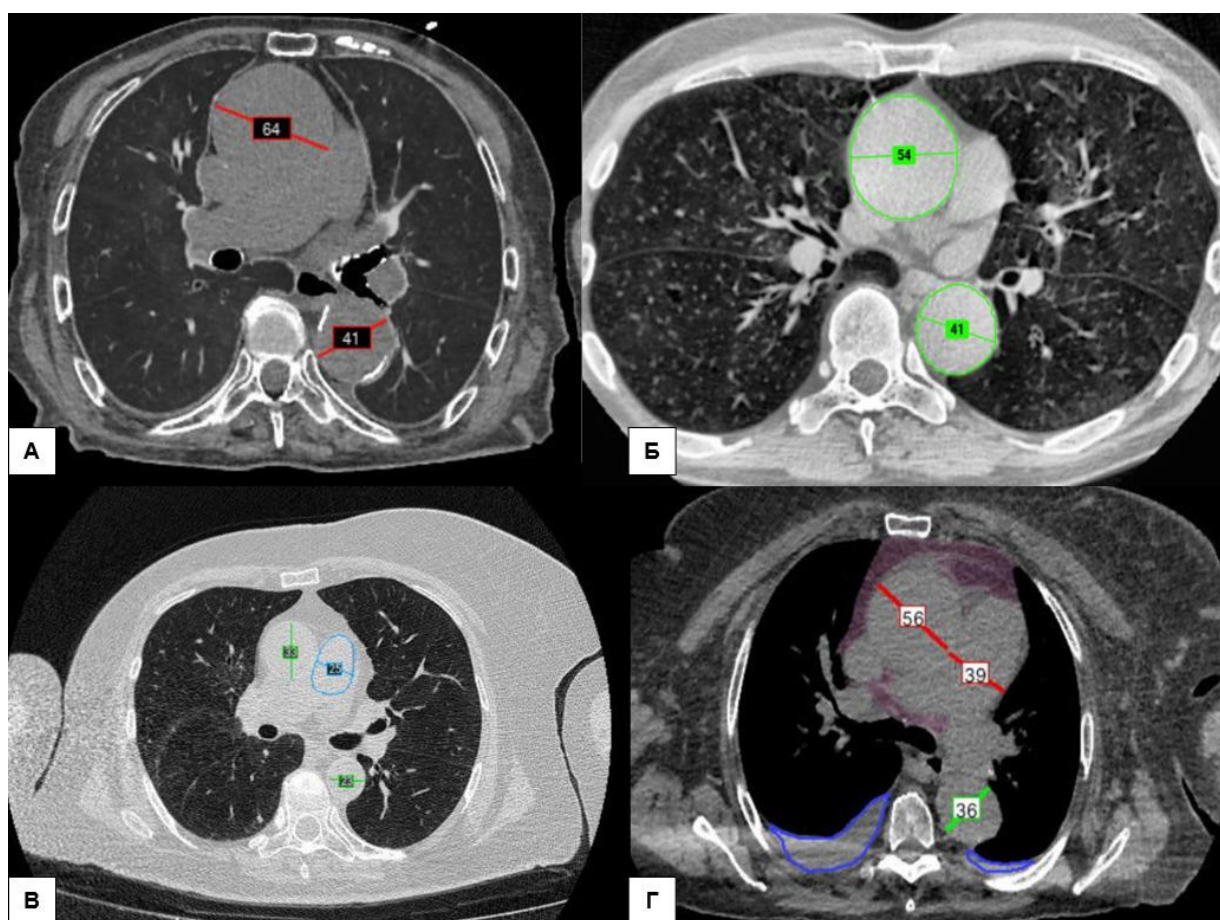


Рисунок 2.3 – Пример работы отечественных ИИ-сервисов, указанных в таблице 2.2, на КТ ОГК. Эти сервисы корректно выделили и отметили патологическое расширение восходящего и нисходящего отделов аорты: А — красная линия обозначает аневризму, Б — зеленая линия и контур указывают на аневризму, В — зеленая линия обозначает аорту без патологических расширений и включает дополнительный модуль голубого цвета, который измеряет диаметр легочного ствола, Г — красная линия показывает размер аневризмы восходящей аорты, зеленая линия — размер нисходящего отдела и с помощью дополнительного модуля — патологическое расширение легочного ствола (красная линия) и плеврального выпота (фиолетовый контур)

В. Распространенность патологического расширения легочного ствола

Для автоматического определения диаметра ствола легочной артерии применялись отечественные алгоритмы ТИИ, перечисленные в таблице 2.3:

- 1 «Chest-IRA» (ООО «Интеллидгент радиолоджи ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)», Россия),
- 2 «CVL – Chest CT Complex» (ООО «СиВижинЛаб», Россия),
- 3 «Третье мнение – КТ-Легочный ствол» (ООО «Платформа Третье Мнение», Россия).

Результаты их работы использовались для выявления патологического расширения ствола легочной артерии.

Пример работы алгоритма ТИИ приведен на рисунке 2.4 [161].

Таблица 2.3 – Производительность ТИИ, заявленная производителем

Название ИИ-сервиса	Площадь под ROC-кривой (AUC) (валидация постановщика сервиса)	Чувствительность	Специфичность
Chest-IRA	0,96	0,87	0,91
CVL – Chest CT Complex	0,88	0,82	0,81
Третье Мнение_ КТ – Легочный ствол	0,89	0,84	0,82

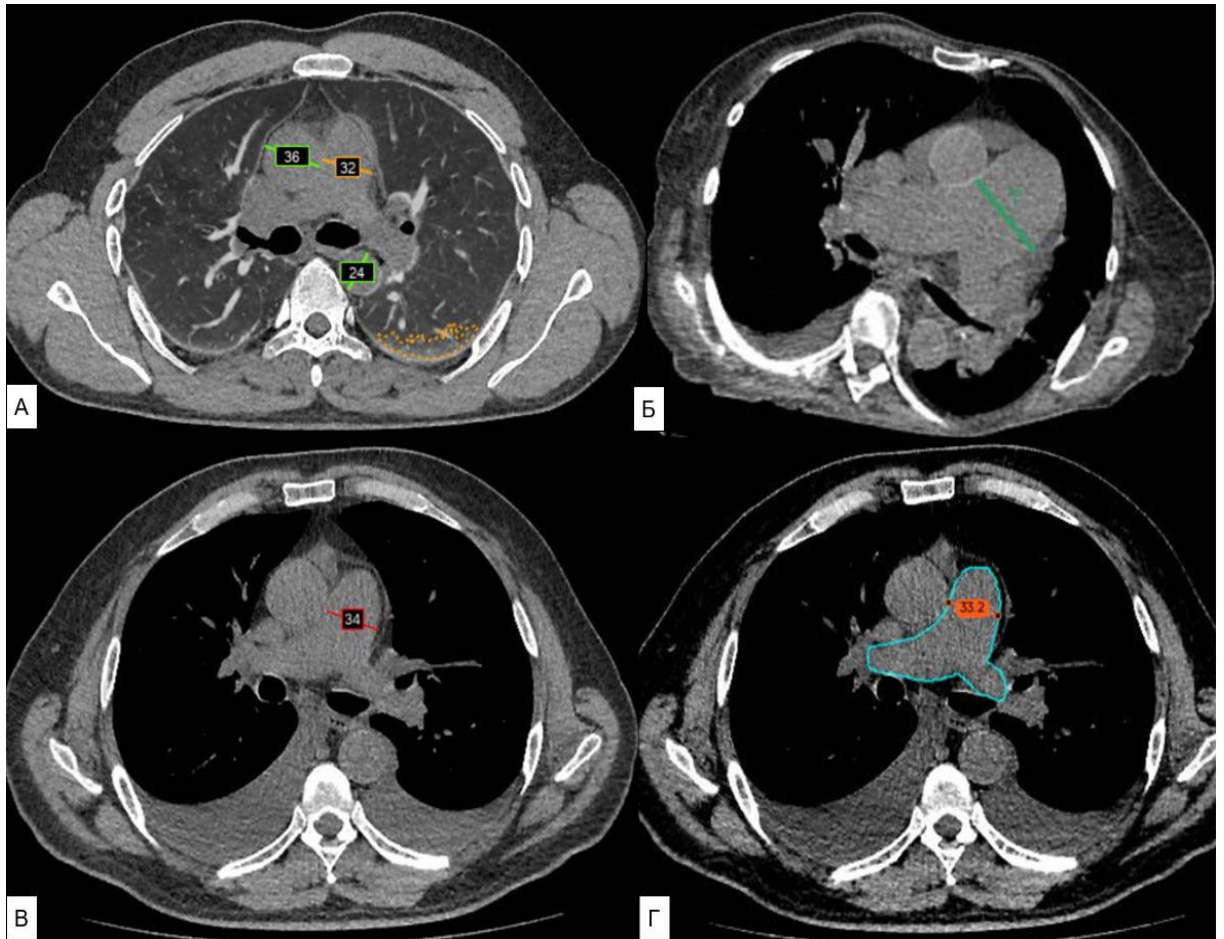


Рисунок 2.4 – Пример работы отечественных ИИ-сервисов, представленных в таблице 2.3, на КТ ОГК. ИИ корректно выделил и обозначил расширение легочного ствола: А — оранжевая линия, Б — зеленая линия, В — красная линия, Г — ярко-оранжевая линия с дополнительным бирюзовым контуром, который выделяет легочный ствол и правую и левую легочные артерии. Кроме того, модуль «А» также имеет дополнительные функции для маркировки инфильтративных изменений легких (оранжевый контур) и диаметра грудной аорты (зеленая линия)

Базовые диагностические требования

Диагностика патологических изменений проводилась в соответствии с базовыми диагностическими требованиями, основанными на рекомендациях Европейского общества кардиологов от 2014 и 2015 гг.:

Для аневризм грудного отдела аорты [124, 160]:

- Дилатация восходящей аорты: диаметр от 40 до 49 мм.
- Аневризма восходящей аорты: диаметр ≥ 50 мм.
- Аневризма нисходящей аорты: диаметр ≥ 40 мм.

Для расширения легочного ствола [124, 160]:

- Патологическое расширение ствола легочной артерии: диаметр ≥ 29 мм.

Анализ грудной аорты выполнялся только для восходящего и нисходящего отделов; дуга аорты не оценивалась ввиду отсутствия валидированной автоматической разметки этого отдела в применённых ИИ-сервисах

Верификация данных

Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов. Обнаруженные ТИИ случаи аневризм (диаметр более 50 мм) перепроверялись двумя рентгенологами с опытом более 5 лет. В случае расхождения привлекался третий эксперт для окончательного решения (с опытом работы более 10 лет). Все пациенты из выборки направлялись на уточняющую диагностику, где принимались решения о дальнейшем наблюдении или лечении у кардиолога или сосудистого хирурга.

Распространенность патологического расширения грудной аорты и легочного ствола. Данные, полученные с помощью ТИИ, дополнительно проверялись на предмет ошибок – ложноположительных и ложноотрицательных результатов.

Оценка диагностической точности ИИ-сервисов

Исследование представляет собой ретроспективное диагностическое исследование, выполненное в соответствии с методологическими рекомендациями STARD 2015.

Индекс-тест

В качестве исследуемого метода использовались программные продукты, основанные на технологиях искусственного интеллекта (ИИ-сервисы), интегрированные в ЕРИС ЕМИАС г. Москвы в рамках процедур «Московского Эксперимента».

В исследование включены ИИ-сервисы, предназначенные для автоматического выявления расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты на КТ:

- 1) «Chest-IRA» (ООО «Интеллидгент радиолоджи ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)», Россия),
- 2) «CVL – Chest CT Complex» (ООО «СиВижинЛаб», Россия),
- 3) «Третье мнение – КТ ОГК комплекс» (ООО «Платформа Третье Мнение», Россия),
- 4) «Цельс – КС КТ ОГК» (ООО «Медицинские скрининг системы», Россия).

Для автоматизированного выявления расширения легочного ствола на КТ использовались следующие ИИ-сервисы:

- 1) «Chest-IRA» (ООО «Интеллидгент радиолоджи ассистанс лабораторис (АЙРА Лабс)», Россия),
- 2) «CVL – Chest CT Complex» (ООО «СиВижинЛаб», Россия),
- 3) «Третье мнение – КТ-Легочный ствол» (ООО «Платформа Третье Мнение», Россия).

Референс-тест

Для оценки точности работы каждого ИИ-сервиса использовался эталонный набор данных ($n = 100$) [162] по каждому алгоритму отдельно для задач выявления расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также расширения легочного ствола.

Все данные были деперсонализированы в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Методология тестирования и мониторинга ИИ-сервисов

Для оценки работы ИИ-сервисов применялась оригинальная методология тестирования и мониторинга алгоритмов на различных этапах их жизненного цикла [163]. Эталонный набор данных направлялся на анализ в тестовый контур ЕРИС ЕМИАС, где результаты автоматизированного анализа сравнивались с эталонной разметкой. Все выявленные изменения классифицировались как: истинно положительные, истинно отрицательные, ложноположительные, ложноотрицательные результаты.

На основании полученных данных рассчитывались стандартные показатели диагностической точности: площадь под характеристической кривой (ROC AUC – area under receiver operating characteristic curve), чувствительность, специфичность, точность.

Оптимальный порог активации ИИ-сервисов определялся на основании индекса Юдена [164]. Интерпретация значений показателей диагностической точности проводилась согласно следующим критериям: менее 0,7 – неприемлемое качество, 0,7–0,8 – приемлемое качество, 0,81–0,9 – хорошее качество, более 0,9 – высокое качество [165].

Был также проведен анализ частоты ошибочных результатов ТИИ, на основании данных мониторингов, выполненных в рамках «Московского Эксперимента» по внедрению ИИ в лучевую диагностику. Для оценки частоты ошибок была сформирована репрезентативная случайная выборка, включавшая по 240 диагностических исследований грудной клетки для каждого из пяти участвовавших в «Московском Эксперименте» ИИ-сервисов, что составило суммарно 1680 исследований. Ошибкой считалось каждое исследование, в котором имел место ложноотрицательный результат – ситуация, когда ТИИ не выявили имеющиеся патологические изменения, подтвержденные экспертной оценкой врачей-рентгенологов.

Этическая экспертиза

Исследование основано на результатах «Московского Эксперимента» по применению ТИИ в анализе медицинских изображений [124, 160, 161], утвержденного этическим комитетом (выписка из протокола № 2 НЭК МРО РОРР от 20 февраля 2020 г.), а также зарегистрированного в международном реестре клинических исследований ClinicalTrials (NCT04489992). Для данного диссертационного исследования как ретроспективного решение этического комитета не требуется.

2.3 Статистический анализ

Для статистической обработки данных в исследовании применялись современные методы анализа, выполняемые в программных пакетах Stata14® и RStudio, с использованием языков программирования Python и R. Это обеспечивало гибкость и точность в оценке показателей, а также позволило создать визуализации и применить многоуровневые модели.

В рамках анализа данных сначала были рассчитаны основные описательные статистики для каждой переменной, включая среднее значение (M), медиану (Me), стандартное отклонение (SD), а также первый и третий квартиль (Q1, Q3). Эти показатели позволили охарактеризовать распределение значений и определить основные тенденции в выборке. Для выявления особенностей распределения переменных использовался тест Шапиро – Уилка, который позволяет оценить нормальность данных. При ненормальном распределении или значительном отклонении от нормальности применялись непараметрические тесты, что позволяет повысить точность анализа и минимизировать влияние выбросов на итоговые результаты.

Для анализа различий между группами использовался критерий χ^2 Пирсона, который позволяет оценить зависимость между категориальными переменными, такими как пол или наличие патологии. Этот критерий был особенно полезен для анализа структурных данных и оценки частоты аневризм в различных возрастных и половых группах. Для числовых данных, таких как диаметр аорты или легочного ствола, применялся критерий Манна – Уитни в случаях, когда данные не подчинялись нормальному распределению. Если же данные имели нормальное распределение, использовался дисперсионный анализ (ANOVA), который позволяет выявить значимые различия в средних значениях между несколькими группами.

Важной частью исследования стал корреляционный анализ, который включал оценку взаимосвязей между количественными показателями. Для этого использовались коэффициенты корреляции Пирсона для нормальных

распределений и Спирмена для данных с отклонениями от нормальности. Этот анализ позволил установить, существуют ли статистически значимые связи между размером аорты или легочного ствола и такими параметрами, как возраст пациента или наличие сопутствующих заболеваний.

Также был выполнен регрессионный анализ с использованием логистической регрессии для оценки факторов, влияющих на вероятность наличия патологии. В логистическую регрессию включались такие переменные, как возраст, пол и наличие расширения аорты или легочного ствола, что позволило создать предсказательные модели и оценить влияние этих факторов на вероятность выявления патологии. Модели были построены с использованием библиотеки Statsmodels и визуализированы с помощью Matplotlib и Seaborn в Python. Это обеспечивало наглядное представление результатов и возможность сравнения предсказательных способностей моделей.

В рамках исследования также были рассчитаны показатели распространенности заболевания, определяемые как отношение числа случаев за год к среднегодовой численности населения, умноженное на 100 000. Для этих расчетов использовалось среднее значение численности населения за 2022 г., равное 13 059 651, из которых 46 % составляли мужчины и 54 % — женщины. Источником данных являлись открытые данные Управления Федеральной службы государственной статистики по г. Москве и Московской области [166].

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов

В рамках данного исследования с использованием алгоритма ТИИ было обработано 86 КТ-исследований ОГК без контрастного усиления с целью выявления патологического расширения грудного отдела аорты. Применение алгоритма позволило автоматически выделить случаи, потенциально связанные с наличием аневризмы грудной аорты, что существенно повысило эффективность диагностического процесса.

Отобрано 86 исследований (62 мужчины и 24 женщины) с подозрением на наличие аневризмы грудной аорты по результатам работы ТИИ. Данные случаи были ретроспективно оценены врачами-рентгенологами и сосудистыми хирургами для подтверждения или опровержения предварительного диагноза.

Из первоначально отобранных 86 исследований 6 были исключены по причине отсутствия первичного протокола врача-рентгенолога в ЕРИС ЕМИАС. Дополнительно 5 исследований были признаны ложноположительными по результатам работы ТИИ, так как оценивалась нецелевая патология или орган (например, патологические изменения в соседних структурах, рисунок 3.1). Эти случаи также были исключены из дальнейшего анализа.

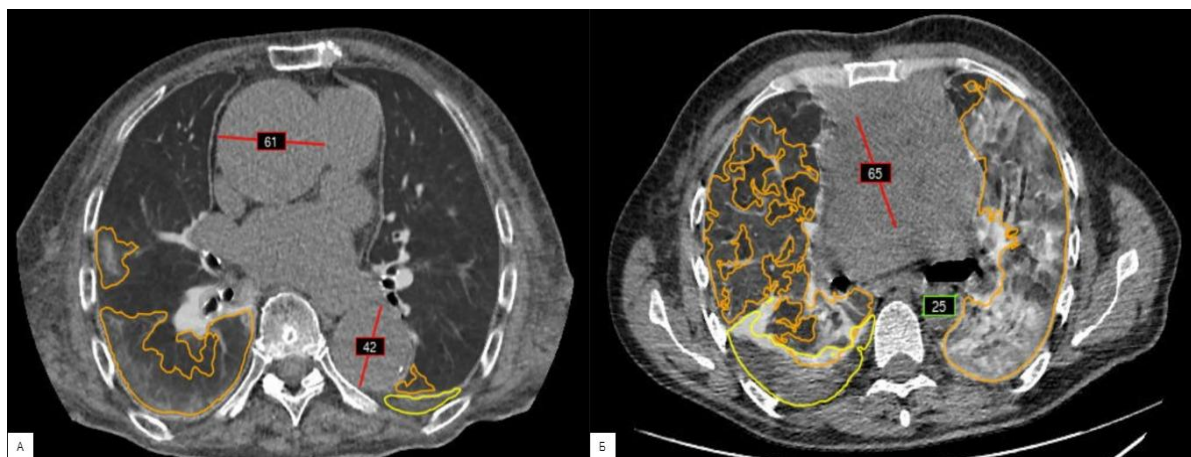


Рисунок 3.1 – Демонстрация работы комплексного сервиса с ТИИ при анализе данных КТ грудной клетки:

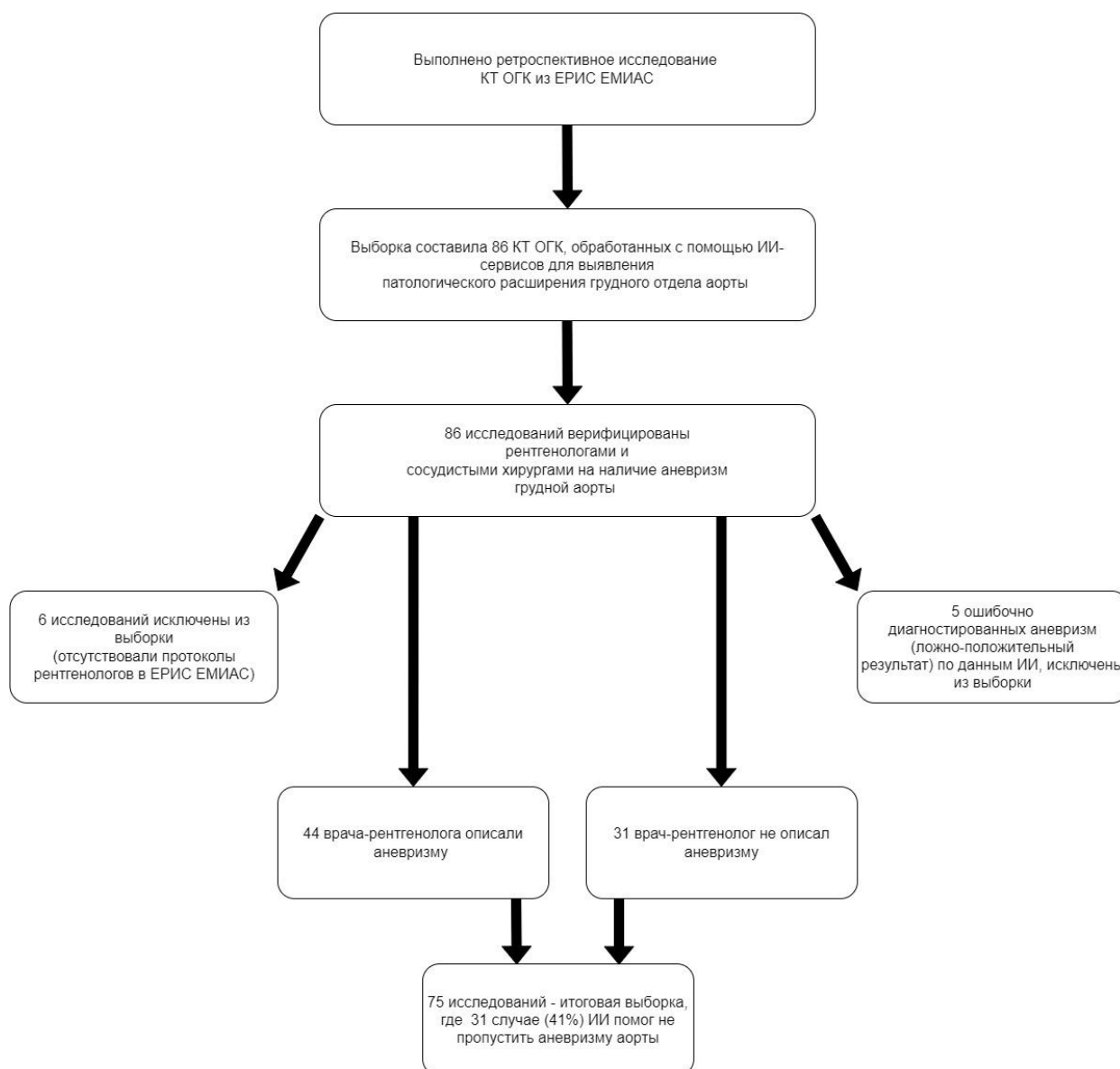
А – ТИИ правильно выделил и обозначил (красной линией) возможное наличие аневризмы восходящего и нисходящего отделов грудной аорты;

Б – ложноположительный результат: образование средостения отмечено красной линией вместе с восходящим отделом грудной аорты, а диаметр нисходящего отдела указан в зеленой рамке. Этот комплексный сервис с ТИИ также имеет дополнительные модули для маркировки инфильтративных изменений легких (оранжевый контур) и плеврального выпота (желтый контур)

Таким образом, итоговая выборка составила 75 исследований, включающих 57 мужчин в возрасте от 27 до 87 лет (медиана 66 лет [25-й процентиль = 59; 75-й процентиль = 73]) и 18 женщин в возрасте от 47 до 87 лет (медиана 62 года [25-й процентиль = 59; 75-й процентиль = 74]). При анализе первичных протоколов рентгенологических исследований было установлено, что аневризма грудного отдела аорты была описана в 44 случаях (59 %). В оставшихся 31 случае (41 %) аневризма не была отмечена в первичном протоколе, что свидетельствует о потенциальной диагностической ценности применения ТИИ для выявления ранее не описанных патологий.

Максимальный диаметр грудного отдела аорты среди мужчин составил в среднем 56 мм [25-й процентиль = 54; 75-й процентиль = 60], варьируя от 52 до 84 мм. У женщин этот показатель был несколько выше и составил в среднем 57 мм [25-й процентиль = 54; 75-й процентиль = 63], с диапазоном от 52 до 87 мм. Статистический анализ показал, что различия между группами мужчин и женщин по возрасту и максимальному диаметру аорты не являются достоверными ($p > 0,05$).

На рисунке 3.2 представлен краткий обзор хода исследования.



Рисунке 3.2 – Краткий обзор исследования, посвященного оценке эффективности работы ТИИ в процессе проверки протоколов врачей-рентгенологов

Пациенты, у которых с помощью ТИИ была выявлена аневризма аорты на КТ исследованиях ОГК, были проинформированы о результатах и направлены на дополнительные диагностические процедуры. Эти процедуры включали эхокардиографию, КТ или МРА, а также консультации кардиолога и/или сосудистого хирурга для определения оптимальной тактики ведения и лечения.

В ходе дополнительного обследования была получена следующая информация по 75 пациентам:

- 4 пациента (5,33 %) скончались до завершения диагностического процесса или проведения оперативного вмешательства. Это подчеркивает важность своевременной диагностики и быстрого принятия решений в отношении лечения аневризмы аорты.

- 3 пациента (4 %) приняли решение отказаться от дальнейшего диагностического обследования и лечения по личным причинам.

- 31 пациент (41,33 %) отказался от дальнейшего общения, что затруднило получение полной информации о их состоянии и последующем лечении.

Из 37 пациентов, которые остались под наблюдением и продолжили лечение:

- У 25 пациентов (33,33 %) диагноз аневризмы грудного отдела аорты был подтвержден после комплексного диагностического обследования. Эти пациенты продолжают находиться под наблюдением специалистов с целью мониторинга состояния и планирования возможного хирургического вмешательства.

- У 12 пациентов (16 %) дополнительная диагностика позволила уточнить диагноз. Эти пациенты продолжают лечение у кардиолога по скорректированному плану терапии.

У 3 пациентов наличие аневризмы не подтвердилось; вместо этого была диагностирована дилатация грудного отдела аорты, требующая динамического наблюдения и консервативного лечения.

Было выполнено 2 хирургических вмешательства по стентированию аорты из-за выявленной аневризмы, что свидетельствует об эффективности выявления патологии на ранних стадиях для успешного оперативного лечения.

Статистический анализ показал отсутствие достоверных различий между группами мужчин и женщин с выявленными аневризмами по возрасту и максимальному диаметру грудного отдела аорты ($p > 0,05$). Это указывает на то, что риск развития аневризмы грудного отдела аорты в исследуемой популяции не зависит от пола пациента.

Клинические случаи

Пример клинического случая 1 (пример несвоевременного выявления)

Пациент Х – 67 лет, мужчина был госпитализирован в городскую больницу ДЗМ в сентябре 2022 г. с подозрением на COVID-19.

При проведении нативной КТ ОГК с автоматической обработкой с помощью ТИИ была обнаружена аневризма восходящего отдела аорты размером 53 мм (рисунки 3.3 и 3.4). Через час пациент был направлен на КТ-панаортографию, где подтвердилось наличие аневризмы размером 57 мм с расслоением грудной аорты (тип II по DeBakey, Stanford A) (рисунок 3.5).

Пациент был экстренно направлен на хирургическое вмешательство, однако скончался на следующий день после операции (причины смерти неизвестны, дополнительная информация недоступна).

Этот случай подчеркивает критическую важность своевременной диагностики и оперативного лечения аневризм аорты, особенно при наличии осложнений, таких как расслоение. Несмотря на использование современных диагностических методов и технологий, включая ТИИ, исход для пациента оказался неблагоприятным.

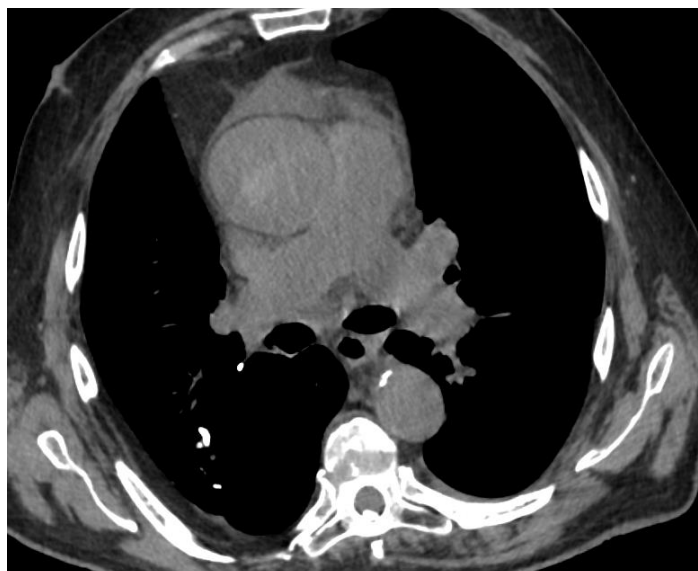


Рисунок 3.3 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), демонстрирующий аневризматическое расширение восходящей аорты (без результатов работы ТИИ). Видна четкая граница расширенного просвета диаметром около 53 мм

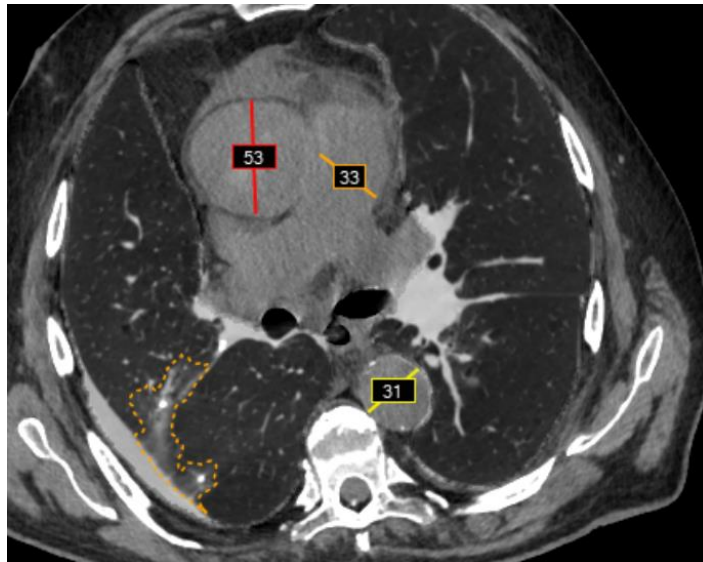


Рисунок 3.4 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), демонстрирующий аневризматическое расширение восходящей аорты (с результатом ТИИ). Благодаря выделению аневризмы ТИИ красной линией, границы и размеры поражения (около 53 мм) визуализируются более наглядно. У данного ИИ-сервиса имеются дополнительные модули: оранжевая линия, указывающая на подозрение расширение легочного ствола, желтая линия показывает диаметр нисходящей аорты, а контур оранжевого цвета (справа) указывает на подозрение уплотнения легочной ткани

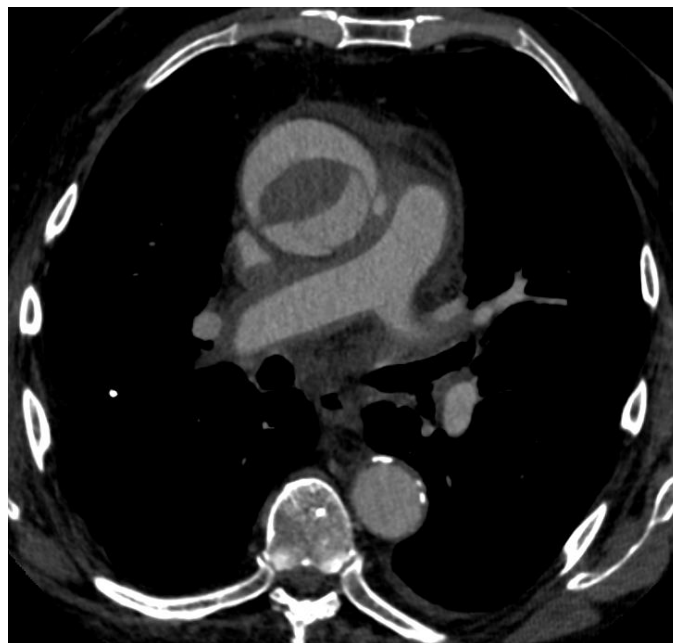


Рисунок 3.5 – КТ-панаортография (аксиальный срез) с внутривенным контрастированием. Определяется расслаивающая аневризма восходящего отдела аорты (тип II по DeBakey, Stanford A), указывающая на критическую патологию, требующую немедленного вмешательства

Пример клинического случая 2 с результатами лечения (своевременное выявление)

Пациент М – 29 лет, мужчина, 5 ноября 2022 г. пациент поступил в стационар ДЗМ с подозрением на COVID-19. Была проведена нативная КТ ОГК, где с помощью ТИИ была выявлена аневризма грудной аорты размером 58 мм (рисунки 3.6 и 3.7) Позже, 2 марта 2023 г. пациенту было проведено оперативное лечение «Аневризмэктомия» и клапансберегающее протезирование корня и восходящего отдела аорты с реимплантацией аортального клапана и коронарных артерий в синтетический протез Polythèse диаметром 32 мм по методике Девида, а также ушивание дефекта межпредсердной перегородки и протезирование правой коронарной артерии в условиях искусственного кровообращения и фармакохолодовой кардиopleгии (ФХКП).

Результаты оперативного лечения показаны на контрольном исследовании КТ ОГК с контрастированием от 29 января 2024 г. (рисунки 3.8 и 3.9).

В базе данных ЕРИС отсутствовали данные о проведении КТ с контрастированием до протезирования, и из имеющегося анамнеза неизвестно, проводилось ли оно ранее.

Этот клинический случай демонстрирует важность своевременного выявления аневризмы аорты с использованием современных диагностических методов, включая ТИИ. Раннее обнаружение патологии позволило провести плановое хирургическое вмешательство, что улучшило прогноз для пациента. Операция позволила сохранить и восстановить нормальную анатомию аорты, что способствует повышению качества жизни и снижению риска осложнений в будущем.



Рисунок 3.6 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), определяется расширение восходящей аорты примерно до 58 мм. Отсутствие автоматического анализа ТИИ требует ручной оценки размеров и контуров аневризмы

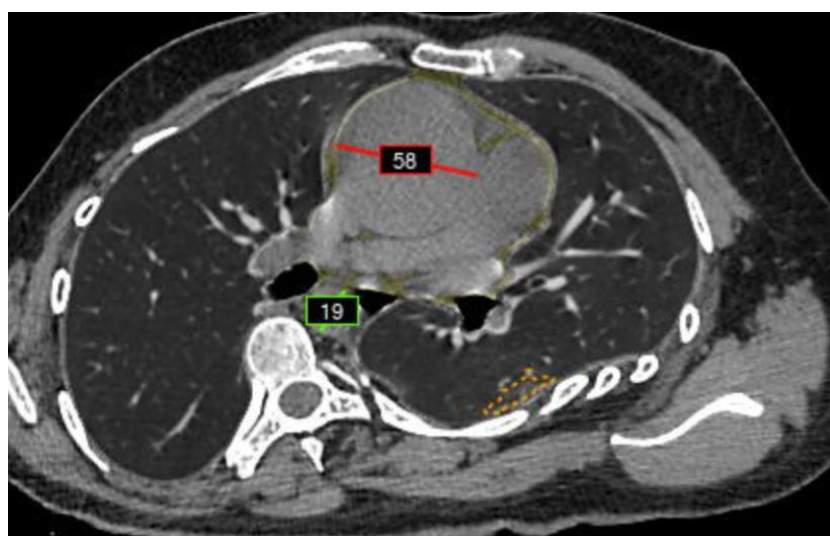


Рисунок 3.7 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), использование ТИИ: аневризма восходящей аорты (58 мм) выделена цветовой разметкой (красного цвета), что упрощает ее обнаружение и уточнение размеров.

У данного ИИ-сервиса имеются дополнительные модули: зеленая линия показывает диаметр нисходящей аорты и контур оранжевого цвета (слева) указывает на подозрение уплотнения легочной ткани



Рисунок 3.8 – Контрольное исследование КТ ОГК (до введения контрастного вещества) после оперативного лечения. Диаметр восходящей аорты 34 мм (до операции 58 мм), по контуру восходящей аорты определяются (высокоплотные включения) результаты протезирования

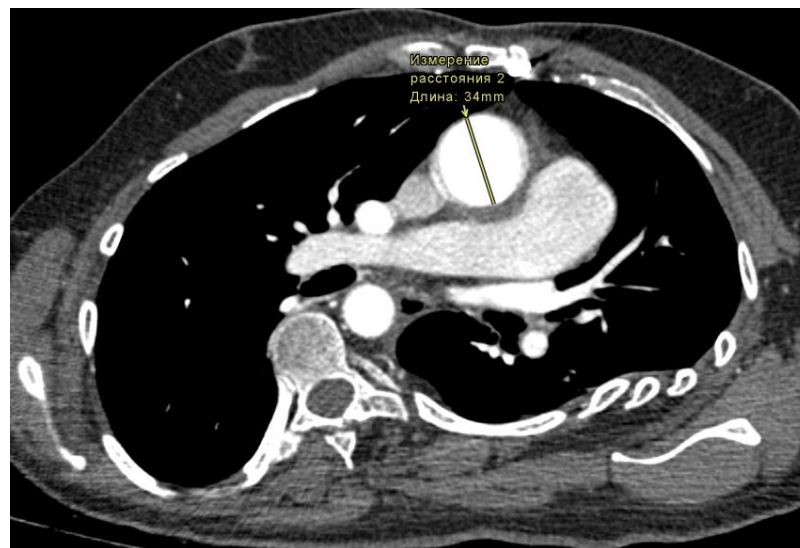


Рисунок 3.9 – Контрольное исследование КТ ОГК (после введения контрастного вещества) после оперативного лечения. Диаметр восходящей аорты 34 мм (до операции 58 мм)

Пример клинического случая 3 (своевременное выявление, наблюдение в динамике)

Пациент Н – 44 лет, мужчина, 7 ноября 2022 г. поступил в стационар ДЗМ с подозрением на COVID-19. При проведении нативной КТ ОГК с использованием ТИИ было выявлено подозрение на аневризму восходящего отдела аорты диаметром 56 мм (рисунки 3.10 и 3.11).

Для уточнения диагноза 15 марта 2023 г. пациенту провели КТ ОГК с контрастированием. Исследование подтвердило наличие аневризмы с максимальным диаметром 57 мм (рисунок 3.12).

3 апреля 2024 г. в рамках динамического наблюдения было выполнено повторное КТ ОГК с контрастированием. Результаты показали отрицательную динамику: диаметр аневризмы восходящего отдела грудной аорты увеличился до 60 мм (рисунок 3.13).

Данный случай подчеркивает важность своевременной диагностики и регулярного мониторинга аневризмы аорты. Использование ТИИ позволило рано выявить патологию и отслеживать ее прогрессирование. Увеличение размера аневризмы указывает на необходимость принятия решений о дальнейшем лечении, чтобы предотвратить возможные осложнения, такие как разрыв или расслоение аорты.

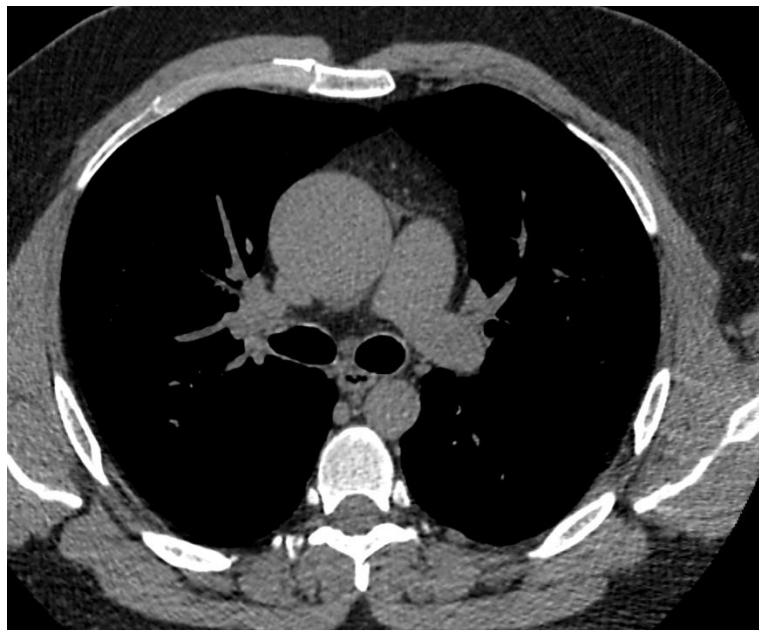


Рисунок 3.10 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), аневризма восходящей аорты диаметром около 56 мм (без результатов работы ТИИ)

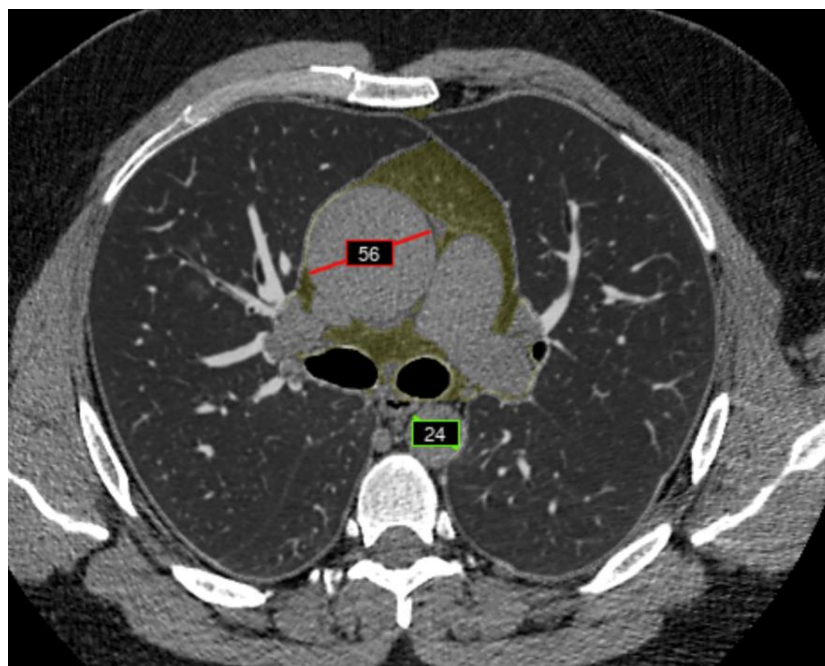


Рисунок 3.11 – КТ ОГК, аксиальный срез (без контрастного усиления), аневризма восходящей аорты (с результатом ТИИ), где ИИ наглядно выделяет аневризматический участок (красной линией), упрощая диагностику. Зеленая линия показывает диаметр нисходящей аорты

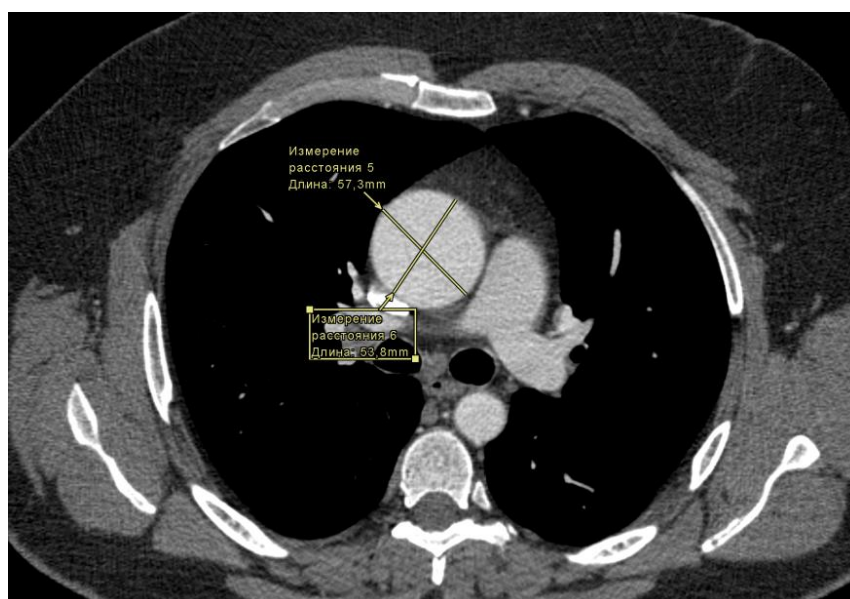


Рисунок 3.12 – КТ ОГК с контрастированием от 15.03.2023 г., подтверждающее диаметр аневризмы 57 мм (проведено для дообследования)

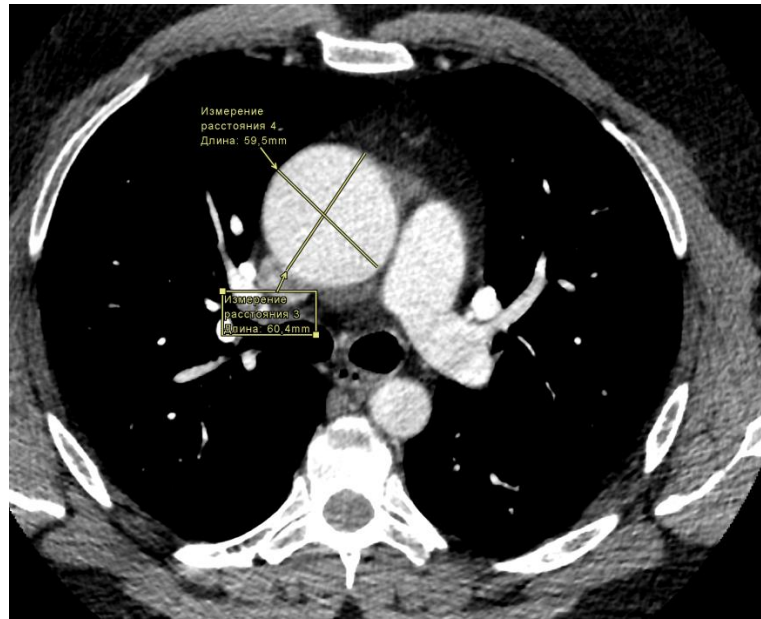


Рисунок 3.13 – КТ ОГК с контрастированием было проведено 03.04.2024 г. для наблюдения в динамике, где отмечается отрицательная динамика за счет увеличения диаметра аневризмы восходящего отдела грудной аорты до 60 мм

Резюме результатов

Применение алгоритмов ИИ позволило дополнительно выявить 31 случай (41 %) аневризмы грудного отдела аорты, которые не были описаны в первичных протоколах рентгенологических исследований.

Ранняя диагностика аневризмы аорты с использованием ТИИ способствует своевременному началу лечения и снижению риска летальных исходов.

Отсутствие достоверных различий по полу и возрасту в группах пациентов с аневризмой аорты указывает на необходимость скрининга данной патологии вне зависимости от этих факторов.

Внедрение ТИИ в клиническую практику повышает качество диагностики и оптимизирует маршрутизацию пациентов для дальнейшего обследования и лечения.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют высокую эффективность применения ТИИ в диагностике аневризмы грудного отдела аорты и подчеркивают необходимость интеграции подобных методов в повседневную медицинскую практику врачей-рентгенологов.

3.2 Распространенность патологического расширения грудной аорты

В данном разделе представлены результаты исследования, направленного на анализ частоты встречаемости патологических изменений диаметра грудной аорты среди населения г. Москвы. Исследование охватило период с октября 2022 г. по октябрь 2023 г. и включило в себя широкий спектр демографических групп.

Общая характеристика выборки

В исследование было включено 227 149 пациентов со средним возрастом $59,17 \pm 17,9$ лет (мода — 68 лет, медиана — 62 года).

Из них:

- мужчин: 103 704 (45,7 %),
- женщин: 123 445 (54,3 %).

Частота встречаемости дилатации и аневризмы грудной аорты

Из общего числа пациентов были выявлены следующие патологические изменения:

- Дилатация грудной аорты: у 30 134 пациентов (13,3 %), определяемая как диаметр восходящего отдела аорты ≥ 40 мм и < 50 мм.
- Аневризма грудной аорты: у 1613 пациентов (0,8 %), определяемая как диаметр восходящего отдела аорты ≥ 50 мм и/или диаметр нисходящего отдела аорты ≥ 40 мм.

Распространенность аневризмы грудной аорты среди населения Москвы составила 12,4 случая на 100 000 человек, с разбивкой по полу:

- мужчины: 19,4 случая на 100 000 человек,
- женщины: 6,3 случая на 100 000 человек.

Эти данные свидетельствуют о том, что мужчины несколько более подвержены данному виду патологии по сравнению с женщинами.

На рисунке 3.14 представлен краткий обзор хода исследования.

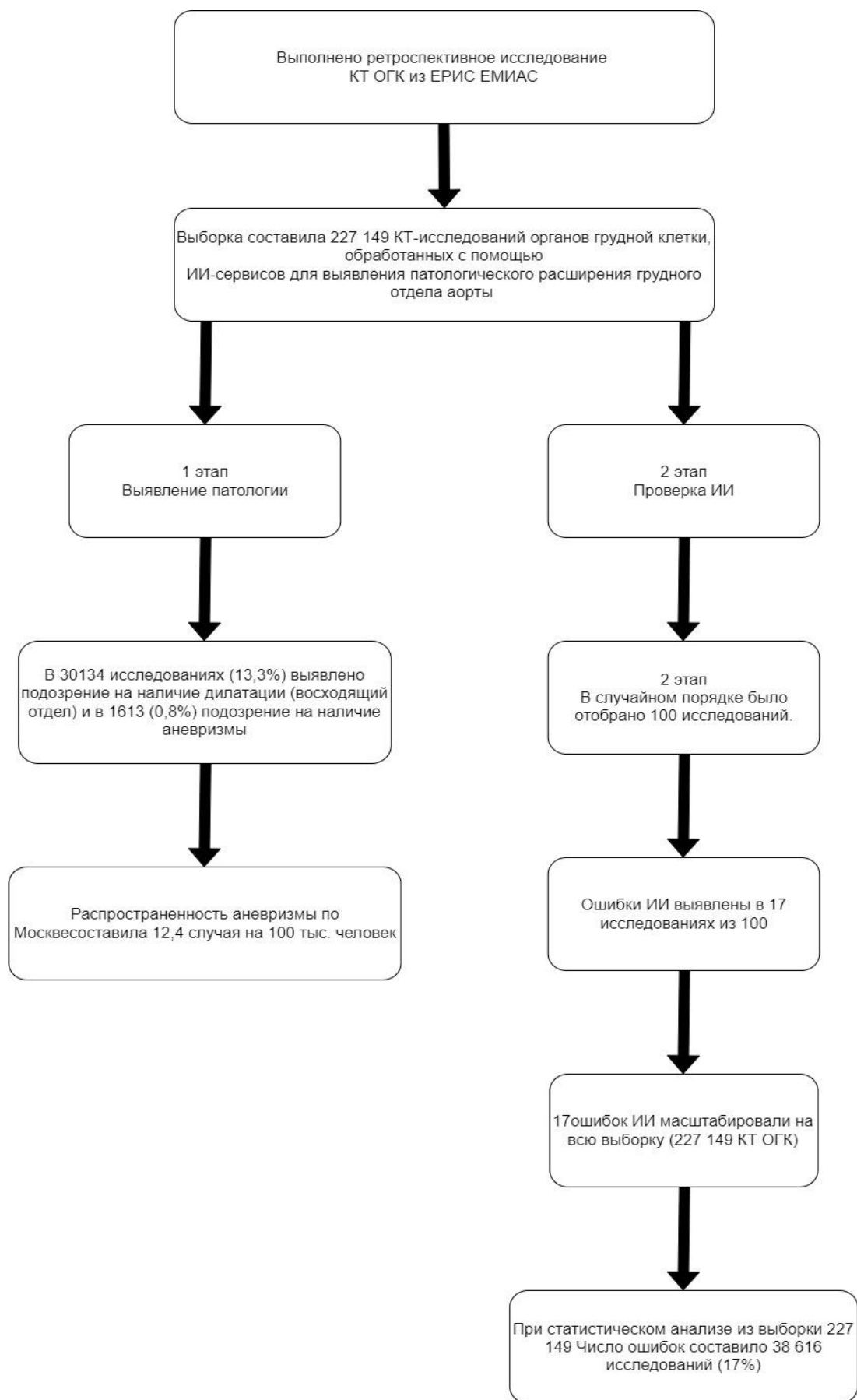


Рисунок 3.14 – Краткий обзор исследования, посвященного распространенности патологического расширения грудной аорты

В таблицах 3.1 и 3.2 представлена более подробная информация о распространенности патологических изменений диаметра грудной аорты — дилатации и аневризмы — в разных возрастных и половых группах.

Таблица 3.1 – Частота встречаемости дилатации восходящей аорты в различных возрастных группах

Возрастная группа, лет	Мужчины	Женщины	Суммарно	χ^2 ; p (по полу)
18-44	592/27803 (2,1 %)	137/25343 (0,5 %)	729/53146 (1,4 %)	247,3; <0,001
45-59	2916/25643 (11,4 %)	798/25596 (3,1 %)	3714/51239 (7,3 %)	1300; <0,001
60-74	9690/33784 (28,7 %)	4184/40967 (10,2 %)	13874/74751 (18,6 %)	4200; <0,001
75-89	5863/15329 (38,3 %)	4743/27966 (17,0 %)	10606/43295 (24,5 %)	2400; <0,001
90 и более	526/1145 (45,9 %)	685/3573 (19,2 %)	1211/4718 (25,7 %)	325,6; <0,001
Суммарно	19587/103704 (18,9 %)	10547/123445 (8,5 %)	30134/227149 (13,3 %)	5200; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	12000; <0,001	6200; <0,001	15000; <0,001	

Таблица 3.2 – Частота встречаемости аневризмы восходящей аорты и/или нисходящей аорты в различных возрастных группах

Возрастная группа, лет	Мужчины		Женщины		Суммарно		χ^2 ; p (по полу)
	один отдел	оба отдела	один отдел	оба отдела	один отдел	оба отдела	
18-44	57/27803 (0,2 %)	0/27803 (0,0 %)	17/25343 (0,1 %)	0/25343 (0,0 %)	74/53146 (0,1 %)	0/53146 (0,0 %)	8,1; 0,046
45-59	125/25643 (0,5 %)	3/25643 (<0,1 %)	25/25596 (0,1 %)	0/25596 (0,0 %)	150/51239 (0,3 %)	3/51239 (<0,1 %)	9,7; <0,001
60-74	493/33784 (1,5 %)	30/33784 (0,1 %)	125/40967 (0,3 %)	13/40967 (<0,1 %)	618/74751 (0,8 %)	43/74751 (0,1 %)	11,5; <0,001
75-89	382/15329 (2,5 %)	37/15329 (0,2 %)	206/27966 (0,7 %)	19/27966 (0,1 %)	588/43295 (1,4 %)	56/43295 (0,1 %)	51,4; <0,001
90 и более	38/1145 (3,3 %)	1/1145 (0,1 %)	38/3573 (1,1 %)	4/3573 (0,1 %)	76/4718 (1,6 %)	5/4718 (0,1 %)	7,9; <0,001
Суммарно	1095/103704 (1,1 %)	71/103704 (0,1 %)	411/123445 (0,3 %)	36/123445 (<0,1 %)	1506/227149 (0,7 %)	107/227149 (0,1%)	66,1; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	784,9; <0,001		330,4; <0,001		852,4; <0,001		

На основании данных, приведенных в таблицах 3.1 и 3.2, можно сделать следующие выводы:

Половые различия: у мужчин расширение грудной аорты статистически значимо выявлялось чаще (18,9 % имеют дилатацию, 1,2 % — аневризму грудной аорты), причем наблюдается линейный характер увеличения с возрастом удельного веса лиц с патологией.

Возрастные тенденции: для женской популяции сохраняется такая же тенденция, при этом рост частоты встречаемости этого заболевания от средней возрастной группы к группе долгожителей у женщин более ярко выражен, чем у мужчин (от 0,1 до 1,2 % — у женщин, от 0,5 до 3,4 % — у мужчин).

Статистическая значимость: в молодом возрасте (18–44 лет) наблюдается лишь тенденция к различиям частоты встречаемости аневризмы в зависимости от пола (p -значение = 0,046). Возраст и встречаемость патологии грудной аорты статистически значимым образом взаимосвязаны как у женщин ($p < 0,001$), так и у мужчин ($p < 0,001$).

Аневризмы в обоих отделах: доля случаев аневризм в обоих отделах грудной аорты составляет 6,6 % от всех исследований с аневризмами.

Логистическая регрессия

Для выявления параметров, влияющих на риск наличия аневризмы грудной аорты, использовалась логистическая регрессия (таблица 3.3). Установлено следующее:

– Пол: отношение шансов выявления наличия аневризмы у мужчин по сравнению с женщинами того же возраста составляет 1,81 (95 % доверительный интервал (ДИ): 1,19–2,44; значение z -критерия 5,7; $p < 0,001$).

– Возраст: увеличение возраста на 5 лет в 1,347 раза увеличивает вероятность наличия данного фактора риска (95 % ДИ: 1,339–1,354; значение z -критерия 16,4; $p < 0,001$).

Таблица 3.3 – Параметры логистической регрессии наличия патологии аневризмы аорты

Фактор	OR	z	p	95 % ДИ для OR
Пол (Жен. = реф.)	1,8141	5,711	<0,001	1,191; 2,437
Возраст, 5 лет	0,297	16,348	<0,001	0,262; 0,333
Пол * возраст (доп. риск для мужчин на каждые 5 лет)	-0,0274	-1,303	0,193	-0,069; 0,014
Intercept	-9,7412	-34,808	<0,001	-10,290; -9,193

Анализ аневризм в различных отделах аорты

Ниже мы более детально рассмотрим случаи, связанные с предполагаемой аневризмой грудной аорты. В частности, мы представим статистические данные о частоте возникновения аневризм в восходящем и нисходящем отделах аорты, которые представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Частота встречаемости аневризмы восходящей аорты в различных возрастных группах

Возрастная группа, лет	Мужчины	Женщины	Суммарно	χ^2 ; p (по полу)
18-44	44/27803 (0,2 %)	13/25343 (0,1 %)	57/53146 (0,1 %)	14,2; <0,001
45-59	69/25643 (0,3 %)	14/25596 (0,1 %)	83/51239 (0,2 %)	36,4; <0,001
60-74	248/33784 (0,7 %)	88/40967 (0,2 %)	336/74751 (0,5 %)	111,6; <0,001
75-89	181/15329 (1,2 %)	146/27966 (0,5 %)	327/43295 (0,8 %)	57,3; <0,001
90 и более	11/1145 (1,0 %)	22/3573 (0,6 %)	33/4718 (0,7 %)	1,5; 0,223
Суммарно	553/103704 (0,5 %)	283/123445 (0,23 %)	836/227149 (0,4 %)	142,0; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	258,3; <0,001	197,7; <0,001	362,6; <0,001	

Таблица 3.5 – Частота встречаемости аневризмы нисходящей аорты в различных возрастных группах

Возрастная группа, лет	Мужчины	Женщины	Суммарно	χ^2 ; p (по полу)
18-44	13/27803 (0,1 %)	4/25343 (<0,1 %)	17/53146 (<0,1 %)	4,0; 0,046
45-59	62/25643 (0,2 %)	11/25596 (<0,1 %)	73/51239 (0,1 %)	35,6; <0,001
60-74	305/33784 (0,9 %)	63/40967 (0,2 %)	368/74751 (0,5 %)	212,0; <0,001
75-89	275/15329 (1,8 %)	98/27966 (0,4 %)	373/43295 (0,9 %)	241,6; <0,001
90 и более	29/1145 (2,5 %)	24/3573 (0,7 %)	53/4718 (1,1 %)	27,0; <0,001
Суммарно	684/103704 (0,7 %)	200/123445 (0,16 %)	884/227149 (0,4 %)	359,9; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	620,6; <0,001	174,9; <0,001	590,7; <0,001	

Характеристики аневризм

Данные в таблицах 3.4 и 3.5 демонстрируют:

Половые различия. У мужчин удельный вес лиц с аневризмой нисходящего отдела аорты больше, чем с аневризмой восходящего отдела (0,7 и 0,5 % соответственно). У женщин данная тенденция отсутствовала: преобладали лица с аневризмой восходящего отдела (0,23 против 0,16 %).

Возрастные тенденции. Для каждого отдела характерно увеличение частоты встречаемости патологии с возрастом ($p < 0,001$).

Молодая возрастная группа. Наблюдается уменьшение статистической значимости зависимости частоты встречаемости аневризмы у молодой возрастной группы от пола в случае аневризмы в нисходящем отделе ($p = 0,046$), что может быть связано с низкой частотой встречаемости данного типа аневризм среди молодой возрастной группы (< 0,1 %).

В таблице 3.6 представлены результаты измерений диаметра грудной аорты в восходящем и нисходящем отделах.

Таблица 3.6 – Описательная статистика наибольшего диаметра восходящего и нисходящего отделов аорты

	Параметр	Возрастная группа, лет											
		18-44		45-59		60-74		75-89		90 и более		Суммарно	
Оба пола	отдел аорты	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.
	Mean	30,0	22,8	33,8	26,2	36,2	28,8	37,2	29,9	37,4	30,1	34,4	27,0
	SD	3,8	3,0	3,9	3,2	4,2	3,4	4,2	3,3	4,1	3,3	4,8	4,2
	95 % ДИ	(30,0; 30,1)	(22,7; 22,8)	(33,8; 33,8)	(26,2; 26,3)	(36,2; 36,2)	(28,7; 28,8)	(37,1; 37,2)	(29,8; 29,9)	(37,3; 37,5)	(30,0; 30,2)	(34,4; 34,5)	(27,0; 27,1)
	Min	13	13	13	15	13	15	13	15	14	15	13	13
	Max	96	78	98	78	76	87	79	90	75	66	98	90
	Med	30	23	33	26	36	28	37	30	37	30	34	27
	Q1	27	21	31	24	33	26	34	28	35	28	31	24
	Q3	32	25	36	28	39	31	40	32	40	32	37	30
	Отдел аорты	Восходящий отдел						Нисходящий отдел					
	F(ANOVA)	25359,3						38727,0					
	P	<0,0001						<0,0001					
Мужчины	Mean	31,3	23,9	35,1	27,6	37,8	30,5	38,9	31,9	39,4	32,4	35,6	28,2
	SD	3,8	2,9	3,8	3,1	4,1	3,3	4,1	3,3	4,0	3,2	4,9	4,3
	95 % ДИ	(31,3; 31,4)	(23,8; 23,9)	(35,1; 35,2)	(27,6; 27,7)	(37,7; 37,8)	(30,4; 30,5)	(38,8; 38,9)	(31,8; 31,9)	(39,2; 39,7)	(32,3; 32,6)	(35,5; 35,6)	(28,2; 28,2)
	Min	14	13	13	17	13	17	13	19	14	25	13	13
	Max	96	78	88	66	76	87	75	90	56	53	96	90
	Med	31	24	35	27	37	30	39	32	39	32	35	28
	Q1	29	22	33	26	35	28	36	30	37	30	32	25
	Q3	33	26	37	29	40	32	41	34	42	34	39	31
	Отдел аорты	Восходящий						Нисходящий					
	F(ANOVA)	13996,1						23625,2					
	P	<0,0001						<0,0001					

Продолжение таблицы 3.6

Женщины	Параметр	Возрастная группа, лет											
		18-44		45-59		60-74		75-89		90 и более		Суммарно	
	Mean	8,7	1,6	2,5	4,9	4,9	7,4	6,3	8,8	6,8	9,4	3,5	6,0
	SD	3,4	2,6	3,5	2,6	3,8	2,7	4,0	2,8	3,9	3,0	4,6	3,8
	95 % ДИ	(28,6;28,7)	(21,5;21,6)	(32,4;32,5)	(24,8; 24,9)	(34,9;35,0)	(27,3;27,4)	(36,2;36,3)	(28,7;28,8)	(36,7; 36,9)	(29,3;29,5)	(33,5;33,5)	(26,0;26,1)
	Min	3	3	4	5	3	5	3	5	0	5	3	3
	Max	8	5	8	8	6	2	9	7	5	6	8	8
	Med	8	1	2	5	5	7	6	9	6	9	3	6
	Q1	6	0	0	3	2	6	4	7	4	8	0	4
	Q3	1	3	5	6	7	9	8	0	9	1	6	9
	Отдел аорты	Восходящий						Нисходящий					
	F(ANOVA)	17364,0						29657,1					
	P	<0,0001						<0,0001					
t; p (между полами)		-100; <0,0001						-130; <0,0001					

Различия между полами и возрастными группами

Статистические данные, представленные в таблице 3.6, подтверждают, что динамика увеличения диаметров восходящего и нисходящего отделов грудной аорты с возрастом сохраняется как для мужского, так и для женского пола.

Мужчины vs женщины: во всех возрастных группах мужчины имеют больший средний диаметр в каждом из отделов аорты по сравнению с женщинами.

Статистическая значимость: Статистически значимые различия в наибольшем диаметре отделов грудной аорты выявлены среди разных возрастных групп как у мужчин, так и у женщин ($p < 0,0001$).

Особенности у женщин: эти различия проявляются особенно выражено в женской популяции, где F-критерий для восходящего отдела составляет 17 364,0, а для нисходящего — 29 657,1.

Проверка нулевой гипотезы

Для каждого из отделов аорты была осуществлена проверка нулевой гипотезы о том, что средние значения во всех возрастных группах идентичны. Нулевая гипотеза была отвергнута, как для всей выборки, так и отдельно для мужской и женской популяций, что подтверждает наличие статистически значимых различий между возрастными группами.

Вся выборка:

Восходящий отдел: F-критерий = 25 359,3; $p < 0,0001$.

Нисходящий отдел: F-критерий = 38 727,0; $p < 0,0001$.

Мужчины:

Восходящий отдел: F-критерий = 13 996,1; $p < 0,0001$.

Нисходящий отдел: F-критерий = 23 625,2; $p < 0,0001$.

Женщины:

Восходящий отдел: F-критерий = 17 364,0; $p < 0,0001$.

Нисходящий отдел: F-критерий = 29 657,1; $p < 0,0001$.

На рисунке 3.15 представлен график, который демонстрирует средние размеры восходящего и нисходящего отделов грудной аорты в зависимости от возраста пациента.

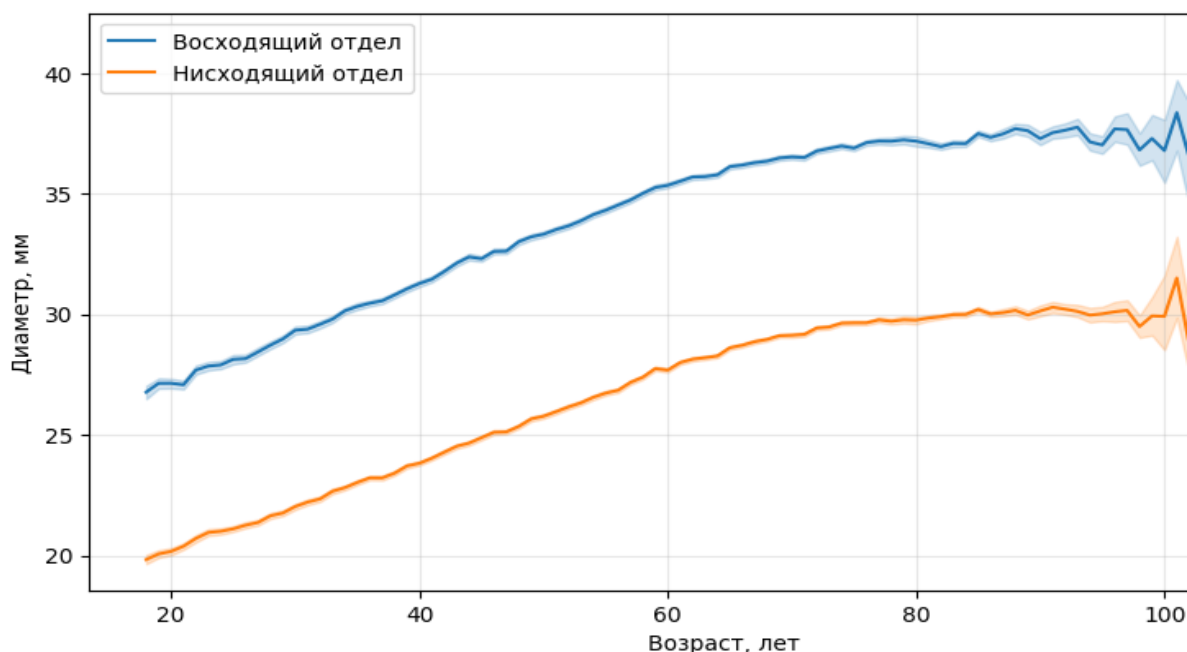


Рисунок 3.15 – График средних размеров диаметра грудной аорты в зависимости от возраста. Прозрачная область на графике обозначает 95 % ДИ

Исходя из данных, представленных на рисунке 3.15, можно заключить, что средний диаметр каждого отдела грудной аорты линейно увеличивается с возрастом, достигая плато после 80 лет. Со старческой возрастной группы отмечается замедление темпов роста диаметров как восходящего, так и нисходящего отделов. Резкое снижение диаметра аорты и увеличение ДИ у лиц старше 100 лет объясняется ограниченным числом пациентов в этой группе.

Попарное сравнение диаметров грудной аорты

Таблица 3.7 – Результаты post-hoc анализа попарного сравнения максимального диаметра восходящего и нисходящего отделов аорты между возрастными категориями с использованием поправки метода Тьюки (все участники исследования)

Сравнение по возрастным группам (лет)	Среднее значение		95 % ДИ		t		P	
	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.	восх.	нисх.
Отдел аорты								
45-59 vs 18-44	3,8	3,5	3,7; 3,8	3,4; 3,5	150,5	174,0	<0,001	<0,001
60-74 vs 18-44	6,2	6,0	6,1; 6,2	5,9; 6,0	269,4	327,1	<0,001	<0,001
75-89 vs 18-44	7,1	7,1	7,1; 7,2	7,0; 7,2	273,4	339,7	<0,001	<0,001
90 и более vs 18-44	7,4	7,4	7,2; 7,5	7,2; 7,5	120,6	150,1	<0,001	<0,001
60-74 vs 45-59	2,4	2,5	2,3; 2,5	2,5; 2,6	104,1	135,7	<0,001	<0,001
75-89 vs 45-59	3,4	3,6	3,3; 3,4	3,6; 3,7	128,4	171,8	<0,001	<0,001
90 и более vs 45-59	3,6	3,9	3,5; 3,8	3,7; 4,0	59,1	79,0	<0,001	<0,001
75-89 vs 60-74	1,0	1,1	0,9; 1,0	1,1; 1,2	40,0	56,8	<0,001	<0,001
90 и более vs 60-74	1,2	1,4	1,1; 1,4	1,2; 1,5	20,2	28,2	<0,001	<0,001
90 и более vs 75-89	0,2	0,3	0,1; 0,4	0,1; 0,4	4,0	5,2	0,001	0,001

Было проведено попарное сравнение диаметров грудной аорты для всех возрастных групп (таблица 3.7), где были получены следующие результаты. Во всех возрастных группах выявлены статистически значимые различия ($p \leq 0,001$). Наибольшее отличие (7,4 мм) наблюдается между самой младшей и самой старшей возрастными группами. Это подтверждается исследованием Аронберга и др., где диаметр аорты увеличивается в среднем на 1 мм каждое десятилетие в течение жизни у взрослых [167].

Чтобы более детально проанализировать возрастные изменения диаметра грудной аорты среди жителей г. Москвы, мы построили динамические ряды для каждого отдела аорты. Результаты представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Динамический ряд, отражающий изменения наибольшего диаметра восходящего (В) и нисходящего (Н) отделов грудной аорты

Возраст, лет	Уровень, (мм)		Базисный абсолютный прирост, (мм)		Скорость роста, (мм)		Коэффициент роста				Темп роста, %		Темп прироста, %			
							базисный		цепной				базисный		цепной	
отдел	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
18-44	30,0	22,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45-59	33,8	26,2	3,8	3,4	3,8	3,4	1,13	1,15	1,13	1,15	112,7	114,9	12,7	14,9	12,7	14,9
60-74	36,2	28,8	6,2	6,0	2,4	2,6	1,21	1,26	1,07	1,10	107,1	109,9	20,7	26,3	7,1	9,9
75-89	37,2	29,9	7,2	7,1	1	1,1	1,24	1,31	1,03	1,04	102,8	103,8	24,0	31,1	2,8	3,8
90+	37,4	30,1	7,4	7,3	0,2	0,2	1,25	1,32	1,01	1,01	100,5	100,7	24,7	32,0	0,5	0,7

Данные динамических рядов показывают тенденцию к снижению скорости и темпа роста диаметров аорты с возрастом. В восходящем отделе скорость роста уменьшается с 3,8 мм (112,7 %) в группе 45–59 лет до 0,2 мм (100,5 %) в группе 90 лет и старше. В нисходящем отделе наблюдается аналогичное замедление: от 3,4 мм (114,9 %) до 0,2 мм (100,7 %).

Это указывает на замедление роста диаметров грудной аорты в старших возрастных группах. Важно отметить, что темп роста в нисходящем отделе выше, что свидетельствует о более интенсивном увеличении диаметра аорты в этом отделе по сравнению с восходящим. Таким образом, нисходящий отдел демонстрирует более заметное увеличение диаметра с возрастом.

Оценка эффективности работы ТИИ

В ходе исследования были выявлены случаи некорректной работы сервисов ИИ. В связи с этим проведена оценка эффективности алгоритмов ИИ для измерения диаметров отделов грудной аорты и анализ ошибок в работе этих систем. В рамках анализа врачами-рентгенологами пересмотрено 100 исследований из общей выборки; результаты приведены в таблице 3.9 и на рисунке 3.16.

Таблица 3.9 – Анализ ошибок ТИИ при измерении диаметра грудного отдела аорты

Тип совокупности	Размер	Число ошибок	Частота ошибок (средняя ошибка)	Стандартная ошибка средней ошибки	95 % ДИ средней ошибки
Выборка	100	17	0,17	0,038	[0,10; 0,24]
Популяция	227 149	38 616	0,17	0,00079	[0,168; 0,172]

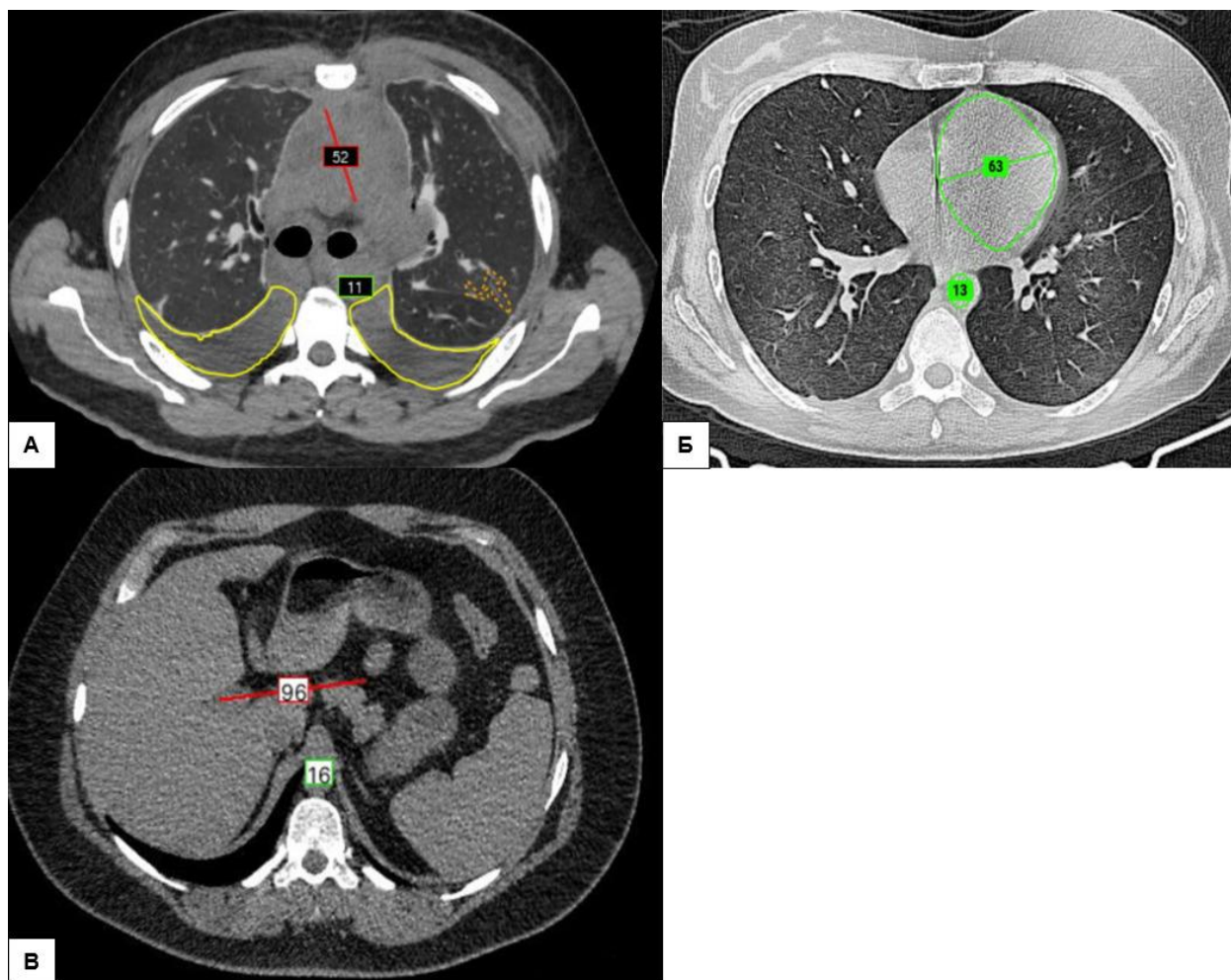


Рисунок 3.16 – Пример неправильной работы отечественных ИИ-сервисов на КТ ОГК. ИИ ошибочно выделил и обозначил патологическое расширение восходящего отдела аорты следующим образом:

А — ИИ ошибочно разметил нецелевой орган (кистозно-солидное образование) и аорту красной линией, а корректную разметку диаметра нисходящей аорты провел зеленой линией. Также присутствуют дополнительные модули, корректно выделившие плевральный выпот (желтый контур) и некоторое увеличение плотности легочной паренхимы (оранжевый контур);

Б — фронтальная часть: некорректная разметка восходящей аорты зеленым контуром (ИИ ошибочно разметил камеру сердца как нецелевой орган). Задний отдел: корректная разметка нисходящей аорты зеленой линией;

В — неверная разметка восходящей аорты красной линией (ИИ ошибочно принял органы брюшной полости за восходящую аорту). Корректная разметка нисходящей аорты проведена зеленой линией

В ходе анализа было выявлено 17 ошибок в работе систем ИИ, преимущественно связанных с некорректной разметкой областей грудной аорты. Всего было выявлено 17 ошибок в работе систем ИИ из 100 исследований, что составляет 17 % вероятность ошибки системы ИИ. При аппроксимации этой вероятности на общую популяцию пациентов получен 95%-й ДИ в диапазоне от 0,168 до 0,172 %.

Резюме результатов

Настоящее исследование подтвердило значительную распространенность дилатации и аневризмы грудной аорты среди населения г. Москвы, выявив подозрение на дилатацию в 13,3 % случаев и на аневризму в 0,8 % случаев при анализе 227 149 исследований с помощью ТИИ. Установлено, что мужчины, включая лиц трудоспособного возраста (14 % пациентов с аневризмой находятся в возрасте от 18 до 59 лет), более подвержены этим патологиям. Это подчеркивает необходимость расширения мониторинга и скрининга не только в старших, но и в трудоспособных возрастных группах.

Использование ТИИ в диагностике показало свои преимущества, позволяя ускорить процесс и предоставлять количественную оценку диаметра аорты. Однако высокий процент ошибок алгоритмов ИИ (17 % от общего числа исследований) свидетельствует о необходимости обязательного контроля результатов специалистами и дальнейшего совершенствования алгоритмов для повышения точности диагностики.

Результаты исследования подчеркивают важность оппортунистического скрининга аневризм грудной аорты с использованием ТИИ для своевременного выявления и предотвращения осложнений этого серьезного заболевания. Комплексный подход, сочетающий современные технологии и профессиональный опыт врачей, необходим для улучшения качества диагностики и обеспечения эффективного лечения пациентов.

3.3 Распространенность патологического расширения легочного ствола

В период с октября 2022 г. по февраль 2023 г. было обследовано 125 878 пациентов, проходивших КТ ОГК. Из общего числа обследованных у 43 242 пациентов (34,4 %) было выявлено наличие патологического расширения легочного ствола.

Распространенность расширения легочного ствола среди населения г. Москвы составила 794,7 случая на 100 000 населения. При анализе гендерных различий было установлено, что распространенность патологии составляет 769,5 случая на 100 000 у женщин и 824,2 случая на 100 000 населения у мужчин. Эти данные свидетельствуют о том, что мужчины несколько более подвержены данному виду патологии по сравнению с женщинами.

На рисунке 3.17 представлен краткий обзор хода исследования.

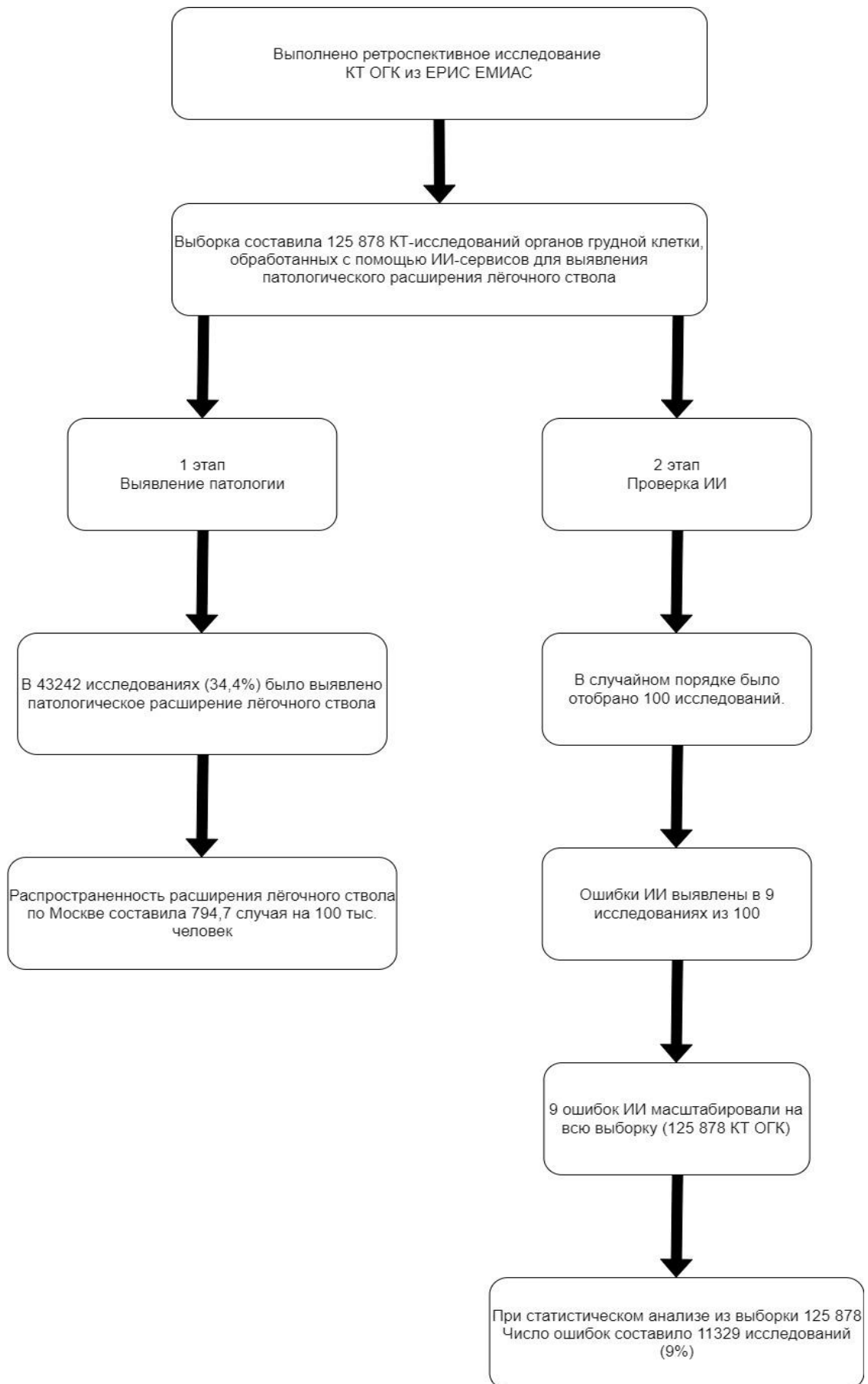


Рисунок 3.17 – Краткий обзор исследования, посвященного распространенности патологического расширения легочного ствола

В таблице 3.10 приведены данные о том, как часто встречаются изменения диаметра легочного ствола в разных возрастных группах пациентов.

Таблица 3.10 – Частота встречаемости расширения ствола легочной артерии в различных возрастных группах

Возрастная группа, лет	Мужчины	Женщины	Суммарно	χ^2 ; p (по полу)
18-44	2891/15354 (18,8 %)	1336/13186 (10,2 %)	4227/28540 (14,8 %)	425,3; <0,001
45-59	4491/14185 (31,7 %)	2619/13624 (19,2 %)	7110/27809 (25,6 %)	564,8; <0,001
60-74	8246/21310 (43,5 %)	8571/22731 (37,7 %)	16817/41678 (40,4 %)	145,2; <0,001
75-89	4549/8704 (52,3 %)	8735/16271 (53,7 %)	13284/24975 (53,2 %)	4,6; 0,032
90 и более	453/723 (62,7 %)	1351/2153 (62,8 %)	1804/2876 (62,7 %)	0,0; 0,964
Суммарно	20630/57913 (35,6 %)	22612/67965 (33,3 %)	43242/125878 (34,4 %)	76,7; <0,001
χ^2 ; p (по возрасту)	3800; <0,001	8500; <0,001	11000; <0,001	

Анализ данных таблицы 3.10 позволяет сделать несколько ключевых выводов:

Возрастная зависимость. Частота встречаемости расширения легочного ствола увеличивается с возрастом как у мужчин, так и у женщин. В младшей возрастной группе (18-44 года) патология обнаруживается у 14,8 % пациентов, тогда как в возрастной группе 90 лет и старше этот показатель достигает 62,7 %.

Гендерные различия. В целом мужчины более подвержены данной патологии (35,6 %) по сравнению с женщинами (33,3 %). Однако в возрастной группе 75-89 лет и старше различия между полами нивелируются, что подтверждается статистически незначимым различием в группе 90 лет и более ($p = 0,964$).

Статистическая значимость. Возраст является статистически значимым фактором, коррелирующим с частотой встречаемости расширения легочного ствола как у мужчин ($p < 0,001$), так и у женщин ($p < 0,001$). Это указывает на необходимость более пристального внимания к возрастным пациентам при диагностике данной патологии.

Половые особенности в старших возрастных группах. Отсутствие статистически значимых различий по полу в группе долгожителей может быть связано с половой диспропорцией в данной возрастной категории населения города Москвы, где численность женщин значительно превышает численность мужчин.

Для выявления факторов, влияющих на риск наличия патологии, была построена модель логистической регрессии (таблица 3.11). Результаты показали:

Гендерный фактор. Отношение шансов выявления аневризмы у мужчин по сравнению с женщинами того же возраста составляет 1,398 (95 % ДИ: 1,294–1,502; z -критерий = 26,303; $p < 0,001$). Это подтверждает более высокий риск развития патологии у мужской части населения.

Возрастной фактор. С увеличением возраста на каждые 5 лет вероятность наличия данного фактора риска увеличивается в 1,292 раза (95 % ДИ: 1,274–1,309; z -критерий = 87,575; $p < 0,001$). Данный факт подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния легочного ствола у пациентов старших возрастных групп.

Таблица 3.11 – Параметры логистической регрессии для наличия патологии легочного ствола

Фактор	OR	z	p	95 % ДИ для OR
Пол (Жен = реф)	1,3977	26,303	<0,001	1,294; 1,502
Возраст, 5 лет	0,2558	87,575	<0,001	0,250; 0,262
Пол * возраст (доп. риск для мужчин на 5 лет)	-0,0828	-20,516	<0,001	-0,091; -0,075
Intercept	-4,0123	-99,514	<0,001	-4,091; -3,933

Измерение диаметра легочного ствола

В таблице 3.12 представлены результаты измерения диаметра легочного ствола по короткой оси в зависимости от пола и возраста пациентов. Все данные указаны в миллиметрах.

Таблица 3.12 – Описательная статистика наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси (единицы измерения в параметрах указаны в мм)

Пол	Параметр	Возрастная группа, лет					
		18-44	45-59	60-74	75-89	90 и более	суммарно
Суммарно	N	28540	27809	41678	24975	2876	125878
	Mean	25,4	26,6	28,1	29,3	30,4	27,5
	SD	3,2	3,7	4,4	4,6	4,7	4,3
	95% ДИ	(25,4; 25,4)	(26,6; 26,7)	(28,0; 28,1)	(29,3; 29,4)	(30,2; 30,6)	(27,4; 27,5)
	Min,	11	14	13	11	15	11
	Max,	55	70	62	67	50	70
	Med,	25	26	27	29	30	27
	Q1,	23	24	25	26	27	24
	Q3,	27	29	31	32	33	30
	F(ANOVA)	4063,4					
	P	<0,0001					
Мужчины	N	15354	14185	18947	8704	723	57913
	Mean	26,0	27,3	28,4	29,2	30,3	27,6
	SD	3,2	3,9	4,5	4,6	4,5	4,2
	95% ДИ	(25,9; 26,0)	(27,2; 27,3)	(28,4; 28,5)	(29,1; 29,3)	(30,0; 30,7)	(27,6; 27,7)
	Min,	17	14	16	17	21	14
	Max,	55	70	62	54	45	70
	Med,	26	27	28	29	30	27
	Q1,	24	25	25	26	27	25
	Q3,	28	29	31	32	33	30
	F(ANOVA)	1239,3					
	P	<0,0001					
Женщины	N	13186	13624	22731	16271	2153	67965
	Mean	24,7	25,9	27,8	29,4	30,4	27,3
	SD	3,0	3,5	4,3	4,6	4,7	4,4
	95% ДИ	(24,7; 24,8)	(25,9; 26)	(27,7; 27,8)	(29,3; 29,5)	(30,2; 30,6)	(27,3; 27,3)
	Min,	11	15	13	11	15	11
	Max,	46	58	60	67	50	67
	Med,	24	25	27	29	30	27
	Q1,	23	24	25	26	27	24
	Q3,	26	28	30	32	33	30
	F(ANOVA)	3270,0					
	P	<0,0001					
t; p (между полами)		14,0; <0,0001					

Динамика роста среднего диаметра легочного ствола по короткой оси сохраняется с возрастом как для мужчин, так и для женщин (коэффициент корреляции $r = 0,31$). Проведенный дисперсионный анализ (таблица 3.12) показал, что различия наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между возрастными группами статистически значимы:

- для мужчин: $F = 1\,239,3$; $p < 0,0001$,
- для женщин: $F = 3\,270,0$; $p < 0,0001$.

Наиболее ярко эти различия проявляются в женской популяции, которая вносит наибольший вклад в суммарные различия по этому показателю у населения г. Москвы.

Половой диморфизм наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между мужской и женской популяциями также выражен статистически значимо ($t = 14,0$; $p < 0,0001$), хотя средние значения не имеют четко выраженных различий между полами.

Анализ распределения диаметра легочного ствола

Для более глубокого понимания характеристик распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в разных возрастных группах был проведен анализ асимметрии и эксцесса, результаты которого представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Некоторые характеристики распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в мужской и женской популяции пациентов

Возрастная группа, лет	Асимметрия	Эксцесс
18-44	0,804	1,971
45-59	1,128	3,232
60-74	0,903	1,486
75-89	0,664	0,834
90 и более	0,553	0,442

Анализ данных таблицы 3.13 позволяет сделать несколько ключевых выводов:

Асимметрия. Положительные значения асимметрии во всех возрастных группах (рисунок 3.18) указывают на то, что в популяции чаще встречаются значения диаметра легочного ствола, превышающие среднее. Это особенно выражено в возрастной группе 45–59 лет (асимметрия = 1,128), что может свидетельствовать о повышенном риске развития патологии в этом возрасте.

Эксцесс. Значения эксцесса уменьшаются с возрастом, что говорит о более равномерном распределении значений диаметра в старших возрастных группах. Высокий эксцесс в группе 45–59 лет (3,232) указывает на остроту пика распределения и наличие экстремальных значений.

Динамика изменений. Начиная с пожилого возраста (75–89 лет), наблюдается снижение как асимметрии, так и эксцесса, что может быть связано с естественными возрастными изменениями и стабилизацией процесса развития патологии.

На рисунке 3.19 представлены гистограммы для средней и старческой возрастных групп, демонстрируя различия в распределении и подтверждая тенденции, выявленные в аналитической части.

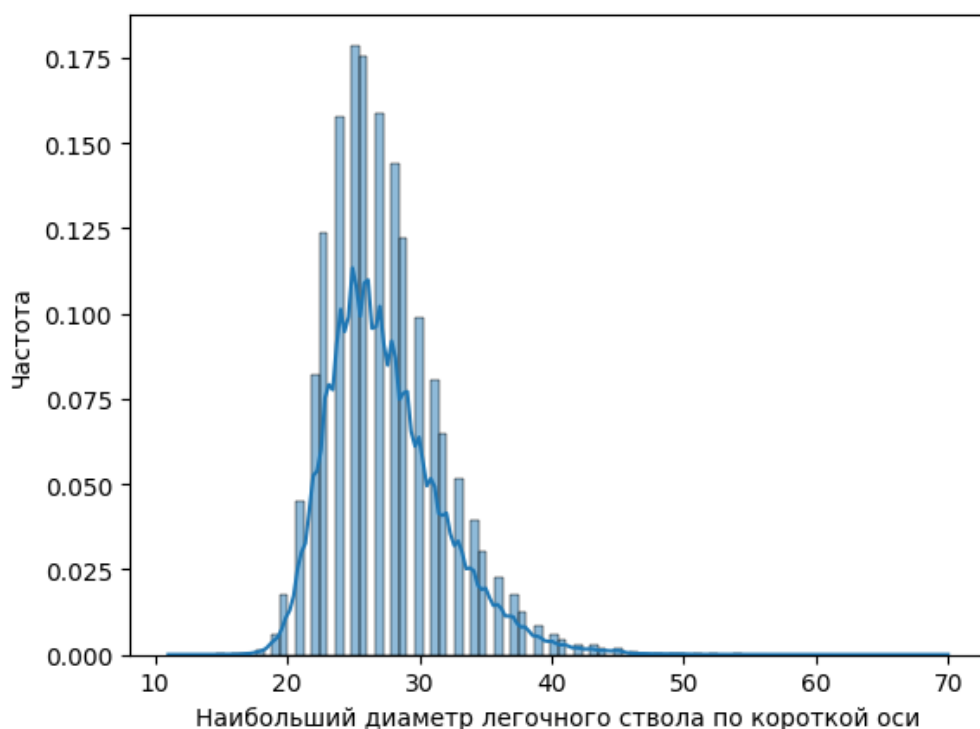
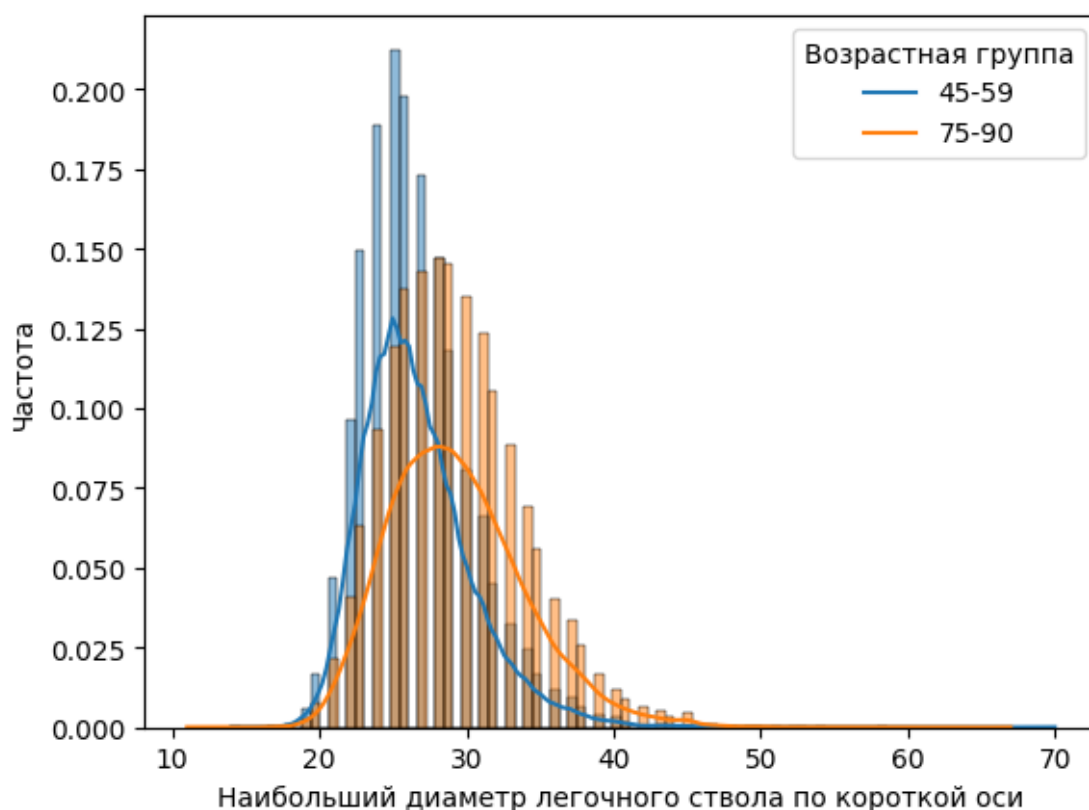


Рисунок 3.18 – Гистограмма распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси (общая популяция) (линией обозначена ядерная оценка плотности (ЯОП))



Рисунке 3.19 – Гистограммы распределения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в средней (45-59 лет) и старческой (75-89 лет) возрастных группах (линиями обозначены ЯОП для гистограмм)

Попарное сравнение возрастных групп

Было проведено попарное сравнение возрастных групп для оценки степени различий между ними (таблицы 3.14–3.16). Результаты показали:

Статистическая значимость. Все возрастные группы как у мужчин, так и у женщин статистически значимо отличаются друг от друга по показателю наибольшего диаметра легочного ствола ($p < 0,001$).

Степень различий. Наибольшие различия средних значений наблюдаются между младшей (18-44 года) и старшей (90 лет и более) возрастными группами, составляя около 5 мм. Наименьшие различия отмечены внутри старших возрастных групп (разница около 1,1 мм).

Клиническая значимость. Различия в среднем диаметре до 2,5 мм являются клинически значимыми и могут влиять на выбор тактики лечения и диагностики.

Таблица 3.14 – Результаты post-хос попарного сравнения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между возрастными группами с поправкой по методу Тьюкки у всей выборки

Сравнение по возрастным группам (лет)	Среднее значение	95 % ДИ	t	P
45-59 vs 18-44	1,2	1,1; 1,3	35,4	<0,001
60-74 vs 18-44	2,7	2,6; 2,8	86,0	<0,001
75-89 vs 18-44	3,9	3,8; 4,0	111,2	<0,001
90 и более vs 18-44	5,0	4,8; 5,2	62,9	<0,001
60-74 vs 45-59	1,5	1,4; 1,6	46,8	<0,001
75-89 vs 45-59	2,7	2,6; 2,8	76,4	<0,001
90 и более vs 45-59	3,8	3,6; 4,0	47,7	<0,001
75-89 vs 60-74	1,2	1,1; 1,3	37,9	<0,001
90 и более vs 60-74	2,3	2,1; 2,5	29,6	<0,001
90 и более vs 75-89	1,1	0,9; 1,3	13,6	<0,001

Таблица 3.15 – Результаты post-хос попарного сравнения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между возрастными группами с поправкой по методу Тьюкки у мужчин

Сравнение по возрастным группам (лет)	Среднее значение	95 % ДИ	t	P
45-59 vs 18-44	1,3	1,1; 1,4	26,6	<0,001
60-74 vs 18-44	2,5	2,3; 2,6	55,5	<0,001
75-89 vs 18-44	3,2	3,0; 3,4	58,5	<0,001
90 и более vs 18-44	4,3	3,9; 4,8	28,0	<0,001
60-74 vs 45-59	1,2	1,1; 1,3	26,4	<0,001
75-89 vs 45-59	1,9	1,8; 2,1	34,8	<0,001
90 и более vs 45-59	3,1	2,6; 3,5	19,8	<0,001
75-89 vs 60-74	0,7	0,6; 0,9	14,0	<0,001
90 и более vs 60-74	1,9	1,5; 2,3	12,2	<0,001
90 и более vs 75-89	1,1	0,7; 1,6	7,3	<0,001

Таблица 3.16 – Результаты post-хос попарного сравнения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси между возрастными группами с поправкой по методу Тьюкки у женщин

Сравнение по возрастным группам (лет)	Среднее значение	95 % ДИ	t	P
45-59 vs 18-44	1,2	1,1; 1,4	25,2	<0,001
60-74 vs 18-44	3,1	3,0; 3,2	70,0	<0,001
75-89 vs 18-44	4,7	4,6; 4,8	99,4	<0,001
90 и более vs 18-44	5,7	5,5; 6,0	61,3	<0,001
60-74 vs 45-59	1,8	1,7; 2,0	42,3	<0,001
75-89 vs 45-59	3,5	3,3; 3,6	73,9	<0,001
90 и более vs 45-59	4,5	4,2; 4,7	48,1	<0,001
75-89 vs 60-74	1,6	1,5; 1,7	38,9	<0,001
90 и более vs 60-74	2,6	2,4; 2,9	29,2	<0,001
90 и более vs 75-89	1,0	0,8; 1,3	11,3	<0,001

Анализ динамических рядов

Для более точной характеристики возрастных изменений диаметра легочного ствола были построены динамические ряды для мужского и женского населения (таблицы 3.17 и 3.18).

Таблица 3.17 – Динамический ряд показателя «наибольший диаметр легочного ствола по короткой оси» среди мужчин

Возрастная группа, лет	Средний уровень динамического ряда, мм	Базисный абсолютный прирост, мм	Скорость роста, мм	Базисный коэффициент роста	Цепной коэффициент роста	Темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста
18-44	26	-	-	-	-	-	-	-
45-59	27,3	1,3	1,3	1,05	1,05	105,00	5,00	5,00
60-74	28,4	2,4	1,1	1,09	1,04	104,03	9,23	4,03
75-89	29,2	3,2	0,8	1,12	1,03	102,82	12,31	2,82
90 и более	30,3	4,3	1,1	1,17	1,04	103,77	16,54	3,77

Таблица 3.18 – Динамический ряд показателя «наибольший диаметр легочного ствола по короткой оси» среди женщин

Возрастная группа, лет	Средний уровень динамического ряда, мм	Базисный абсолютный прирост, мм	Скорость роста, мм	Базисный коэффициент роста	Цепной коэффициент роста	Темп роста	Базисный темп прироста	Цепной темп прироста
18-44	24,7	-	-	-	-	-	-	-
45-59	25,9	1,2	1,2	1,05	1,05	104,86	4,86	4,86
60-74	27,8	3,1	1,9	1,13	1,07	107,34	12,55	7,34
75-89	29,4	4,7	1,6	1,19	1,06	105,76	19,03	5,76
90 и более	30,4	5,7	1	1,23	1,03	103,40	23,08	3,40

На основании представленных данных из таблиц 3.17 и 3.18 можно заключить, что изменения скорости роста наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в возрастных группах как женщин, так и мужчин неравномерны:

– У мужчин наибольшее значение скорости роста наблюдается в возрасте 45–59 лет (1,3 мм), а наименьшее — в возрасте 75–89 лет (0,8 мм).

– У женщин изменения скорости роста имеют свои особенности: наибольшие показатели скорости роста имеют большие значения и смещены

в более старшую по сравнению с мужчинами возрастную группу 60–74 лет (1,9 мм).

Базисный абсолютный прирост в возрастных группах как мужчин, так и женщин равномерен и показывает свои наибольшие значения в одной и той же возрастной группе — 90 лет и старше: 4,3 мм для мужчин и 5,7 мм для женщин.

Таким образом, динамика изменения наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси имеет гендерные и возрастные особенности, что важно учитывать при клинической оценке и прогнозировании развития патологии.

Изучение динамики изменений наибольшего диаметра легочного ствола по короткой оси в различных возрастно-половых группах выявило существенные различия в характере и скорости этих изменений. Полученные данные подчеркивают необходимость индивидуализированного подхода при диагностике и лечении патологии легочного ствола, учитывая пол и возраст пациента.

Оценка диагностической значимости индекса соотношения диаметров легочного ствола и восходящей аорты

Из исходной выборки 125 878 КТ ОГК были отобраны 100 533 исследования, в которых диаметр восходящей аорты находился в пределах нормы (< 40 мм). Анализ выполнялся для уточнения диагностической ценности абсолютного диаметра легочного ствола и индекса отношения максимальных диаметров легочного ствола и восходящей аорты (ЛС/АО) как маркеров ЛГ (таблицы 3.19–3.21, рисунок 3.20).

Расширение легочного ствола ≥ 29 мм остается признанным КТ-признаком ЛГ с ≈ 97 % положительной прогностической ценностью [7, 102]. Однако целый ряд работ показал, что индекс ЛС/АО точнее отражает гемодинамическую нагрузку и риск неблагоприятных исходов, чем абсолютный диаметр. В актуальных рекомендациях ESC/ERS (2022 г.) и Минздрава РФ (2024 г.) он пересмотрен до 0,9, что повышает чувствительность метода [19, 103–106].

Таблица 3.19 – Характеристика пациентов с нормальным абсолютным диаметром легочного ствола (< 29 мм; $n = 73\,934$)

Показатель	n	% от подгруппы	Диапазон индекса ЛС/АО	Диаметр восходящей аорты, мм	Диаметр легочного ствола, мм
Индекс $< 0,9$ (норма)	66 936	90,5 %	0,40 – 0,80	22 – 39	18 – 28
Индекс $\geq 0,9$ (патология)	6 998	9,5 %	0,90 – 1,20	22 – 31	20 – 28

Таблица 3.20 – Характеристика пациентов с дилатацией легочного ствола (≥ 29 мм; $n = 26\,599$)

Показатель	n	% от подгруппы	Диапазон индекса ЛС/АО	Диаметр восходящей аорты, мм	Диаметр легочного ствола, мм
Индекс $< 0,9$ (норма)	15 183	57,1 %	0,70 – 0,80	33 – 39	29 – 35
Индекс $\geq 0,9$ (патология)	11 416	42,9 %	0,90 – 2,10	22 – 39	29 – 58

У 9,5 % пациентов индекс ЛС/АО оказался $\geq 0,9$, хотя сам легочный ствол не превышал 29 мм. Причина проста: их восходящая аорта была сравнительно узкой (22–31 мм). На таком фоне даже нормальный диаметр легочного ствола дает высокий индекс ЛС/АО. То есть индекс отражает несоответствие размеров двух сосудов, а не фактическое увеличение легочного ствола, и поэтому помогает выявлять индивидуальные анатомические варианты аорты (таблица 3.19).

У 57,1 % пациентов с диаметром легочного ствола ≥ 29 мм индекс сохранился $< 0,9$, что указывает на отсутствие признаков ЛГ в большинстве этой группы. Здесь восходящая аорта находилась в верхних пределах нормы (33–39 мм), и ее относительное увеличение «уравновешивало» расширенный легочный ствол, сохраняя нормальный индекс ЛС/АО. Если опираться только на абсолютный порог 29 мм, это может привести к гипердиагностике; индекс ЛС/АО устраняет эту проблему, учитывая влияние достаточно крупной, но все еще нормальной аорты (таблица 3.20).

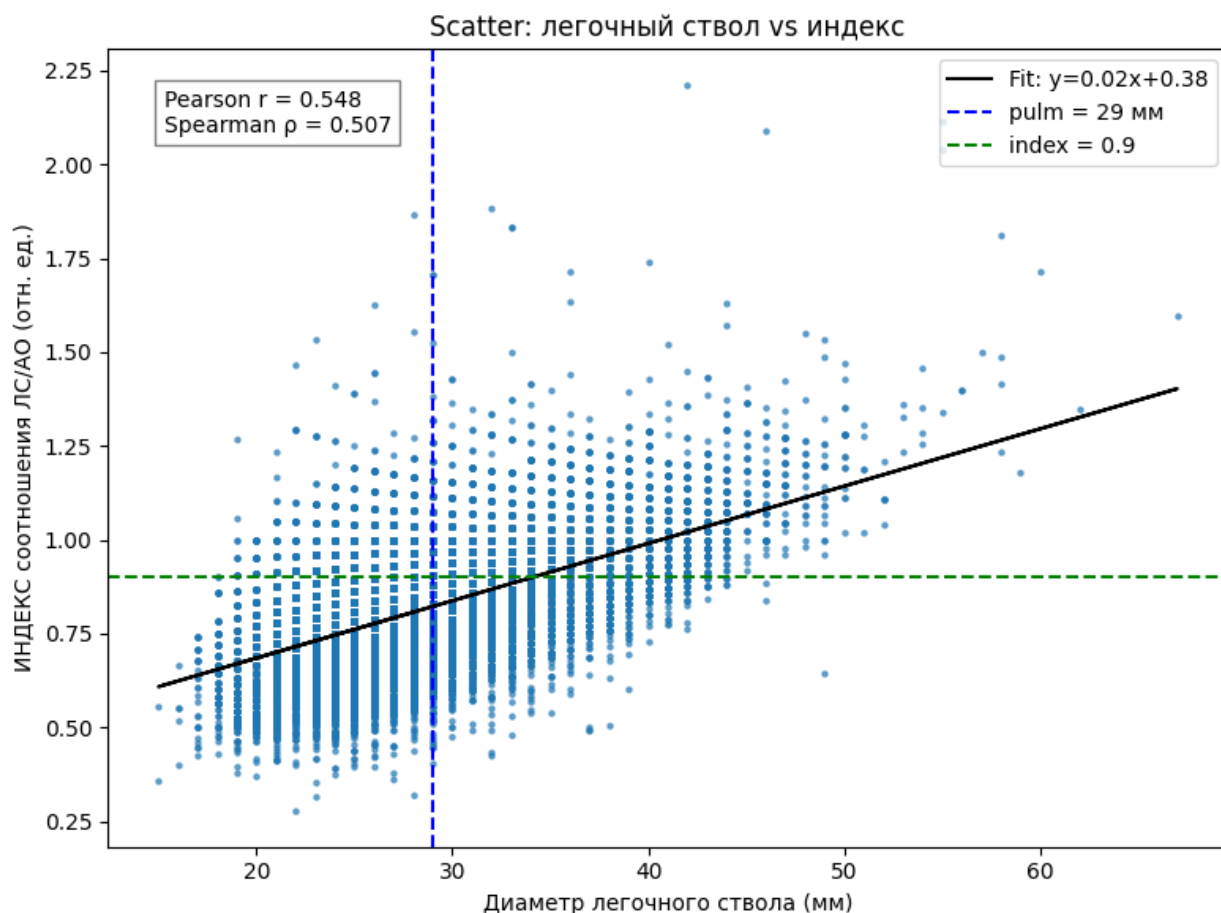


Рисунок 3.20 – Диаграмма рассеяния «Диаметр легочного ствола vs индекс ЛС/АО»

Таблица 3.21 – Распределение пациентов по диагностическим квадрантам, сформированным порогами 29 мм (легочного ствола) и 0,9 (индекс ЛС/АО)

Квадрант	Диагностическое условие	п	% от всей выборки (N = 100 533)
1	ЛС < 29 мм и индекс < 0,9	66 936	66,6 %
2	ЛС < 29 мм и индекс ≥ 0,9	6 998	7,0 %
3	ЛС ≥ 29 мм и индекс < 0,9	15 183	15,1 %
4	ЛС ≥ 29 мм и индекс ≥ 0,9	11 416	11,4 %

Дополнительно был построена диаграмма рассеяния (рисунок 3.20), на которой каждая точка представляет пару значений «абсолютный диаметр легочного ствола (ось X) / индекс ЛС/АО (ось Y)».

Черная линия регрессии описывается уравнением $y = 0,02 x + 0,38$; коэффициенты Пирсона ($r = 0,548$) и Спирмена ($\rho = 0,507$) указывают на умеренную прямую связь.

Вертикальная синяя пунктирная линия показывает традиционный порог дилатации легочного ствола = 29 мм, горизонтальная зеленая — актуальный порог индекса 0,9.

Распределение пациентов по квадрантам (см. таблицу 3.21):

Квадрант 1 (66,6 %) — нормальные абсолютные и относительные размеры сосудов; значения соответствуют строке «Индекс < 0,9».

Квадрант 2 (7,0 %) — нормальный диаметр легочного ствола при индексе $\geq 0,9$, что обусловлено сравнительно узкой аортой (22–31 мм;) и отражает скрытую сосудистую диспропорцию.

Квадрант 3 (15,1 %) — дилатация ЛС ≥ 29 мм при индексе < 0,9. Увеличение легочного ствола «компенсируется» аортой верхнего нормального диапазона (33–39 мм;), поэтому признаки ЛГ отсутствуют.

Квадрант 4 (11,4 %) — одновременное превышение обоих пороговых значений; свидетельствуют о возможной ЛГ.

Около 22 % выборки (квадранты 2 и 3) демонстрируют рассогласование между абсолютным диаметром легочного ствола и индексом ЛС/АО, что подчеркивает риск гипер- и гиподиагностики при применении единичного критерия.

Индекс ЛС/АО выполняет корректирующую функцию: выявляет скрытую сосудистую диспропорцию (квадрант 2) и одновременно уменьшает число ложноположительных заключений при пороге 29 мм (квадрант 3).

Результаты анализа свидетельствуют о целесообразности комплексной оценки диаметра легочного ствола в сочетании с индексом ЛС/АО.

Одновременно данный подход позволяет избежать гипердиагностики: в 57,1 % случаев с увеличенным диаметром легочного ствола (≥ 29 мм) индекс остается в пределах нормы, что обусловлено параллельным увеличением размеров аорты (таблица 3.20).

Таким образом, использование индекса ЛС/АО повышает точность диагностики сосудистых изменений, способствует объективной стратификации

пациентов по степени риска и должно рассматриваться в качестве обязательного элемента при интерпретации данных КТ-исследований ОГК.

Эффективность использования технологий искусственного интеллекта

Одной из важных целей исследования было оценить эффективность ТИИ в идентификации диаметра легочного ствола. Результаты анализа ошибок представлены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Анализ ошибок ТИИ, связанных с определением диаметра легочного ствола

Тип совокупности	Размер	Число ошибок	Частота ошибок (средняя ошибка)	Стандартная ошибка средней ошибки	95 % ДИ средней ошибки
Выборка	100	9	0,09	0,028	[0,034; 0,146]
Популяция	125878	11329	0,09	0,000263	[0.0895, 0.0905]

Число ошибок: ТИИ допускают ошибки в 9 % случаев при идентификации диаметра легочного ствола.

ДИ: При переходе от выборки к общей популяции 95%-й ДИ сужается до диапазона [8,95 %; 9,05 %], что свидетельствует о высокой стабильности показателя ошибки в масштабах всей популяции.

Практическая значимость: несмотря на определенный уровень ошибок, использование ТИИ позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных и выявлять патологическое расширение легочного ствола, что подтверждается масштабом проведенного исследования.

Резюме результатов

Проведенное исследование впервые позволило оценить популяционный уровень расширения ствола легочной артерии по данным КТ ОГК в условиях мегаполиса. Распространенность данной патологии среди населения г. Москвы составила 794,7 случая на 100 000 человек, причем мужчины оказались более

подвержены этому состоянию. Большинство пациентов (77 %) были в возрасте 45 лет и старше, что подчеркивает необходимость усиленного мониторинга в этих возрастных группах.

Использование ТИИ при анализе КТ-данных показало свою эффективность, позволяя врачам не пропустить важный симптом расширения легочного ствола и экономя время за счет предоставления количественной оценки его диаметра. Хотя уровень ошибок ТИИ составил 9 % (11 329 из 125 878 исследований), результаты остаются в допустимых пределах для клинической практики и свидетельствуют о перспективности дальнейшего применения и совершенствования этих технологий.

Выявление расширения легочного ствола при КТ ОГК позволяет целенаправленно исследовать причины этого симптома и диагностировать заболевания, которые могут приводить к ЛГ. Результаты исследования подчеркивают необходимость внедрения современных технологий, включая ТИИ, для повышения эффективности диагностики и последующего лечения пациентов с данной патологией, при обязательном контроле результатов специалистами. Использование индекса ЛС/АО улучшает точность диагностики сосудистых патологий, помогает оценить риск у пациентов и должно быть обязательным при анализе КТ грудной клетки.

3.4 Оценка диагностической точности ИИ-сервисов

Тестирование ИИ-сервисов на эталонных наборах данных является стандартной процедурой «Московского Эксперимента», обеспечивающей валидацию новых алгоритмов перед их внедрением в клиническую практику. Основная цель данного этапа – определить возможность доступа ИИ-сервисов к анализу медицинских изображений в реальных условиях практического здравоохранения.

С научной точки зрения данная процедура, именуемая калибровочным тестированием, представляет собой ретроспективное диагностическое

исследование, направленное на оценку точности и стабильности алгоритмов. В рамках исследования оценивались ИИ-сервисы (Chest-IRA; CVL – Chest CT Complex; Третье мнение – КТ ОГК комплекс; Цельс – КС КТ ОГК; ТретьеМнение_КТ-Легочный ствол), предназначенные для автоматизированного выявления расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также расширения легочного ствола на КТ-изображениях.

Результаты калибровочного тестирования

ИИ-сервисы обработали эталонные наборы данных, по результатам которых были рассчитаны диагностическая точность, чувствительность, специфичность и площадь под кривой характеристической зависимости (ROC-AUC). В таблицах 3.23 и 3.24 представлены заявленные и полученные показатели точности с указанием 95 % ДИ.

Таблица 3.23 – Оценка диагностической точности и качества ИИ-сервисов для анализа результатов КТ с целью определения расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты. В круглых скобках указан доверительный интервал (95 % ДИ)

Показатели точности	ИИ-сервис			
	Chest-IRA	CVL – Chest CT Complex	Третье мнение – КТ ОГК комплекс	Цельс – КС КТ ОГК
Заявленные значения				
Точность	0,95	0,82	0,85	0,91
Чувствительность	0,94	0,82	0,87	0,80
Специфичность	0,96	0,81	0,86	0,93
AUROC	0,99	0,88	0,92	0,91
Полученные значения				
Точность	0,94 (0,88 – 0,99)	0,97 (0,94 – 1,0)	0,96 (0,92 – 1,0)	0,96 (0,92 – 1,0)
Чувствительность	0,93 (0,86 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)	0,94 (0,87 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)
Специфичность	0,94 (0,87 – 1,0)	0,98 (0,94 – 1,0)	0,98 (0,94 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)
AUROC	0,96 (0,92 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)	0,99 (0,98 – 1,0)	0,98 (0,96 – 1,0)

Таблица 3.24 – Оценка диагностической точности и качества ИИ-сервисов для анализа результатов КТ с целью определения расширения легочного ствола. В круглых скобках указан доверительный интервал (95 % ДИ)

Показатели точности	ИИ-сервис		
	Chest-IRA	CVL - Chest CT Complex	ТретьеМнение_КТ-Легочный ствол
Заявленные значения			
Точность	0,87	0,83	0,98
Чувствительность	0,87	0,82	0,84
Специфичность	0,91	0,81	0,82
AUROC	0,96	0,88	0,89
Полученные значения			
Точность	0,97 (0,93 – 1,0)	0,94 (0,89 – 0,99)	0,94 (0,89 – 0,99)
Чувствительность	0,94 (0,87 – 1,0)	0,92 (0,84 – 1,0)	0,92 (0,84 – 1,0)
Специфичность	1,0 (1,0 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)	0,96 (0,91 – 1,0)
AUROC	0,99 (0,99 – 1,0)	0,98 (0,96 – 1,0)	0,98 (0,97 – 1,0)

Результаты калибровочного тестирования показали, что среди исследуемых ИИ-сервисов наиболее высокие показатели диагностической точности, чувствительности и специфичности были зафиксированы при анализе восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, где AUROC достигал 0,99 (0,98–1,0), что свидетельствует о высоком уровне надежности алгоритмов.

При анализе легочного ствола также отмечены высокие значения диагностической точности, причем максимальные показатели AUROC составляли 0,99 (0,99–1,0), а в отдельных случаях специфичность достигала 100 %, что указывает на высокую способность алгоритмов корректно идентифицировать отсутствие патологических изменений.

Однако в рамках исследования были выявлены различия в результатах работы ИИ-сервисов, связанные с вариативностью точности и чувствительности. Так, при анализе аорты у отдельных алгоритмов наблюдались более низкие показатели чувствительности, что потенциально может приводить к пропуску патологических изменений. При анализе легочного ствола для некоторых ИИ-систем зафиксированы сравнительно меньшие значения AUROC (0,88–0,97), что может указывать на необходимость дополнительной оптимизации алгоритмов для обеспечения более стабильных результатов.

Ошибки ТИИ при мониторинге

В ходе анализа данных мониторингов, проведенных в рамках «Московского Эксперимента», двумя врачами-экспертами была выявлена частота ложноотрицательных ошибок для каждого из пяти исследуемых ИИ-сервисов. Оценка проводилась на случайно отобранной выборке из 1680 исследований, включавшей по 240 исследований для каждого сервиса. Для каждого сервиса проводился мониторинг в течение 3 месяцев, причем в каждом месяце обрабатывалось по 80 исследований. В таблицах 3.25 и 3.27 представлены результаты анализа КТ ОГК по сервисам и типам ошибок (ложноотрицательные (ЛО), ложноположительные (ЛП), норма, патология).

Патологическое расширение грудной аорты

Таблица 3.25 – Распределение результатов анализа КТ ОГК по сервисам и типам ошибок для определения патологического расширения грудного отдела аорты (ЛО, ЛП, норма, патология)

Наименование ИИ-сервиса	Продолжительность мониторинга, мес.	Распределение результатов анализа (количество, шт.)			
		ЛО	ЛП	норма	патология
Chest-IRA	3	0	0	179	61
CVL – Chest CT Complex	3	0	3	220	20
Третье мнение – КТ ОГК комплекс	3	0	2	208	32
Цельс – КС КТ ОГК	3	0	5	232	8
Общее количество	3	0	10	839	121

В итоговой строке «Общее» для аорты указаны следующие суммарные данные (по всем сервисам и всем месяцам):

- ЛО — 10,
- ЛП — 0,
- норма — 839,
- патология — 121.

Таким образом, всего было 839 действительно нормальных случаев и 121 случай с реальной патологией (в сумме 960 исследований).

В исследовании два эксперта провели мониторинг 4 сервисов (Chest-IRA, CVL – Chest CT Complex, Третье мнение – КТ ОГК комплекс, Цельс – КС КТ ОГК). Проанализировано по 3 месяца (80 исследований в месяц) по каждому ИИ-сервису, то есть на один сервис приходится $3 \times 80 = 240$ исследований. Суммарно по 4 сервисам: $4 \times 240 = 960$ исследований.

Результаты мониторингов обобщены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Сравнительные показатели точности алгоритмов для определения патологического расширения грудного отдела аорты в разных сервисах

Сервис	Chest-IRA	CVL – Chest CT Complex	Третье мнение – КТ ОГК комплекс	Цельс – КС КТ ОГК
Чувствительность	1,00	1,00	1,00	1,00
Специфичность	1,00	0,99	0,99	0,98
Общая точность	1,00	0,99	0,99	0,98
Процент ошибок (ЛО \ ЛП)	0,0 % \ 0,0 %	0,0 % \ 1,2 %	0,0 % \ 0,8 %	0,0 % \ 2,0 %

Патологическое расширение легочного ствола

Таблица 3.27 – Распределение результатов анализа КТ ОГК по сервисам и типам ошибок для определения патологического расширения легочного ствола (ЛО, ЛП, норма, патология)

Наименование ИИ-сервиса	Продолжительность мониторинга, мес.	Распределение результатов анализа (количество, шт.)			
		ЛО	ЛП	норма	патология
Chest-IRA	3	0	3	176	64
CVL – Chest CT Complex	3	6	3	193	47
Третье мнение – КТ-Легочный ствол	3	0	0	170	70
Общее количество	3	6	6	539	181

В итоговой строке «Общее» по всем сервисам для легочного ствола приведены суммарные показатели:

- ЛО = 6,
- ЛП = 6,
- норма = 539,
- патология = 181.

Таким образом, всего было 539 действительно нормальных случаев и 181 случай с реальной патологией (в сумме 720 исследований).

В исследовании два эксперта провели мониторинг 3 сервисов (например, Chest-IRA, CVL – Chest CT Complex, Третье мнение – КТ-Легочный ствол), Проанализировано по 3 месяца (80 исследований в месяц) по каждому ИИ-сервису, то есть на один сервис приходится $3 \times 3 \times 80 = 720$.

Результаты мониторингов обобщены в таблице 3.28.

Таблица 3.28 – Сравнительные показатели точности алгоритмов для определения патологического расширения легочного ствола в разных сервисах

Сервис	Chest-IRA	CVL – Chest CT Complex	Третье мнение – КТ-Легочный ствол
Чувствительность	1,00	0,87	1,00
Специфичность	0,98	0,98	1,00
Общая точность	0,99	0,96	1,00
Процент ошибок (ЛО \ ЛП)	0,0 % \ 1,2 %	2,4 % \ 1,2 %	0,0 % \ 0,0 %

Чувствительность и специфичность рассчитывались по всем ИИ-сервисам согласно формулам (1–4):

$$\text{Чувствительность} = TP / (TP + FN), \quad (1)$$

где TP – истинно положительный (True Positive)

FN – ложноотрицательный (False Negative)

$$\text{Специфичность} = TN / (TN + FP), \quad (2)$$

где TN – истинно отрицательный (True Negative),

FP – ложноположительный (False Positive).

$$\text{Общая точность} = (TN + TP) / (TN + TP + FN + FP) \quad (3)$$

$$\text{Процент ошибок} = (FN + FP) / (TN + TP + FN + FP) \quad (4)$$

Резюме результатов

В рамках «Московского Эксперимента» продемонстрирована успешная реализация методов автоматизированного анализа и количественной оценки сосудистых структур на основе КТ ОГК, что открывает возможности для повышения эффективности работы врачей-рентгенологов и стандартизации диагностики.

Диагностическая точность алгоритмов, предназначенных для выявления и измерения расширения аорты и легочного ствола, при тестировании на эталонном наборе данных варьировалась в следующих пределах:

AUROC – от 0,88 до 0,99,

Чувствительность – от 0,80 до 0,98,

Специфичность – от 0,81 до 1,0.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой диагностической ценности ТИИ в автоматизированном анализе сосудистых патологий, а также подтверждают возможность их интеграции в клиническую практику для улучшения качества диагностики.

В ходе исследования была проведена оценка ложноотрицательных ошибок ИИ-сервисов при диагностике аневризмы грудной аорты и расширения легочного ствола. Всего проанализировано 1 680 исследований.

Полученные данные (включая ЛО, ЛП, а также общее распределение «Норма/Патология») были использованы для расчета показателей эффективности алгоритмов — чувствительности (способность выявлять реальную патологию) и специфичности (способность исключать патологию у здоровых пациентов). Эти показатели позволяют судить о качестве работы ИИ-сервисов при выявлении патологического расширения грудной аорты и легочного ствола на реальных клинических исследованиях.

Полученные данные продемонстрировали высокое качество работы ИИ-сервисов по определению патологических состояний: патологического расширения грудной аорты и патологического расширения легочного ствола.

Чувствительность ИИ-сервисов практически во всех группах соответствовала 100 % (за исключением «CVL – Chest CT Complex», который продемонстрировал чувствительность 87 % в определении расширения легочного ствола). Специфичность ИИ-сервисов также была достаточно высокой и находилась в диапазоне 98–100 %.

Столь высокие показатели чувствительности и специфичности, общей точности, а также низкий процент ошибок (не превышающий 3,6 %), позволили обоснованно применять все проанализированные сервисы для количественной оценки выполненных исследований на всех этапах работы.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе настоящего исследования была проведена комплексная оценка эффективности применения ТИИ в диагностике патологического расширения грудной аорты и легочного ствола, а также анализ их влияния на качество медицинской помощи и работу врачей-рентгенологов.

Определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов

Первое исследование было направлено на определение эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов. Анализ эффективности работы ТИИ при проверке протоколов врачей-рентгенологов продемонстрировал, что в выборке пациентов с аневризмами аорты (75 пациентов) различий между мужчинами и женщинами по возрасту и максимальному диаметру грудной аорты статистически не выявлено ($p > 0,05$). Эффективность работы ТИИ составила 41 %.

Применение ТИИ в ретроспективном исследовании позволило увеличить количество выявленных аневризм, что подтверждает целесообразность использования данной технологии как вспомогательного инструмента для врача-рентгенолога при первичном анализе лучевых исследований. В то же время выявлены случаи ложноположительных результатов, которые можно минимизировать через мониторинг и дообучение алгоритма [168–170].

Согласно литературным данным, между возрастом и диаметром грудного отдела аорты существует положительная корреляция, при этом мужчины имеют более высокие значения диаметра, чем женщины [171, 172]. Эти данные согласуются с результатами нашего исследования.

Существует риск пропуска клинически значимых патологий врачами, обусловленный такими факторами, как профессиональное выгорание (например, после пандемии COVID-19), увеличение рабочей нагрузки и нехватка медицинского персонала. Это подчеркивает важность использования ТИИ

в качестве системы поддержки принятия решений для врачей-рентгенологов при анализе КТ ОГК. Применение ТИИ способствует повышению выявляемости и снижению вероятности пропуска клинически значимых патологий [173].

Отечественная ТИИ, использованная в нашем исследовании, не является единственным решением, и при выборе можно ориентироваться на различные метрики качества. На международном уровне также имеются аналоги, которые выполняют автоматическое измерение диаметра грудной аорты и выявление аневризм, что может помочь избежать ошибок и применяться для оппортунистического скрининга [174, 175].

Согласно литературным данным, ТИИ помогает врачам-рентгенологам сократить время, затрачиваемое на выявление патологий в лучевых исследованиях [176, 177], что делает его перспективным инструментом для измерений аорты [178]. Вопрос точности таких измерений, однако, остается нерешенным и требует дальнейшего изучения. Настоящее исследование показало, что ТИИ не может полностью заменить врача, но может служить поддержкой, помогая рентгенологу выявлять возможные патологии аорты и снижать вероятность пропуска клинически значимых аномалий. Важно, чтобы врач-рентгенолог понимал принципы работы ТИИ и знал о возможных ошибках при интерпретации результатов [88, 143, 179–181]. Таким образом, использование ТИИ может стать значимым инструментом для диагностики аневризмы грудного отдела аорты.

Популяционное исследование распространенности дилатации и аневризм грудной аорты

Второе исследование представляло собой популяционное исследование распространенности дилатации и аневризм грудной аорты с проверкой на наличие ошибок ТИИ. С помощью алгоритмов ТИИ было обработано 227 149 КТ-исследований, что позволило автоматически определить размеры диаметров восходящего и нисходящего отделов грудной аорты. В результате были выявлены признаки дилатации аорты у 13,3 % населения г. Москвы и признаки аневризмы

у 0,8 %, что сопоставимо с данными других исследований [36, 37]. Также была рассчитана распространенность предполагаемых аневризм, составившая 12,4 случая на 100 000 человек. В США получены близкие значения — 10 случаев на 100 000 человек [5], однако более высокие показатели распространенности могут быть связаны с количеством проводимых исследований и их качеством.

Важно подчеркнуть, что наше исследование является первым популяционным исследованием в России, выполненным на большой выборке с использованием ТИИ. Мы оценивали только два отдела грудной аорты (без дуги аорты), что связано с текущими ограничениями работы используемых ТИИ. Случаи аневризмы в дуге аорты требуют отдельного рассмотрения, и их изучение позволит более точно оценить распространенность данной патологии [115].

Частота встречаемости аневризм среди мужчин более чем в три раза выше, чем среди женщин (1,2 % у мужчин против 0,36 % у женщин), что согласуется с данными других исследований [171, 172]. Примечательно, что 14 % пациентов с аневризмой составляют трудоспособные лица в возрасте от 18 до 59 лет. Также наблюдается увеличение удельного веса пациентов с дилатацией и аневризмой по мере старения: в молодом возрасте дилатация и аневризма выявляются у 1,4 и 0,1% соответственно, а среди долгожителей — у 25,7 и 1,7 %. Эта тенденция объясняется возрастными изменениями [27].

Мы также проанализировали данные о локализации аневризм в восходящем и нисходящем отделах грудной аорты. Частота встречаемости аневризм в обоих отделах составила 0,4 %, однако выявлены различия по половому признаку. У мужчин чаще встречались аневризмы в нисходящем отделе (59 %), тогда как у женщин — в восходящем (63%). В аналогичных исследованиях средние показатели распределения аневризм по локализации составляют 45,6 % в восходящем отделе, 34,6 % в нисходящем отделе и 21,4 % в дуге аорты [3].

Использование ТИИ в ретроспективных исследованиях продемонстрировало увеличение числа выявленных аневризм, что подтверждает эффективность и целесообразность применения этого метода на практике, особенно в качестве вспомогательного инструмента для врачей-рентгенологов

при первичной интерпретации рентгенологических исследований [143]. Однако в небольшом проценте случаев отмечаются ложноположительные результаты программного обеспечения. Для снижения таких ошибок могут применяться методы мониторинга и дообучения алгоритмов [168–170].

Кроме отечественных ТИИ, использованных в исследовании, существуют зарубежные аналоги для измерения диаметра грудного отдела аорты и обнаружения аневризм. Выбор подходящего ТИИ во многом определяется показателями качества. Такие алгоритмы помогают сократить вероятность ошибок и могут применяться в оппортунистическом скрининге [174, 175]. Помимо этого, они ускоряют работу врача [174, 175] и представляют собой перспективные инструменты для измерения диаметра аорты [178].

Популяционное исследование распространенности патологического расширения легочного ствола

Третье исследование было посвящено изучению распространенности патологического расширения легочного ствола в популяции и анализу возможных ошибок при использовании ТИИ. На сегодняшний день в России отсутствуют данные о распространенности расширения легочного ствола по результатам КТ на уровне популяции. Благодаря широкому внедрению ТИИ в медицинскую практику и возможности быстрого количественного анализа больших объемов клинических данных, нам удалось впервые провести такое исследование среди населения г. Москвы [114, 124, 160, 182].

Алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения, анализируя большие объемы данных КТ-исследований, автоматически выявили признаки расширения легочного ствола у 34,4 % пациентов (из 125 878 проанализированных исследований). Примечательно, что 77 % этой популяции составили пациенты старше 45 лет, включая категории среднего, пожилого, старческого возраста и долгожителей. Данные свидетельствуют об увеличении частоты случаев расширения легочного ствола с возрастом: в группе молодого возраста данный показатель составил 14,8 %, тогда как среди долгожителей он достиг 62,7 %. Эту

тенденцию можно объяснить ростом распространенности хронических неинфекционных заболеваний, сопровождающихся развитием ЛГ, среди пожилых и старческих возрастных групп [183].

Расширение ствола легочной артерии, по данным КТ-исследований, является одним из ключевых симптомов ЛГ [7]. ЛГ — это гетерогенное состояние, которое ассоциируется с различными сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями и редко проявляется как самостоятельное заболевание. При отсутствии своевременного лечения ЛГ может привести к правожелудочковой недостаточности и летальному исходу, связанному с осложнениями, такими как тромбоэмболия, аритмии и отек легких [6, 8, 184].

Отмечено, что распространенность ЛГ у пациентов с ХОБЛ достигает 20 % при наличии хотя бы одной госпитализации по причине дыхательной недостаточности. На развернутой стадии ХОБЛ частота ЛГ возрастает до 50 % и более [8]. ХОБЛ является одной из ведущих причин смертности во всем мире [185], и наличие ЛГ у таких пациентов существенно снижает их выживаемость, выступая независимым фактором риска при обострениях заболевания [182, 183]. Раннее выявление ЛГ у пациентов с ХОБЛ играет важную роль в выборе тактики ведения и улучшении прогноза этих пациентов.

Несмотря на широкое применение доплеровской эхокардиографии в диагностике ЛГ, у пациентов с тяжелым течением ХОБЛ ее использование ограничено из-за гиперинфляции легких и сложности получения качественного акустического окна [17, 20]. Золотым стандартом диагностики ЛГ является инвазивное измерение среднего давления в легочной артерии при катетеризации правых отделов сердца [17, 20, 186]. Однако было показано, что отношение диаметра легочной артерии к диаметру аорты ($d_{\text{ЛА}}/d_{\text{А}}$), измеренное по данным КТ, коррелирует с инвазивными данными давления в легочной артерии [186]. Таким образом, обнаружение расширения легочного ствола при $d_{\text{ЛА}}/d_{\text{А}} > 1$ может служить надежным признаком наличия ЛГ у пациента.

В 2020 г. исследование, опубликованное David C. LaFon и соавторами, показало, что расширение легочной артерии, выявленное на КТ-исследовании

легких, выступает независимым фактором риска смертности среди пациентов с ХОБЛ средней и тяжелой степени [187]. В другом исследовании, проведенном J. Michael Wells и соавторами, установлена положительная корреляция между расширением легочного ствола ($dLA/dA > 1$) на КТ и риском обострений у пациентов с тяжелым течением ХОБЛ [188]. Метаанализ, включивший 18 исследований с участием 5694 пациентов, подтвердил, что расширение ствола легочной артерии по данным КТ связано с более низкой толерантностью к физическим нагрузкам, ухудшением качества жизни и повышенной смертностью у пациентов с ХОБЛ [189].

В 2017 г. были опубликованы данные когортного исследования, проведенного в рамках проспективного популяционного проекта по изучению факторов риска и распространенности хронических заболеваний среди жителей Роттердама. В исследование вошли 2197 пациентов со средним возрастом ($69,7 \pm 6,7$) лет, которым было проведено КТ ОГК для вычисления отношения dLA/dA . Анализ показал, что в общей популяции расширение легочной артерии ($dLA/dA > 1$) не связано с увеличением смертности. Однако у пациентов с ХОБЛ выявлена связь между патологическим значением $dLA/dA > 1$ и повышенным риском смертности, особенно в подгруппах с ХОБЛ средней и тяжелой степени [190].

В исследовании R. Chad Wade и соавторов показано, что расширение легочной артерии, обнаруженное при КТ ОГК, связано с тяжелыми обострениями и общей смертностью у злостных курильщиков с патологически измененными показателями спирометрии, но без ХОБЛ [191].

Кроме того, важно учитывать, что перенесенный COVID-19 также может быть причиной расширения ствола легочной артерии [88]. Литературные данные указывают на то, что диаметр ствола легочной артерии более 29 мм при поступлении является независимым предиктором тяжелого течения COVID-19, что делает это пороговое значение важным индикатором для прогнозирования неблагоприятных исходов у таких пациентов [192].

Расширение ствола легочной артерии ($dLA/dA > 1$) обладает значимой прогностической ролью у пациентов без анамнеза ишемической болезни сердца (ИБС), направленных на КТ-коронарографию. В исследовании Rine Nakanishi и соавторов установлено, что повышение отношения $dLA/dA > 1$ связано с увеличением риска общей смертности у этих пациентов, независимо от наличия традиционных факторов риска ИБС. Кроме того, у пациентов с расширенным легочным стволом наблюдалась более низкая фракция выброса левого желудочка (ФВЛЖ) [103].

Таким образом, расширение ствола легочной артерии может рассматриваться как новый биомаркер для оценки риска сердечно-сосудистых осложнений и смертности. Это поможет в скрининге, определении причины и степени ЛГ, выделении пациентов с высоким риском смертности и коррективке тактики их ведения для улучшения прогноза.

Оценка диагностической точности ИИ-сервисов

В ходе проведенного исследования была оценена диагностическая точность различных ИИ-сервисов, предназначенных для автоматизированного выявления расширения восходящего и нисходящего отделов грудной аорты, а также расширения легочного ствола на КТ-изображениях. В рамках калибровочного тестирования [163] установлено, что большинство исследуемых алгоритмов демонстрируют высокие показатели точности, чувствительности и специфичности, что подтверждается значениями AUROC, варьирующимися в диапазоне от 0,88 до 0,99. Данные показатели свидетельствуют о высокой эффективности применения ТИИ в радиологической диагностике.

Анализ результатов калибровочного тестирования показал, что среди исследуемых сервисов наибольшая диагностическая точность была зафиксирована при анализе аорты, где значения AUROC достигали 0,99. При этом для отдельных алгоритмов наблюдалась вариативность чувствительности, что может указывать на риск пропуска патологических изменений. В отношении диагностики расширения легочного ствола также продемонстрированы высокие

показатели диагностической точности, однако в ряде случаев значения AUROC составляли 0,88–0,97, что свидетельствует о необходимости дополнительной оптимизации алгоритмов.

Дополнительно была проведена оценка частоты ложноотрицательных ошибок, выявленных в ходе мониторинга [163] работы ИИ-сервисов на выборке из 1680 диагностических исследований. Общая частота ошибок при диагностике аневризмы грудной аорты составила до 2,0 %, тогда как при выявлении расширения легочного ствола данный показатель достигал до 3,6 %. Разброс значений среди сервисов варьировался в пределах от 0 до 1,5 %, что подчеркивает наличие различий в точности работы отдельных алгоритмов. В частности, некоторые ИИ-системы не допустили ни одной ошибки, в то время как у других сервисов наблюдалась более высокая частота ложноотрицательных заключений.

Кроме того, в рамках эксперимента проведена оценка ошибок ИИ-сервисов при измерении диаметра отделов грудной аорты и легочного ствола. Анализ 100 выборочных исследований показал, что средняя частота ошибок при измерении диаметра грудной аорты составила 17 % (95 % ДИ: [10 %; 24 %]), а при анализе диаметра легочного ствола – 9 % (95 % ДИ: [3,4 %; 14,6 %]). При экстраполяции на популяционный уровень (227 149 исследований для аорты и 125 878 для легочного ствола) стабильность ошибок сохранялась, а ДИ существенно сужались, что указывает на устойчивость выявленных закономерностей. В частности, уровень ошибок при измерении диаметра аорты в масштабах всей популяции составил 17 % (95 % ДИ: [16,8 %; 17,2 %]), а для легочного ствола – 9 % (95 % ДИ: [8,95 %; 9,05 %]).

При этом важно отметить характер выявленных ошибок: если в мониторинге ИИ-систем (обработавших 1680 исследований) ложноотрицательные результаты указывали на полный пропуск патологических изменений (в частности, аневризмы аорты или расширения легочного ствола), то в рамках детального анализа 100 выборочных исследований большая часть ошибок (9 % и 17 %) относилась к некорректной разметке границ сосудов. Такие ошибки не всегда приводят к пропуску самой патологии, но негативно влияют на точность

количественных измерений, что может затруднить оценку тяжести состояния. Таким образом, данные мониторингов демонстрируют сравнительно невысокий процент именно пропущенных случаев (0,4–0,6 %), тогда как в исследовании с выборкой в 100 случаев большая доля ошибок связана с алгоритмическими неточностями при сегментации и измерениях.

Использование ТИИ в диагностике показало свои преимущества, позволяя ускорить процесс и предоставлять количественную оценку сосудистых структур. Однако высокий процент ошибок алгоритмов ТИИ свидетельствует о необходимости обязательного контроля результатов специалистами и дальнейшего совершенствования алгоритмов для повышения точности диагностики. Несмотря на определенный уровень ошибок, применение ИИ-сервисов позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных и выявлять патологические изменения, что подтверждается масштабом проведенного исследования. Использование ИИ при анализе КТ-данных показало свою эффективность, позволяя врачам не пропустить важные симптомы сосудистых патологий и экономя время за счет предоставления количественной оценки их диаметра. Хотя уровень ошибок ТИИ при измерениях варьировался от 9 до 17 %, в клинической практике эти показатели могут считаться допустимыми при условии постоянного мониторинга и улучшения алгоритмов, что подчеркивает перспективность дальнейшего применения и совершенствования ТИИ.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует возможность успешного внедрения ТИИ в радиологическую диагностику сосудистых патологий, однако подчеркивает необходимость дальнейших исследований, направленных на улучшение точности и стабильности работы ИИ-сервисов. Дальнейшая оптимизация алгоритмов, калибровка диагностических порогов и развитие методов мониторинга позволят повысить надежность ИИ в медицинской практике и минимизировать вероятность диагностических ошибок.

Проведенные популяционные исследования в г. Москве, охватившие более 353 102 КТ-исследований ОГК, позволили выявить важные эпидемиологические

данные о распространенности патологических изменений в грудной аорте и легочном стволе. Использование ТИИ продемонстрировало высокую эффективность в выявлении оппортунистическим методом диагностики скрытых случаев патологий, значительно улучшив диагностику и снизив риск пропуска клинически значимых состояний.

Анализ данных подтвердил, что частота встречаемости патологий увеличивается с возрастом, что подчеркивает важность раннего выявления и мониторинга состояния грудной аорты и легочного ствола, особенно у пациентов старшего возраста. Однако важно отметить, что даже среди пациентов молодого возраста (18–44 лет) дилатация грудной аорты была выявлена у 1,4 % пациентов, а расширение легочного ствола — у 14,8 % пациентов. Эти данные подчеркивают необходимость мониторинга состояния сосудов не только у пожилых, но и у молодых пациентов, особенно при наличии факторов риска. Результаты также демонстрируют значимость применения ТИИ для автоматизированной диагностики, которая помогает врачам повышать качество диагностики и оперативность принятия клинических решений.

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование, включавшее в себя 353 027 КТ-исследований ОГК, показало, что расширение грудной аорты выше верхней границы нормы (эктазия) выявляется у 13,3 % пациентов, а аневризмы грудного отдела аорты — у 0,8 % асимптомных пациентов, что соответствует 12,4 случая на 100 000 человек. Расширение легочного ствола было выявлено у 34,4 % пациентов, что составляет 794,7 случая на 100 000 человек.

2. Применение ТИИ в качестве СППВР в диагностике заболеваний магистральных сосудов, таких как аневризмы грудного отдела аорты, продемонстрировало высокую эффективность и увеличило выявляемость аневризм грудной аорты у асимптомных пациентов на 41 %.

3. Анализ диагностических параметров работы пяти ИИ-сервисов показал, что чувствительность определения аневризм аорты с их помощью составила 100 %, специфичность — 98–100 %. Расширение легочного ствола определялось с чувствительностью 87–100 % и специфичностью 98–100 %.

4. Оппортунистический скрининг расширения грудной аорты и ствола легочной артерии, основанный на использовании ТИИ, продемонстрировал свою высокую эффективность в выявлении аневризм грудного отдела аорты и возможной ЛГ (в виде симптома расширения легочного ствола), даже при отсутствии симптомов заболевания, что дает возможность улучшить качество медицинской помощи за счет ранней диагностики и предотвращения осложнений.

5. Автоматизированное измерение диаметров грудной аорты и легочной артерии с использованием ТИИ для предобработки и анализа КТ ОГК обеспечивает более высокую объективность и воспроизводимость результатов по сравнению с ручными методами, что является ключевым для точной диагностики их расширения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Внедрение ИИ-сервисов должно сопровождаться обновлением стандартных протоколов для врачей-рентгенологов, включающих в себя обязательный анализ диаметров магистральных сосудов.

2. Врач может использовать данные измерений, выполненные с помощью ТИИ, не проводя их самостоятельно (при визуальном контроле правильности измерений).

3. Для повышения точности диагностики и стандартизации описания КТ ОГК рекомендуется использовать, вместо применяемого в настоящее время, новый шаблон, включающий обязательный раздел «Магистральные сосуды» (Приложение А).

4. Высокий процент расширения легочного ствола по данным проведенного исследования указывает на необходимость пересмотра границ норм, применяемых для его измерений, что позволит снизить число необоснованных обследований для поиска причин ЛГ. Использование индекса ЛС/АО минимизирует ошибки диагностики, снижает риск гипердиагностики при оценке легочного ствола и должно быть обязательным этапом при работе с КТ грудной клетки.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ДЗМ	– Департамента здравоохранения города Москвы
ДИ	– доверительный интервал
ЕМИАС	– Единая медицинская информационно-аналитическая система города Москвы
ЕРИС	– Единый радиологический информационный сервис
ЛГ	– легочная гипертензия
ИБС	– ишемическая болезнь сердца
ИИ	– искусственный интеллект
ИМТ	– индекс массы тела
КТ	– компьютерная томография
КТА	– компьютерно-томографическая ангиография
ЛО	– ложноотрицательные
ЛП	– ложноположительные
ЛС/АО	– индекс отношения максимальных диаметров легочного ствола и восходящей аорты
МО	– медицинская организация
МРА	– магнитно-резонансная ангиография
МРТ	– магнитно-резонансная томография
ОГК	– органы грудной клетки
ПЖ	– правый желудочек
ПЭТ	– позитронно-эмиссионная томография
РДС	– Российский диагностический саммит
РОРР	– Российское общество рентгенологов и радиологов
СППВР	– система поддержки принятия врачебных решений
ССЗ	– сердечно-сосудистые заболевания
ТИИ	– технологии искусственного интеллекта
ТТ-ЭхоКГ	– трансторакальная эхокардиография
УЗИ	– ультразвуковое исследование

ФВЛЖ	–	фракция выброса левого желудочка
ФХКП	–	фармакохолодовая кардиоплегия
ХОБЛ	–	хроническая обструктивная болезнь легких
ЭКГ	–	электрокардиография
ЧП-ЭхоКГ	–	чреспищеводная эхокардиография
ЯОП	–	ядерная оценка плотности
4D flow	–	четырёхмерная фазово-контрастная магнитно-резонансная
MR		томография
ASI	–	индекс размера аорты
BSA	–	площадь поверхности тела
DL	–	глубокое обучение
DSC	–	коэффициента Дайса
EACTS	–	Европейская ассоциация кардиоторакальной хирургии
ESC	–	Европейское кардиологическое общество
ERS	–	Европейское респираторное общество
M	–	среднее значение
Me	–	медиана
MBI	–	опросник профессионального выгорания Маслач
NIH	–	Национальные институты здоровья
PFI	–	индекс профессиональной самореализации Стэнфордского университета
Q1	–	первый квартиль
Q3	–	третий квартиль
ROC-AUC(AUROC)	–	от англ. Area Under Receiver Operating Characteristic, площадь под характеристической кривой
SD	–	стандартное отклонение
STS	–	Общество торакальных хирургов США
vs	–	против (от лат. versus)
χ^2	–	критерий хи-квадрат Пирсона (непараметрический метод в статистическом анализе)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 10 ведущих причин смерти в мире // Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения: 12.05.2023).
2. Wang, X. Artificial Intelligence in Image-based Cardiovascular Disease Analysis: A Comprehensive Survey and Future Outlook. / X. Wang, H. Zhu // arXiv preprint arXiv:2402.03394. – 2024. – 23 p.
3. Gouveia e Melo, R. Incidence and Prevalence of Thoracic Aortic Aneurysms: A Systematic Review and Meta-analysis of Population-Based Studies / R. Gouveia e Melo, G.S. Duarte, A. Lopes, et al. // Semin. Thorac. Cardiovasc. Surg. Semin Thorac Cardiovasc Surg. – 2022. – Vol. 34, No. 1. – P. 1–16.
4. Клинические рекомендации. Рекомендации по диагностике и лечению заболеваний аорты (2017) // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. – 2018. – P. Т. 11, № 1. – С. 7–67.
5. Lavall, D. Aneurysms of the ascending aorta / D. Lavall, H.J. Schäfers, M. Böhm, U. Laufs // Dtsch. Arztebl. Int. Dtsch Arztebl Int. – 2012. – Vol. 109, No. 13. – P. 227–233.
6. Galiè, N. ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endor / N. Galiè, M. Humbert, J.L. Vachiery, et al. // Eur. Respir. J. Eur Respir J. – 2015. – Vol. 46, No. 4. – P. 903–975.
7. Zouk, A.N. Pulmonary artery enlargement is associated with pulmonary hypertension and decreased survival in severe cystic fibrosis: A cohort study / A.N. Zouk, S. Gulati, D. Xing et al. // PLoS One. – 2020. – Vol. 15, No. 2. – P. e0229173.
8. Чазова, И.Е. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению легочной гипертензии / И.Е. Чазова, Т.В. Мартынюк, З.С. Валиева, и др. // Евразийский кардиологический журнал. – 2020, № 1. – С. 78–122.

9. Hoeper, M.M. A global view of pulmonary hypertension / M.M. Hoeper, M. Humbert, R. Souza et al. // *Lancet Respir. Med.* Elsevier. –2016. – Vol. 4, No. 4. – P. 306–322.
10. Коденко, М.Р. Точность диагностики ИИ при оппортунистическом скрининге аневризмы брюшной аорты на КТ: систематический обзор и нарративный синтез / М.Р. Коденко, Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, и др. // *Диагностика.* –2022. –Т. 12, № 12. – С. 3197.
11. Eltorai, A.E.M. Primary care provider perspectives on the value of opportunistic CT screening / A.E.M. Eltorai, S.E. McKinney, M A. Rockenbach, et al. // *Clin. Imaging.* Elsevier Inc. – 2024. – Vol. 112. – P. 110210.
12. Law, M. “Opportunistic” screening / M. Law // *J. Med. Screen. J Med Screen.* – 1994. – Vol. 1, No. 4. – P. 208.
13. Нагибина, Ю.В. Медико-социальные особенности больных ишемической болезнью сердца и качество жизни / Ю.В. Нагибина, Л.А. Захарова // *Российский кардиологический журнал.* – 2017. – № 3. – С. 155–159.
14. Czerny, M. EACTS/STS Guidelines for Diagnosing and Treating Acute and Chronic Syndromes of the Aortic Organ / M. Czerny, M. Grabenwöger, T. Berger, et al. // *Ann. Thorac. Surg.* Elsevier. – 2024. – Vol. 118, No. 1. – P. 5–115. – P. ead426.
15. Чернина, В.Ю. Тактика ведения инциденталом. Раздел 3. Щитовидная железа, гипофиз, сосуды и средостение: Методические рекомендации / В.Ю. Чернина, И.А. Блохин, А.Е. Николаев, и др. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2019. – Вып. 37. – С. 60.
16. McClure, R.S. Economic burden and healthcare resource use for thoracic aortic dissections and thoracic aortic aneurysms—a population-based cost-of-illness analysis / R.S. McClure, S.B. Brogly, K. Lajkosz, et al. // *J. Am. Heart Assoc. American Heart Association Inc.* – 2020. – Vol. 9, No. 11. – P. 14981.
17. Авдеев, С.Н. Легочная гипертензия: Руководство для врачей / С.Н. Авдеев, А.В. Волков, В.В. Гайнитдинова, и др.; Под редакцией члена-корреспондента РАН С.Н. Авдеева. – 2-ое издание, перераб. и доп. – М.:

Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2019. – С. 608.

18. Lewis, G. Multi-detector CT assessment in pulmonary hypertension: techniques, systematic approach to interpretation and key findings / G. Lewis, E.T. Hoey, J.H. Reynolds, et al. // Quant. Imaging Med. Surg. AME Publications. – 2015. – Vol. 5, No. 3. – P. 423.

19. Truong, Q.A. Reference Values for Normal Pulmonary Artery Dimensions by Noncontrast Cardiac Computed Tomography / Q.A. Truong, J.M. Massaro, I.S. Rogers, et al. // Circ. Cardiovasc. Imaging. Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD. – 2012. – Vol. 5, No. 1. – P. 147–154.

20. Humbert, M. ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension / M. Humbert, G. Kovacs, M.M. Hoeper, et al. // Eur. Respir. J. European Respiratory Society. – 2023. – Vol. 61, No. 1. – P. 3618–3731.

21. Клинические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение артериальной гипертензии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/159_2 (дата обращения: 20.12.2024).

22. Swift, A.J. Diagnostic accuracy of CT pulmonary angiography in suspected pulmonary hypertension / A.J. Swift, K. Dwivedi, C. Johns, et al. // Eur. Radiol. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. – 2020. – Vol. 30, No. 9. – P. 4918–4929.

23. Sampson, U.K. Global and Regional Burden of Aortic Dissection and Aneurysms: Mortality Trends in 21 World Regions, 1990 to 2010 / U.K. Sampson, P.E. Norman, F.G. Fowkes, et al. // Glob. Heart. No longer published by Elsevier. – 2014. – Vol. 9, No. 1. – P. 171–180.e10.

24. Sampson, U.K. Estimation of Global and Regional Incidence and Prevalence of Abdominal Aortic Aneurysms 1990 to 2010 / U.K. Sampson, P.E. Norman, F.G. Fowkes, et al. // Glob. Heart. No longer published by Elsevier, – 2014. – Vol. 9, № 1. – P. 159–170.

25. Krafcik, B.M. Changes in global mortality from aortic aneurysm / B.M. Krafcik, D.H. Stone, M. Cai, et al. // J. Vasc. Surg. Mosby. – 2024. – Vol. 80, No. 1. –

P. 81-88.e1.

26. McClure, R.S. Epidemiology and management of thoracic aortic dissections and thoracic aortic aneurysms in Ontario, Canada: A population-based study / R.S. McClure, S.B. Brogly, K. Lajkosz, et al. // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* Mosby. – 2018. – Vol. 155, No. 6. – P. 2254–2264.e4.

27. Erbel, R. ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European / R. Erbel, V. Aboyans, C. Boileau, et al. // *Eur. Heart J.* *Eur Heart J.* – 2014. – Vol. 35, No. 41. – P. 2873–2926.

28. Olsson, C. Thoracic Aortic Aneurysm and Dissection / C. Olsson, S. Thelin, E. Ståhle, et al. // *Circulation.* Lippincott Williams & Wilkins. – 2006. – Vol. 114, No. 24. – P. 2611–2618.

29. Elefteriades, J.A. Natural history of thoracic aortic aneurysms: indications for surgery, and surgical versus nonsurgical risks / J.A. Elefteriades // *Ann. Thorac. Surg.* *Ann Thorac Surg.* – 2002. – Vol. 74, No. 5. – P. 1877–1880.

30. Pradella, M. Performance of a deep learning tool to detect missed aortic dilatation in a large chest CT cohort / M. Pradella, R. Achermann, J.I. Sperl, et al. // *Front. Cardiovasc. Med.* *Frontiers Media S.A.* – 2022. – Vol. 9. – P. 972512.

31. Wong, R.H.L. Pocket-Size Mobile Echocardiographic Screening of Thoracic Aortic Aneurysms in Hypertensive Patients / R.H.L. Wong, F. Yang, T. Fujikawa, et al. // *Ann. Thorac. Surg.* Elsevier Inc. – 2021. – Vol. 111, No. 5. – P. 1554–1559.

32. Lum, R.T.W. Screening for thoracic aortic aneurysm / R.T.W. Lum, J.Y.K. Ho, S.C.Y. Chow, et al. // *J. Hong Kong Coll. Cardiol.* *Hong Kong College of Cardiology.* – 2024. – Vol. 31, No. 4. – P. 4.

33. Cho, I.J. Aortic Aneurysm Screening in a High-Risk Population: A Non-Contrast Computed Tomography Study in Korean Males with Hypertension / I.J. Cho, S.Y. Jang, H.J. Chang, et al. // *Korean Circ. J.* *The Korean Society of Cardiology.* – 2014. – Vol. 44, No. 3. – P. 162–169.

34. Kato, K. Assessment of Genetic Risk Factors for Thoracic Aortic Aneurysm in Hypertensive Patients / K. Kato, M. Oguri, N. Kato, et al. // *Am. J. Hypertens. Oxford Academic.* – 2008. – Vol. 21, No. 9. – P. 1023–1027.
35. Mehrabi Nasab, E. Mehrabi Nasab, E. The prevalence of thoracic aorta aneurysm as an important cardiovascular disease in the general population / E. Mehrabi Nasab, S.S. Athari // *J. Cardiothorac. Surg. BioMed Central Ltd.* – 2022. – Vol. 17, No. 1. – P. 1–6.
36. Иртюга, О.Б. Частота выявления аневризмы восходящего отдела аорты и механизм ее развития по данным регистра ФГБУ ФЦСКЭ им. В.А. Алмазова / О.Б. Иртюга, И.В. Воронкина, Л.В. Смагина, и др. // *Бюллетень Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова.* – 2011. – № 5. – С. 73–78.
37. Кузнечевский, Ф.В. Распространенность и природа аневризм и расслоений аорты по данным анализа последовательных патологоанатомических вскрытий в течение десяти лет в ГКБ №15 им. О.М. Филатова / Ф.В. Кузнечевский, А.Х. Осипов, Е.М. Евсиков, и др. // *Российский кардиологический журнал.* – 2004. – Т. 6, № 50. – С. 5–13.
38. Vandroux, D. Normal values of proximal aorta diameters in healthy Sub Saharan Africans: The TAHES study / D. Vandroux, V. Aboyans, Y.C. Houehanou, et al. // *Echocardiography. John Wiley & Sons, Ltd.* – 2022. – Vol. 39, No. 4. – P. 576–583.
39. Ince, H. Etiology, pathogenesis and management of thoracic aortic aneurysm / H. Ince, C.A. Nienaber // *Nat. Clin. Pract. Cardiovasc. Med.* 2007 48. Nature Publishing Group. – 2007. – Vol. 4, No. 8. – P. 418–427.
40. Thompson, J.E. Early history of aortic surgery / J.E. Thompson // *Journal of vascular surgery.* – 1998. – Vol. 28, No. 4. – P. 746–752.
41. Galen, J. Observations on aneurysm / J. Galen, J.E. Erichsen. – UK, London: Sydenham Society, 1944. – 524 p.
42. Leonardo's vision of flow visualization / M. Gharib, D. Kremers, M.M. Koochesfahani, M. Kemp // *Experiments in Fluids.* – 2002. – Vol. 33. – P. 219–223.

43. O'Malley, C.D. Andreas Vesalius of Brussels 1514-1564 / C.D. O'Malley. // Univ of California Press – 1964. – 480 p.
44. Castiglioni, A. A history of medicine / A. Castiglioni, E.B. Krumbhaar. – New York, NY: Alfred A. Knopf, 1941. – 370 p.
45. Lancisi, G.M. De Aneurysmatibus / G.M. Lancisi. – New York, NY: Macmillan, 1952. – 362 p.
46. Руководство / Под ред. А.В.Покровского. В двух томах. – Т. 1. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2004. – С. 808.
47. Erbel, R. Diagnosis and management of aortic dissection: Task Force on Aortic Dissection, European Society of Cardiology / R. Erbel // Eur. Heart J. Oxford Academic. – 2001. – Vol. 22, No. 18. – P. 1642–1681.
48. Goldstein, S.A. Multimodality imaging of diseases of the thoracic aorta in adults: From the American society of echocardiography and the european association of cardiovascular imaging: Endorsed by the society of cardiovascular computed tomography and society for cardiovascular magnetic resonance / S.A. Goldstein, A. Evangelista, S. Abbara, et al. // J. Am. Soc. Echocardiogr. Mosby Inc. – 2015. – Vol. 28, No. 2. – P. 119–182.
49. Lin, Y.T. Identifying Acute Aortic Syndrome and Thoracic Aortic Aneurysm from Chest Radiography in the Emergency Department Using Convolutional Neural Network Models / Y.T. Lin, B.C. Wang, J.Y. Chung // Diagnostics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). – 2024. – Vol. 14, No. 15. – P. 1646.
50. Flachskampf, F.A. Recommendations for transoesophageal echocardiography: update 2010 / F.A. Flachskampf, L. Badano, W.G. Daniel, et al. // Eur. J. Echocardiogr. Eur J Echocardiogr. – 2010. – Vol. 11, No. 7. – P. 557–576.
51. Le Polain De Waroux, J.B. Functional anatomy of aortic regurgitation: accuracy, prediction of surgical repairability, and outcome implications of transesophageal echocardiography / J.B. Le Polain De Waroux, A.C. Pouleur, C. Goffinet, et al. // Circulation. Circulation. – 2007. – Vol. 116, No. 11_supplement. – P. I-264-I-269.

52. Lansac, E. A lesional classification to standardize surgical management of aortic insufficiency towards valve repair / E. Lansac, I. Di Centa, F. Raoux, et al. // *Eur. J. Cardio-Thoracic Surg. Oxford Academic.* – 2008. – Vol. 33, No. 5. – P. 872–880.
53. Рыбакова, М.К. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография / М.К. Рыбакова, М.Н. Алехин, В.В. Митьков. – М.: Видар-М, 2008. – С. 512
54. Roelandt, J.R. Perspectives in cardiac ultrasound / J.R. Roelandt, N. Bruining, N. Bom // *Przegląd lekarski.* – 2002. – Vol. 59, No. 8. – P. 557–561.
55. Гавриленков, В.И. Эхокардиографическая оценка нормальной биомеханики аортального клапана / В.И. Гавриленков, А.А. Кузнецов, В.Е. Перлей // *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* – 2003. – № 2. – С. 89-96.
56. Kallianos, K.G. Imaging Thoracic Aortic Aneurysm / K.G. Kallianos, N.S. Burris // *Radiol. Clin. North Am. Elsevier.* – 2020. – Vol. 58, No. 4. – P. 721–731.
57. Claridge, R. Measuring abdominal aortic diameters in routine abdominal computed tomography scans and implications for abdominal aortic aneurysm screening / R. Claridge, S. Arnold, N. Morrison, A. van Rij // *J. Vasc. Surg. Mosby.* – 2017. – Vol. 65, No. 6. – P. 1637–1642.
58. Hall, T. The role of transesophageal echocardiography in aortic valve preserving procedures / T. Hall, P. Shah, S. Wahi // *Indian Heart J. Elsevier.* – 2014. – Vol. 66, No. 3. – P. 327–333.
59. Lau, C. Imaging for surveillance and operative management for endovascular aortic aneurysm repairs / D.K. Hu, G.T. Pisimisis, R.A. Sheth // *J. Thorac. Dis. AME Publications.* – 2017. – Vol. 9, No. Suppl 4. – P. S309.
60. Николаева, Е.В. МСКТ-ангиография в диагностике врожденных пороков сердца / Е.В. Николаева, Н.В. Нуднов, Д.Г. Тарасов, Г.Г. Кармазановский. // М.: Крафт, 2018. – С. 216
61. Вишнякова, М.В. Мультиспиральная компьютерная томография в оценке аневризм аорты: Учебное пособие / М.В. Вишнякова, М.В. Вишнякова, Р.Н. Ларьков, и др. // М.: ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, 2021. – С.

28.

62. Ким, Г.И. Методы искусственного интеллекта в сердечно-сосудистой хирургии и диагностика патологии аорты и аортального клапана (обзор литературы) / Г.И. Ким, И.С. Блеканов, Ф.В. Ежов, и др. // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2024. – Т. 39, № 2. – С. 36–45.

63. Szymczyk, K. Assessment of aortic valve in regard to its anatomical variants morphology in 2053 patients using 64-slice CT retrospective coronary angiography / K. Szymczyk, M. Polguy, E. Szymczyk, L. Bakon, R. Pachon, L. Stefanczyk // BMC cardiovascular disorders. – 2016. – Vol. 16. – P. 89.

64. Lee, H.Y. Quantification of aortic valve calcifications detected during lung cancerscreening CT helps stratify subjects necessitating echocardiography for aortic stenosis diagnosis / H.Y. Lee, S.M. Kim, K.S. Lee, S.W. Park, M.J. Chung, H. Cho, I.J. Jung, H.W. Jang, S.H. Jung, J. Goo // Medicine. – 2016. – Vol. 95, No. 19. – P. e3710.

65. Белов, Ю.В. Стратегия и тактика инструментального обследования больных с аневризмой грудного и торакоабдоминального отделов аорты / Ю.В. Белов, М.И. Кертес, О.М. Богопольская, Т.Н. Зверхановская, Н.Л. Садовникова // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2005. – № 4. – С. 33–47.

66. Tops, L.F. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement / L.F. Tops, D.A. Wood, V. Delgado, J.D. Schuijff, J.R. Mayo, S. Pasupati, F.P. Lamers, E.E. van der Wall, M.J. Schalij, J.G. Webb, J.J. Bax // JACC Cardiovascular imaging. – 2008. – Vol. 1. – № 3. – P. 321–330.

67. Weinreb, J.C. Use of intravenous gadolinium-based contrast media in patients with kidney disease: Consensus statements from the American college of radiology and the national kidney foundation / J.C. Weinreb, R.A. Rodby, J. Yee, et al. // Radiology. Radiological Society of North America Inc. – 2021. – Vol. 298, No. 1. – P. 28–35.

68. Кобелев, Е. Возможности диагностики: инновационный подход в использовании магнитно-резонансной томографии при аневризме аорты / Е. Кобелев, Н.Т. Пак, Е.Э. Бобрикова, и др. // Digital Diagnostics. – 2022. – Т. 3, № 3.

– C. 332–339.

69. Barker, A.J. Bicuspid aortic valve is associated with altered wall shear stress in the ascending aorta / A.J. Barker, M. Markl, J. Burk, R. Lorenz, J. Bock, S. Bauer S, J. Schulz-Menger, F. von Knobelsdorf-Brenkenhoff // *Circulation Cardiovascular imaging*. – 2012. – Vol. 5, No. 4. – P. 457–466.

70. Тютин, Л.А. Магнитно-резонансная ангиография: этапы развития, диагностические возможности и ограничения / Л.А. Тютин, Е.К. Яковлева // *Медицинская визуализация*. – 2013. – № 2. – С. 29–40.

71. Blockmans, D. Repetitive 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in giant cell arteritis: a prospective study of 35 patients / D. Blockmans, L. de Ceuninck, S. Vanderschueren, D. Knockaert, L. Mortelmans, H. Bobbaers // *Arthritis and rheumatism*. – 2006. – Vol. 55, No.1. – P. 131–137.

72. Walter, M.A. The value of [18F]FDG-PET in the diagnosis of large-vessel vasculitis and the assessment of activity and extent of disease / M.A. Walter, R.A. Melzer, C. Schindler, J. Muller-Brand, A. Tyndall, E.U. Nitzsche // *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. – 2005. – Vol. 32, No. 6. – P. 674–681.

73. Kuehl, H. Detection of inflammation in patients with acute aortic syndrome: comparison of FDG-PET/CT imaging and serological markers of inflammation / H. Kuehl, H. Eggebrecht, T. Boes, G. Antoch, S. Rosenbaum, S. Ladd, A. Bockisch, J. Barkhausen, R. Erbel // *Heart (British Cardiac Society)*. – 2008. – Vol. 94, No. 11. – P. 1472–1477.

74. Tokuda, Y. Detection of thoracic aortic prosthetic graft infection with 18Ffluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography / Y. Tokuda, H. Oshima, Y. Araki, Y. Narita, M. Mutsuga, K. Kato, A. Usui // *European journal of cardio-thoracic surgery: official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. – 2013. – Vol. 43, No. 6. – P. 1183–1187.

75. Fiorucci, B. Thoracic aortic aneurysms - diagnosis and treatment strategies / B. Fiorucci, R. Banafsche, T. Jerkku, M. Pichlmaier, T. Kolbel, B. Rantner, N. Tsilimparis // *Deutsche medizinische Wochenschrift (1946)*. – 2019. – Vol. 144, No.3. – P. 146–151.

76. Francois, C.J. Magnetic resonance imaging clinics of North America / C.J. Francois, J.C. Carr // MRI of the thoracic aorta. – 2007. – Vol. 15, No. 4. – P. 639–651, vii. 360.
77. Feldman, L. Digital subtraction angiography of the chest / L. Feldman // Clinics in chest medicine. – 1984. – Vol. 5, No. 2. – P. 313–328. 361.
78. Rauber, K. Diagnosis of aortic rupture using digital subtraction angiography / K. Rauber, J. Kollath // RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin. – 1983. – Vol. 139, No. 2. – P. 167–170.
79. Lambelin, M. Iatrogenic ascending aorta dissection during diagnostic coronary angiography: rare but life-threatening / M. Lambelin, L. Janssens, L. Haenen // Case reports in cardiology. – 2014. – 2014:809398.
80. Carpenter, S.W. Acute aortic syndromes: definition, prognosis and treatment options / S.W. Carpenter, Y.V. Kodolitsch, E.S. Debus, S. Wipper, N. Tsilimparis, A. Larena-Avellaneda, H. Diener, T. Kolbel // The Journal of cardiovascular surgery. – 2014. – Vol. 55, No. 2 Suppl 1. – P. 133–144.
81. Hannuksela, M. Thoracic aorta – dilated or not? / M. Hannuksela, S. Lundqvist, B. Carlberg // Scand. Cardiovasc. J. Taylor & Francis, – 2006. – Vol. 40, No. 3. – P. 175–178.
82. Rueda-Ochoa, O.L. Thoracic aortic diameter and cardiovascular events and mortality among women and men / O.L. Rueda-Ochoa, L.R. Bons, F. Zhu, et al. // Radiology. – 2022. – Vol. 304, No. 1. – P. 208–215.
83. Davies, R.R. Novel measurement of relative aortic size predicts rupture of thoracic aortic aneurysms / R.R. Davies, A. Gallo, M.A. Coady, et al. // Ann. Thorac. Surg. Elsevier USA. – 2006. – Vol. 81, No. 1. – P. 169–177.
84. Girardi, L.N. Aortic dimensions as predictors of adverse events / L.N. Girardi, C. Lau, Gambardella I. // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. Mosby Inc. – 2021. – Vol. 161, No. 4. – P. 1193–1197.
85. Gabbay, E. Review of bosentan in the management of pulmonary arterial hypertension / E. Gabbay, J. Fraser, K. McNeil // Vascular health and risk management. – 2007. – T. 3, № 6. – C. 887–900.

86. Чазова, И.Е. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению легочной гипертензии / И.Е. Чазова, Т.В. Мартынюк, З.С. Валиева, и др. // Евразийский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 0, № 1. – С. 78–122.
87. Мартынюк, Т.В. Легочная гипертензия: диагностика и лечение / Т.В. Мартынюк. – М.: Издательство «Медицинское информационное агентство», 2018. – С. 304.
88. Алиев, А.Ф. Оценка диаметра легочной артерии при различной степени тяжести течения COVID-19 (по данным бесконтрастной компьютерной томографии легких) / А.Ф. Алиев, Н.Д. Кудрявцев, А.В. Петрайкин, и др. // Digital Diagnostics. – 2021. – Т. 2, № 3. – С. 249–260.
89. Чучалин, А.Г. Хронические респираторные заболевания и факторы риска в 12 регионах Российской Федерации / А.Г. Чучалин, Н. Халтаев, Н.С. Антонов, и др. // Международный журнал хронической обструктивной болезни легких. Dove Press. – 2014. – Т. 9, № 1. – С. 963–974.
90. Авдеев, С.Н. Клинические рекомендации. Хроническая обструктивная болезнь легких / С.Н. Авдеев, З.Р. Айсанов, А.С. Белевский, и др. // Российское респираторное общество. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – М.: Атмосфера, 2007. – 237 с.
91. Hoeper, M.M. Die pulmonale Hypertonie - Historische Entwicklung, derzeitiger Stand der Therapie und Ausblick / M.M. Hoeper // Pneumologie. © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York, – 2010. – Vol. 64, No. 9. – P. 577–582.
92. Клименко, А.А. Лечение легочной артериальной гипертензии: актуальные вопросы / А.А. Клименко, Н.А. Шостак, Д.Ю. Андрияшкина, А.А. Кондрашов // Кардиология: новости, мнения, обучение. – 2019. – Т. 7, № 3 (22). – С. 46–55.
93. Galiè, N. The Fifth World Symposium on Pulmonary Hypertension / N. Galiè, G. Simonneau // J. Am. Coll. Cardiol. Elsevier, – 2013. – Vol. 62, No. 25. – P. D1–D3.
94. Badesch, D.B. Pulmonary arterial hypertension: Baseline characteristics from the REVEAL registry / D.B. Badesch, G.E. Raskob, C.G. Elliott, et al. // Chest.

American College of Chest Physicians. – 2010. – Vol. 137, No. 2. – P. 376–387.

95. Hoeper, M.M. Definitions and Diagnosis of Pulmonary Hypertension / M.M. Hoeper, H.J. Bogaard, R. Condliffe, et al. // J. Am. Coll. Cardiol. Elsevier. – 2013. – Vol. 62, No. 25. – P. D42–D50.

96. Brown, L.M. Delay in recognition of pulmonary arterial hypertension: Factors identified from the REVEAL registry / L.M. Brown, H. Chen, S. Halpern, et al. // Chest. American College of Chest Physicians. – 2011. – Vol. 140, No. 1. – P. 19–26.

97. Ascha, M.A review of imaging modalities in pulmonary hypertension / M. Ascha, R.D. Renapurkar, A.R. Tonelli // Ann. Thorac. Med. Medknow Publications. – 2017. – Vol. 12, No. 2. – P. 61–73.

98. Chiu, K.W.H. Ultrasound Measurement for Abdominal Aortic Aneurysm Screening: A Direct Comparison of the Three Leading Methods / K.W.H. Chiu, L. Ling, V. Tripathi, M. Ahmed, V. Shrivastava // Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. W.B. Saunders. – 2014. – Vol. 47, No. 4. – P. 367–373.

99. Topyła-Putowska, W. Echocardiography in Pulmonary Arterial Hypertension: Comprehensive Evaluation and Technical Considerations / W. Topyła-Putowska, M. Tomaszewski, A. Wysokiński, A. Tomaszewski // J. Clin. Med. – 2021. – Vol. 10, No. 15. – P. 3229.

100. Синицын, В.Е. Лучевые методы диагностики легочной гипертензии. Рентгенологическое исследование / В.Е. Синицын, И.З. Коробкова, Е.А. Мершина. – М.: КДУ, 2024. – 64 с.

101. Захари, А.Р. Возможности КТ с контрастным усилением для сочетанной диагностики тромбоэмболии легочной артерии / А.Р. Захари, И.Е. Тюрин, А.В. Петрайкин, Н.Б. Петрова // Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов : Сб. тезисов, М., 08–10 ноября 2022 г. – СПб.: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье», 2022. – С. 77–78.

102. Dwivedi, K. Pulmonary Hypertension in Association with Lung Disease: Quantitative CT and Artificial Intelligence to the Rescue? State-of-the-Art Review / K. Dwivedi, M. Sharkey, R. Condliffe, et al. // Diagnostics. – 2021. – Vol. 11. – P. 679.

103. Nakanishi, R. Mortality Risk as a Function of the Ratio of Pulmonary Trunk to Ascending Aorta Diameter In Patients With Suspected Coronary Artery Disease / R. Nakanishi, J.S. Rana, A. Shalev, et al. // *Am. J. Cardiol. Excerpta Medica.* – 2013. – Vol. 111, No. 9. – P. 1259–1263.

104. Lee, S.H. Comparison of CT-Determined Pulmonary Artery Diameter, Aortic Diameter, and Their Ratio in Healthy and Diverse Clinical Conditions / S.H. Lee, Y.J. Kim, H.J. Lee, et al. // *PLoS One. Public Library of Science.* – 2015. – Vol. 10, No. 5. – P. e0126646.

105. Raju, S.N. Pulmonary Arterial Dilatation: Imaging Evaluation Using Multidetector Computed Tomography / S.N. Raju, N.N. Pandey, A. Sharma, et al. // *Indian J. Radiol. Imaging. Georg Thieme Verlag.* – 2021. – Vol. 31, No. 2. – P. 409–420.

106. Spagnolo, P. CT-derived pulmonary vascular metrics and clinical outcome in COVID-19 patients / P. Spagnolo, A. Cozzi, R.A. Foà, et al. // *Quant. Imaging Med. Surg. AME Publications.* – 2020. – Vol. 10, No. 6. – P. 1325.

107. Markl, M. 4D flow imaging—state of the art / M. Markl, M.D. Hope // *Ann. Cardiothorac. Surg. AME Publishing Company.* – 2022. – Vol. 11, No. 4. – P. 46869–46469.

108. Dangelmaier, J. Experimental feasibility of spectral photon-counting computed tomography with two contrast agents for the detection of endoleaks following endovascular aortic repair / J. Dangelmaier, D. Bar-Ness, H. Daerr, et al. // *European radiology.* – 2018. – Vol. 28. – P. 3318-3325.

109. Silaschi, M. Aortic dissection: medical, interventional and surgical management / M. Silaschi, J. Byrne, O. Wendler // *Heart.* – 2017. – Vol. 103, No. 1. – P. 78–87.

110. Dux-Santoy, L. Registration-based semi-automatic assessment of aortic diameter growth rate from contrast-enhanced computed tomography outperforms manual quantification / L. Dux-Santoy, J.F. Rodríguez-Palomares, G. Teixidó-Turà, et al. // *European Radiology.* – 2022. – P. 1–13.

111. Соловьёв, А.В. Диагностика аневризм грудного отдела аорты и

патологического расширения легочного ствола с использованием компьютерной томографии органов грудной клетки и искусственного интеллекта: современные подходы и перспективы / А.В. Соловьёв, В.Е. Сеницын, А.В. Владзимирский, А.П. Памова // Digital Diagnostics. – 2025. – Т. 6, № 2. – С. 286–301.

112. Соловьёв, А.В. Вклад систем искусственного интеллекта в улучшение выявления аневризм аорты по данным компьютерной томографии грудной клетки / А.В. Соловьёв, Ю.А. Васильев, В.Е. Сеницын, А.В. Петрайкин, А.В. Владзимирский, И.М. Шулькин, Д.Е. Шарова, Д.С. Семенов // Digital Diagnostics. – 2024. – Т. 5, № 1. – С. 29–40.

113. Соловьёв, А.В. Эпидемиологический анализ распространенности дилатации легочного ствола в Москве: автоматизированный анализ изображений компьютерной томографии / А.В. Соловьёв, В.Е. Сеницын, М.В. Соколова, Н.Д. Кудрявцев, А.В. Владзимирский, Д.С. Семенов, и др. // Digital Diagnostics. – 2024. – Т. 5, № S1. – С. 152–154.

114. Соловьёв, А.В. Популяционное исследование расширения легочного ствола у населения г. Москвы на основе автоматизированного анализа результатов лучевых исследований / А.В. Соловьёв, Ю.А. Васильев, В.Е. Сеницын, А.В. Владзимирский, Г.В. Иванова // Лучевая диагностика и терапия. – 2024. – Т.15, № 4. – С. 87–97.

115. Соловьёв, А.В. Автоматизированная диагностика аневризм грудной аорты на основании данных компьютерной томографии грудной клетки: популяционное исследование в Москве / А.В. Соловьёв, Ю.А. Васильев, В.Е. Сеницын, А.В. Владзимирский, Д.С. Семенов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2024. – Т.105, № 2. – С. 58–74.

116. Соловьёв, А.В. Применение искусственного интеллекта для диагностики аневризмы грудного отдела аорты при ретроспективном анализе компьютерных томограмм органов грудной клетки / А.В. Соловьёв, В.Е. Сеницын, А.В. Петрайкин, А.В. Владзимирский, Р.В. Решетников // Digital Diagnostics. – 2023. – Т. 4, № S1. – С. 122–124.

117. Mintz, Y. Introduction to artificial intelligence in medicine / Y. Mintz, R.

Brodie // *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.* Taylor & Francis. – 2019. – Vol. 28, No. 2. – P. 73–81.

118. Гончаров, М. КТ-основанная сортировка COVID-19: глубокое многозадачное обучение улучшает совместную идентификацию и количественную оценку тяжести / М. Гончаров, М. Писов, А. Шевцов, и др. // *Medical Image Analysis*. 2021. – Т. 71. – С. 102054.

119. Петряйкин, А.В. Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза / А.В. Петряйкин, З.Р. Артюкова, Л.А. Низовцова, и др. // *Менеджер здравоохранения*. – 2021. – № 2. – С. 31–39.

120. Mets, O.M. Computed Tomographic Screening for Lung Cancer: An Opportunity to Evaluate Other Diseases / O.M. Mets, P.A. De Jong, M. Prokop // *JAMA. American Medical Association*. – 2012. – Vol. 308, № 14. – P. 1433–1434.

121. Patel, K. Diabetes Mellitus: Is It Protective against Aneurysm? A Narrative Review / K. Patel, M.A. Zafar, B.A. Ziganshin, J.A. Elefteriades // *Cardiology*. S. Karger AG. – 2018. – Vol. 141, No. 2. – P. 107–122.

122. Song, L. Cardiovascular Changes in Patients With COVID-19 From Wuhan, China / L. Song, S. Zhao, L. Wang, et al. // *Front. Cardiovasc. Med.* Frontiers Media S.A. – 2020. – Vol. 7. – P. 566484.

123. Ostberg, N.P. The Genetics of Thoracic Aortic Aneurysms and Dissection: A Clinical Perspective / N.P. Ostberg, M.A. Zafar, B.A. Ziganshin, J.A. Elefteriades // *Biomol.* – 2020. – Vol. 10. – P 182.

124. Владзимирский, А. В. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента / А. В. Владзимирский, Ю. А. Васильев, К. М. Арзамасов, и др. – 2-е издание. – М.: Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2023. – 388 с.

125. Васильев, Ю.А. Основопологающие принципы стандартизации и систематизации информации о наборах данных для машинного обучения в медицинской диагностике / Ю.А. Васильев, Т.М. Бобровская, К.М. Арзамасов и др. // *Менеджер здравоохранения*. – 2023. – № 4. – С. 28–41.

126. Свид-во о гос. регистрации базы данных 2023621254 Российская

Федерация. MosMedData: КТ с отсутствием и наличием признаков расширения легочного ствола / А.В. Владзимирский, А.Е. Андрейченко, А.В. Соловьев, В.А. Гомболевский, К.М. Арзамасов, С.Ф. Четвериков, Т.М. Бобровская, И.М. Шулькин, О.В. Омелянская, С.С. Семенов, В.П. Новик, Н.А. Павлов; заявитель и правообладатель: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; № 2023620626; заявл. 10.03.23 : опубл. 18.04.23.

127. Babu, A. How common is aortic dilatation? / A. Babu, Z. Meng, O. Oji, T.J. Bowker, H.B. Xiao // Eur. Hear. J. – Cardiovasc. Imaging. Oxford Academic. – 2021. – Vol. 22, № Supplement_1. – P. i. 21.

128. Sharkey, M.J. Applications of artificial intelligence in computed tomography imaging for phenotyping pulmonary hypertension / M.J. Sharkey, E.W. Checkley, A.J. Swift // Curr. Opin. Pulm. Med. Lippincott Williams and Wilkins, 2024. – Vol.30, No. 5 – P. 464–472.

129. Солодкий, В.А. Современные системы поддержки принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта для анализа цифровых маммографических изображений. / В.А. Солодкий, А.Д. Каприн, Н.В. Нуднов, и др. // Вестник рентгенологии и радиологии.– 2023. – Т. 104, № 2. – С. 151–162.

130. Khalifa, M. AI in diagnostic imaging: Revolutionising accuracy and efficiency / M. Khalifa, M. Albadawy // Comput. Methods Programs Biomed. Updat. Elsevier. – 2024. – P. 100146.

131. Gala, D. The role of artificial intelligence in improving patient outcomes and future of healthcare delivery in cardiology: a narrative review of the literature / D. Gala, H. Behl, M. Shah, A.N. Makaryus // Healthcare. – MDPI, 2024. – Vol. 12, No. 4. – P. 481.

132. Wang, Y.R. Screening and diagnosis of cardiovascular disease using artificial intelligence-enabled cardiac magnetic resonance imaging / Y.R. Wang, K. Yang, Y. Wen, et al. // Nat. Med. 2024 305. Nature Publishing Group. –2024. – Vol. 30, No. 5. –P. 1471–1480.

133. Mori, M. Prevalence of Incidentally Identified Thoracic Aortic Dilations: Insights for Screening Criteria / M. Mori, S.U.B. Mahmood, S. Yousef, et al. // *Can. J. Cardiol. Elsevier.* – 2019. – Vol. 35, No. 7. – P. 892–898.
134. Jiang, H. Sex-related differences in outcome of thoracic aortic surgery / H. Jiang, H. Xu, Z. Xu // *J. Cardiothorac. Surg. BioMed Central Ltd.* – 2024. – Vol. 19, No. 1. – P. 226.
135. Cheung, K. Thoracic aortic aneurysm growth: Role of sex and aneurysm etiology / K. Cheung, M. Boodhwani, K.L. Chan, et al. // *J. Am. Heart Assoc. John Wiley and Sons Inc.* – 2017. – Vol. 6, No. 2. – P. e003792.
136. Cayne, N.S. Variability of maximal aortic aneurysm diameter measurements on CT scan: significance and methods to minimize / N.S. Cayne, F.J. Veith, E.C. Lipsitz, et al. // *Journal of vascular surgery.* – 2004. – Vol. 39, No. 4. – P. 811–815.
137. Isselbacher, E.M. Thoracic and abdominal aortic aneurysms / E.M. Isselbacher // *Circulation. Lippincott Williams & Wilkins.* – 2005. – Vol. 111, No. 6. – P. 816–828.
138. Sedghi Gamechi, Z. Automated 3D segmentation and diameter measurement of the thoracic aorta on non-contrast enhanced CT / Z. Sedghi Gamechi, L.R. Bons, M. Giordano, et al. // *Eur. Radiol. Springer Verlag.* – 2019. – Vol. 29. – P. 4613–4623.
139. Monti, C.B. Evaluating the Performance of a Convolutional Neural Network Algorithm for Measuring Thoracic Aortic Diameters in a Heterogeneous Population / C.B. Monti, M. van Assen, A.E. Stillman, et al. // *Radiol. Artif. Intell. Radiological Society of North America Inc.* – 2022. – Vol. 4, No. 2. – P. e210196.
140. Hamelink, I.I. Validation of an AI-based algorithm for measurement of the thoracic aortic diameter in low-dose chest CT / I.I. Hamelink, E.E.J. de Heide, T.T. Kwee, et al. // *Eur. J. Radiol. Elsevier.* – 2023. – Vol. 167. – P. 111067.
141. Kim, J. Abstract 17842: 3D Visualization and Quantitative Assessment of the Pulmonary Arteries on CT Using Deep Learning Segmentation / J. Kim, D. Gupta, M. LeComte, et al. // *Circulation. Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD.* –

2023. – Vol. 148, No. Suppl_1. – P. A17842-A17842.

142. 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, и др. // Digital Diagnostics. – 2024. – Т. 5. – № 3. – С. 505–518.

143. Васильев, Ю.А. Значение технологий искусственного интеллекта для профилактики дефектов в работе врача-рентгенолога / Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, Д.В. Бондарчук, Д.Д. Кожихина, Р.В. Решетников, И.А. Блохин, А.В. Соловьев, Д.В. Гатин // Врач и информационные технологии. – 2025. – № 2. – С. 16–29.

144. Fihn, S.D. FACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease / S.D. Fihn, J.M. Gardin, J. Abrams, et al. // Circulation. Lippincott Williams & Wilkins Hagerstown, MD. – 2012. – Vol. 126, No. 25. – P. e44-e164.

145. Grundy, S.M. 2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline on the Management of Blood Cholesterol: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines / S.M. Grundy, N.J. Stone, A.L. Bailey, et al. // J. Am. Coll. Cardiol. American College of Cardiology Foundation Washington, D.C. – 2019. – Vol. 73, No. 24. – P. 3168–3209.

146. Knuuti, J. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC) / J. Knuuti, W. Wijns, A. Saraste, et al. // Eur. Heart J. Oxford Academic. – 2020. – Vol. 41, No. 3. – P. 407–477.

147. Liu, F. The application of artificial intelligence to chest medical image analysis / F. Liu, J. Tang, J. Ma, et al. // Intell. Med. Elsevier. – 2021. – Vol. 1, No. 3. – P. 104–117.

148. Better care for more people - 2024 global report | Philips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.philips.com/a-w/about/news/future-health-index/reports/2024/better-care-for-more-people> (дата обращения: 22.08.2024).

149. How can automation and generative AI address critical care gaps? | AuntMinnieEurope [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.auntminnieeurope.com/imaging-informatics/artificial-intelligence/article/15678197/philips-how-can-automation-and-generative-ai-address-critical-care-gaps?braze_int_id=644ede4f3c08060001788761&braze_ext_id=6430329a19ef38833c562587 (дата обращения: 22.08.2024).

150. Rosenkrantz, A.B. Radiologist workforce attrition from 2019 to 2024: a national Medicare analysis / A.B. Rosenkrantz, R.W. Cummings // Radiology. – 2024. – Т. 312, No. 1. – P. e240632.

151. Thakore, N.L. Best practices: burnout is more than binary / N.L. Thakore, M. Lan, A.F. Winkel, et al. // American Journal of Roentgenology. – 2024. – Т. 223, No. 4. – P. e2431111.

152. Yacoub, B. Impact of Artificial Intelligence Assistance on Chest CT Interpretation Times: A Prospective Randomized Study / B. Yacoub, A. Varga-Szemes, U.J. Schoepf, et al. // Am. J. Roentgenol. American Roentgen Ray Society. – 2022. – Vol. 219, No. 5. – P. 743–751.

153. О внедрении технологий искусственного интеллекта как стратегическом направлении цифровой трансформации здравоохранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webiomed.ru/blog/o-vnedrenii-tekhnologii-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения: 22.08.2024).

154. Behzad, S. Pitfalls in interpretive applications of artificial intelligence in radiology / S. Behzad, S.M.H. Tabatabaei, M.Y. Lu, et al. // American Journal of Roentgenology. – 2024. – Т. 223, No. 4. – P. e2431493.

155. Vasan, R.S. Biomarkers of cardiovascular disease: Molecular basis and practical considerations / R.S. Vasan // Circulation. Lippincott Williams & Wilkins. – 2006. – Vol. 113, No. 19. – P. 2335–2362.

156. Urbanowicz, T. Demographical and Clinical Factors Predictive for Aortic Dilatation. When should we be Concerned about the Size? / T. Urbanowicz, J. Rajewska-Tabor, A. Olasińska-Wiśniewska, et al. // *Rev. Cardiovasc. Med.* IMR Press Limited. – 2024. – Vol. 25, No. 5. – P. 150.

157. Elefteriades, J.A. Thoracic Aortic Aneurysm: Reading the Enemy's Playbook / J.A. Elefteriades // *Curr. Probl. Cardiol.* Mosby. – 2008. – Vol. 33, No. 5. – P. 203–277.

158. Васильев, Ю.А. Обзор метаанализов о применении искусственного интеллекта в лучевой диагностике / Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, О.В. Омелянская, и др. // *Медицинская визуализация [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <https://medvis.vidar.ru/jour/article/view/1425> (дата обращения: 19.09.2024).

159. Клинические рекомендации по диагностике и лечению аневризм грудной и торакоабдоминальной аорты / Министерство здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://racvs.ru/clinic/files/2016/abdominal-aortic-aneurysm.pdf> (дата обращения: 12.05.2023).

160. Документы по эксперименту mosmed.ai [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mosmed.ai/ai/docs/> (дата обращения: 16.06.2023).

161. Каталог ИИ сервисов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mosmed.ai/service_catalog/?search=&modality=3&research_area=1&pathology=13 (дата обращения: 08.08.2023).

162. Бобровская, Т.М. Объем выборки для оценки диагностической точности программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике / Т.М. Бобровская, Ю.А. Васильев, Н.Ю. Никитин, и др. // *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. – 2024. – Т. 39, № 3. – С. 188–198.

163. Васильев, Ю.А. Методология тестирования и мониторинга программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта для медицинской диагностики / Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, О.В. Омелянская, и др. // *Digital Diagnostics*. – 2023. – Т. 4, №3. – С. 252–267.

164. Васильев, Ю.А. Клинические испытания систем искусственного интеллекта (лучевая диагностика). / Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, Д.Е. Шарова, и др. //Серия "Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики" – Вып. 113. – 2-е изд., перераб. и доп. – М : ГБУЗ «НПКЦ ДИТ ДЗМ», 2023. – 40 с.

165. Nahm, F.S. Receiver operating characteristic curve: overview and practical use for clinicians / F.S. Nahm // Korean J. Anesthesiol. Korean Society of Anesthesiologists. – 2022. – Vol. 75, No. 1. – P. 25–36.

166. Население [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://77.rosstat.gov.ru/folder/64634> (дата обращения: 03.03.2024).

167. Hager, A. Diameters of the thoracic aorta throughout life as measured with helical computed tomography / A. Hager, H. Kaemmerer, U. Rapp-Bernhardt, et al. // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. Mosby. – 2002. – Vol. 123, No. 6. – P. 1060–1066.

168. Васильев, Ю.А. Основополагающие принципы стандартизации и систематизации информации о наборах данных для машинного обучения в медицинской диагностике / Ю.А. Васильев, Т.М. Бобровская, К.М. Арзамасов, и др. // Менеджер здравоохранения. – 2023. – №. 4. – С. 28-41.

169. Четвериков, С.Ф. Подходы к формированию выборки для контроля качества работы систем искусственного интеллекта в медико-биологических исследованиях / С.Ф. Четвериков, К.М. Арзамасов, А.Е. Андрейченко, и др. // Современные технологии в медицине. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 19–27.

170. Зинченко, В.В. Методология проведения пострегистрационного клинического мониторинга для программного обеспечения с применением технологий искусственного интеллекта / В.В. Зинченко, К.М. Арзамасов, С.Ф. Четвериков, и др. // Современные технологии в медицине. – 2022. –Т. 14, № 5. – С. 15–25.

171. Pearce, W.H. Aortic diameter as a function of age, gender, and body surface area / W.H. Pearce, M.S. Slaughter, S. LeMaire, et al. // Surgery. – 1993. – Vol. 114, No. 4. – P. 691–697.

172. Etli, M. Investigation of the correlation between cardiac parameters and

aortic diameter in patients with ascending aortic aneurysm / M. Etli, S. Avnioglu, H. Yilmaz, O. Karahan // *The Egyptian Heart Journal*. – 2022. – Vol. 74, No. 1. – P. 3.

173. Чернина, В.Ю. Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок по данным компьютерной томографии органов грудной клетки / В.Ю. Чернина, М.Г. Беляев, А.Ю. Силин и др. // *Digital Diagnostics*. – 2023. – Т. 4, №. 2. – С. 105–132.

174. Macruz, F.B.C. Bezerra de Carvalho Macruz F. Quantification of the Thoracic Aorta and Detection of Aneurysm at CT: Development and Validation of a Fully Automatic Methodology / F.B.C. Macruz, C. Lu, J. Strout, A. Takigami, et al. // *Radiol. Artif. Intell. Radiological Society of North America Inc.* –2022. –Vol. 4, No. 2. – P. e210076

175. Adam, C. Pre-surgical and Post-surgical Aortic Aneurysm Maximum Diameter Measurement: Full Automation by Artificial Intelligence / C. Adam, D. Fabre, J. Mougin, et al. // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. W.B. Saunders Ltd.* – 2021. –Vol. 62, No. 6. – P. 869–877.

176. Владзимирский, А.В. Эффективность применения технологий искусственного интеллекта для двойных описаний результатов профилактических исследований легких / А.В. Владзимирский, Н.Д. Кудрявцев, Д.Д. Кожихина, и др. // *Профилактическая медицина*. – 2022. – Т. 25, №. 7. – С. 7–15.

177. Rodriguez-Ruiz, A. Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists / A. Rodriguez-Ruiz, K. Lång, A. Gubern-Merida, et al. // *J. Natl. Cancer Inst. J Natl Cancer Inst.* – 2019. – Vol. 111, No. 9. – P. 916–922.

178. Rueckel, J. Artificial intelligence assistance improves reporting efficiency of thoracic aortic aneurysm CT follow-up / J. Rueckel, P. Reidler, N. Fink, et al. // *Eur. J. Radiol. Eur J Radiol.* – 2021. –Vol. 134. – P. 109424.

179. Tang, A. Canadian Association of Radiologists White Paper on Artificial Intelligence in Radiology / A. Tang, R. Tam, A. Cadrin-Chênevert, et al. // *Can. Assoc. Radiol. J. Can Assoc Radiol J.* – 2018. – Vol. 69, No. 2. – P. 120–135.

180. Свид-во о гос. регистрации базы данных 2023621046 Российская Федерация. MosMedData: КТ с признаками аневризмы брюшного отдела аорты / Ю.А. Васильев, Е.В.Туравилова, И.М. Шулькин, и др.; заявитель и правообладатель: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»; № 2023620795; заявл. 24.03.23 : опубл. 30.03.23.

181. Морозов, С.П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма / С.П. Морозов, А.Н. Шапиева, Б.Я. Наркевич, и др. // М.: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, 2020.

182. Гусев, А.В. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года / А.В. Гусев, А.В. Владзимирский, Д.Е. Шарова и др. // Digital Diagnostics. – 2022. – Т. 3, № 3. – С. 178–194.

183. Масленникова, Г.Я. Профилактика неинфекционных заболеваний как возможность увеличения ожидаемой продолжительности жизни и здорового долголетия / Г.Я. Масленникова, Р.Г. Оганов // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 5–12.

184. Galiè, N. ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS) / N. Galiè, M. Humbert, J.-L. Vachiery, et al. // European Respiratory Journal. – 2015. – Vol. 46, No. 6. – P. 1855–1856.

185. Lõpez-Campos, J.L. Global burden of COPD / J.L. Lõpez-Campos, W. Tan, J.B. Soriano // Respirology. – 2016. – Vol. 21, No. 1. – P. 14-23.

186. Iyer, A.S. CT scan-measured pulmonary artery to aorta ratio and echocardiography for detecting pulmonary hypertension in severe COPD / A.S. Iyer, J.M. Wells, S. Vishin et al. // Chest. –2014. – Vol. 145, No. 4. – P. 824–832.

187. Pulmonary artery enlargement and mortality risk in moderate to severe

COPD: Results from COPDGene / D.C. LaFon, S.P. Bhatt, W.W. Labaki, et al. // *Eur. Respir. J.* – 2020. – Vol. 55, No. 2. – P. 1901812.

188. Wells, J.M. Pulmonary arterial enlargement and acute exacerbations of COPD / J.M. Wells, G.R. Washko, M.K. Han, et al. // *N. Engl. J. Med.* *N Engl J Med.* – 2012. – Vol. 367, No. 10. – P. 913–921.

189. Chen, H. Pulmonary artery enlargement predicts poor survival in patients with COPD: A meta-analysis / H. Chen, T. Shu, L. Wang, et al. // *Pulm. Circ.* – 2022. – Vol. 12, No. 3. – P. e12099.

190. Terzikhan, N. Pulmonary artery to aorta ratio and risk of all-cause mortality in the general population: The Rotterdam Study / N. Terzikhan, D. Bos, L. Lahousse, et al. // *Eur. Respir. J.* – 2017. – Vol. 49, No. 6. – P.1602168.

191. Wade, R.C. Pulmonary artery enlargement is associated with exacerbations and mortality in ever-smokers with preserved ratio impaired spirometry / R.C. Wade, J.P. Simmons, A. Boueiz, et al. // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2021. – Vol. 204, No. 4. – P. 481–485.

192. Zhu, Q.Q. Pulmonary artery trunk enlargement on admission as a predictor of mortality in in-hospital patients with COVID-19 / Q.Q. Zhu, T. Gong, G.Q. Huang, et al. // *Jpn. J. Radiol. Springer Japan*, – 2021. – Vol. 39, No. 6. – P. 589–597.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Шаблон протокола исследования КТ ОГК

Легочная паренхима: Пневматизация легочной паренхимы не изменена. Легочный рисунок — без особенностей. Очаговых и инфильтративных изменений в паренхиме легких не выявлено.

Трахея и бронхи: Трахея и главные бронхи не расширены. Корни легких не расширены, структурны.

Средостение и сердце: Средостение не смещено, структуры его дифференцированы. Сердце обычно расположено, не увеличено. Перикард не утолщен, в полости его жидкость не определяется.

Магистральные сосуды: Грудная аорта: Восходящий отдел: ____ мм (норма до 40 мм). Нисходящий отдел: ____ мм (норма до 30 мм). Легочный ствол: ____ мм (норма до 29 мм).

Примечание: Рекомендуется использовать данные ТИИ для измерения диаметров магистральных сосудов и сравнения с нормативными показателями.

Плевральные полости: Плевральные листки не утолщены, выпота в плевральных полостях не выявлено.

Лимфатические узлы: Увеличенных внутригрудных и подмышечных лимфоузлов не выявлено.

Костные структуры и мягкие ткани грудной клетки: Костные структуры и мягкие ткани грудной клетки — без патологических изменений.

Заключение:

Органических изменений в органах грудной клетки не выявлено. Использовать результаты анализа ТИИ для финального заключения. При выявлении патологий магистральных сосудов — Диаметр восходящей аорты и/или легочного ствола превышает нормальные значения: Да/Нет. Рекомендации: Повторное исследование, консультация кардиолога/сосудистого хирурга.