Аннотация
к диссертации Сарсембаевой Талшын Сағдатбекқызы
на соискание степени доктора философии (PhD) по
образовательной программе
«8D06114 – Искусственный интеллект в медицине»
на тему «Машинная диагностика медицинских изображений и её адаптация к потребностям популяционного скрининга на примере хронической обструктивной болезни лёгких»

Актуальность темы исследования. Хроническая обструктивная болезнь лёгких является одной из значимых медико-социальных проблем современной медицины, поскольку характеризуется высокой распространённостью, длительным прогрессирующим течением, снижением качества жизни пациентов и существенным вкладом в структуру хронической заболеваемости. Особенность ХОБЛ состоит в том, что заболевание длительное время может протекать с малоспецифическими симптомами, тогда как структурные изменения лёгочной ткани формируются до выраженного клинического ухудшения. В связи с этим раннее выявление признаков поражения лёгочной паренхимы имеет принципиальное значение для своевременного наблюдения, уточняющей диагностики и профилактики прогрессирования заболевания.

Классическим функциональным методом подтверждения ХОБЛ остаётся спирометрия, однако она не позволяет напрямую оценить морфологический субстрат заболевания. Компьютерная томография, напротив, обеспечивает визуализацию структурных изменений лёгочной ткани, включая эмфизематозную деструкцию, низкоплотные участки паренхимы, признаки гиперинфляции и региональную неоднородность поражения. Поэтому КТ-изображения представляют собой важный источник данных для автоматизированного анализа признаков эмфиземы как одного из морфологических компонентов ХОБЛ.

Особое значение в автоматическом анализе КТ имеет количественная компьютерная томография. Показатели LAA%-950, Perc15, Mean HU и TLV позволяют формализовать плотностные и объёмные характеристики лёгочной ткани. При этом изолированное использование QCT-показателей имеет ограничения, поскольку результаты зависят от параметров сканирования, уровня вдоха, качества сегментации, шума изображения и выбранных пороговых значений. Кроме того, простая пороговая денситометрия не всегда отражает сложную пространственную и текстурную организацию эмфизематозных изменений.

Развитие методов глубокого обучения создаёт возможность извлекать из КТ-изображений латентные визуально-текстурные признаки, которые не сводятся к одному порогу плотности. Вместе с тем полностью нейросетевые модели часто недостаточно интерпретируемы, что ограничивает их применение в медицинской практике. Поэтому актуальным является подход, объединяющий нейросетевые признаки и физически интерпретируемые QCT-

показатели. В данной работе такая идея реализуется через совместное использование эмбеддингов ResNet-152 и количественных КТ-дескрипторов.
Актуальность диссертационной работы заключается в разработке модифицированного метода машинной диагностики КТ-изображений, ориентированного на автоматическое выявление признаков эмфизематозных изменений и потенциальную адаптацию к задачам массового популяционного скрининга.

Цель исследования — разработка системы автоматического выявления признаков хронической обструктивной болезни лёгких по данным КТ-изображений с помощью модифицированного метода машинной диагностики, ориентированного на массовый популяционный скрининг.

Задачи исследования:

Провести анализ латентного слоя предобученной ResNet-152 для получения сокращённого подмножества признаков при сохранении диагностической эффективности.

Реализовать стратегию автоматической разметки данных на основе количественного анализа КТ с использованием QCT-показателей.

Разработать модифицированный метод, объединяющий эмбеддинги ResNet-152 и автоматическую аннотацию по QCT, для выявления признаков эмфиземы лёгких по КТ-изображениям в условиях масштабируемого скринингового сценария.

Разработать прототип системы автоматического выявления признаков эмфиземы по данным КТ-изображений на основе предложенного модифицированного метода.

Объектом исследования является процесс автоматического выявления признаков эмфиземы по данным КТ изображений.

Предметом исследования является модификация метода автоматического выявления признаков хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ) по данным КТ изображений.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и экспериментальной проверке метода автоматического выявления признаков эмфиземы по КТ-изображениям, основанного на объединении латентных признаков, извлекаемых предобученной моделью ResNet-152, и количественных QCT-показателей.

В отличие от подходов, использующих только пороговую денситометрию или только нейросетевую классификацию, предложенный метод сочетает два уровня описания КТ-изображения: визуально-текстурный и физико-денситометрический. ResNet-152 используется как экстрактор признаков, формирующий эмбеддинги, отражающие латентные характеристики лёгочной паренхимы. QCT-показатели, включая LAA%-950, Perc15, Mean HU и TLV, обеспечивают связь результата с физически измеряемыми параметрами плотности ткани.

Дополнительной особенностью исследования является применение стратегии auto-labeling, позволяющей адаптировать открытый датасет LIDC-IDRI, не содержащий специализированной клинической разметки ХОБЛ и

эмфиземы, к задаче машинного анализа низкоплотных изменений лёгочной паренхимы. В диссертации LIDC-IDRI используется как исходный набор КТ-изображений, а сформированная разметка имеет статус Silver Standard, поскольку основана на воспроизводимых QCT-критериях, но не является клиническим диагнозом.

Основные положения, выносимые на защиту

Автоматическая разметка КТ-исследований на основе QCT-показателей позволяет сформировать Silver Standard-метки для обучения модели в условиях отсутствия экспертной COPD-разметки в исходном датасете.

Эмбеддинги, извлекаемые из латентного слоя ResNet-152, содержат визуально-текстурные признаки, связанные с низкоплотными изменениями лёгочной ткани; при этом сокращение признакового пространства позволяет сохранить диагностически значимую информацию.

Использование представленной модели, объединяющей признаки QCT и эмбеддинги ResNet-152, по сравнению с использованием только количественных QCT-показателей или только признаков из эмбеддинга, позволило существенно повысить качество классификации.

Разработанный программный прототип подтверждает возможность реализации полного автоматизированного цикла анализа КТ-изображений: загрузка DICOM-данных, препроцессинг, расчёт QCT-метрик, извлечение признаков ResNet-152, формирование вероятностной оценки и отображение результата пользователю.

Теоретическая значимость исследования заключается в обосновании подхода к совместному использованию нейросетевых и денситометрических признаков при анализе КТ-изображений лёгких. В работе показано, что эмбеддинги ResNet-152 могут рассматриваться как источник латентных визуально-текстурных дескрипторов, а QCT-показатели — как физически интерпретируемые признаки, связанные с плотностью лёгочной ткани. Такое объединение расширяет методологические представления о применении искусственного интеллекта в медицинской визуализации.

Практическая значимость исследования состоит в разработке воспроизводимого pipeline автоматического анализа КТ-данных. Предложенный подход включает выбор DICOM-серии, перевод изображений в шкалу Хаунсфилда, контроль HU-диапазона, ресемплинг, сегментацию лёгких, расчёт QCT-показателей, автоматическую разметку, извлечение признаков ResNet-152 и классификацию. Разработанный прототип системы может служить основой для дальнейшего создания инструментов поддержки принятия решений и предварительного скрининга пациентов с КТ-признаками эмфизематозных изменений.

Достоверность научных результатов. Достоверность результатов обеспечивается последовательной организацией экспериментального pipeline, применением воспроизводимых методов обработки КТ-изображений и использованием количественных метрик качества классификации. На этапах подготовки данных выполнялись контроль HU-диапазона, сегментация

лёгких, расчёт LAA%-950, Perc15, Mean HU и TLV, а также формирование Silver Standard-разметки.

Качество моделей оценивалось с применением ROC-AUC, PR-AUC, F1-score, balanced accuracy и матриц ошибок. Для анализа устойчивости классификации использовалась кросс-валидация и сравнение различных вариантов модели. Дополнительно применялась визуальная интерпретация Grad-CAM, позволяющая оценить области КТ-срезов, влияющие на нейросетевое решение.

Полученные результаты подтверждают основную гипотезу исследования: совместное использование CNN-признаков и QCT-показателей повышает качество классификации по сравнению с изолированным применением нейросетевых признаков. При этом в работе корректно указано, что предложенная модель не является самостоятельным инструментом постановки клинического диагноза ХОБЛ и требует дальнейшей внешней валидации на специализированных COPD-датасетах.

Структура и краткое содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Структура диссертации включает определения, обозначения и сокращения, нормативные ссылки, введение, три главы, заключение, список литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, раскрыты научная новизна, практическая значимость, методы исследования и положения, выносимые на защиту.

В первом разделе рассмотрены теоретические основы исследования. Проведён анализ научных источников по диагностике ХОБЛ, рассмотрена роль КТ в выявлении эмфиземы, описано значение метрики LAA%-950 и порога HU < −950, а также показаны ограничения традиционных методов и необходимость перехода к методам искусственного интеллекта. Кроме того, рассмотрены современные методы анализа КТ-изображений, включая CNN, ResNet, U-Net, QCT-подходы и модели объединения признаков.

Во втором разделе описаны методика и организация исследования. Представлены цель и гипотеза, данные и их подготовка, этапы препроцессинга, извлечение признаков, методы машинного обучения, архитектура модифицированной модели и этические аспекты исследования.

В третьем разделе представлены результаты и обсуждение. Описана структура подготовленного массива данных, выполнен анализ QCT-разметки, рассмотрено распределение LAA%-950, проведена оценка эмбеддингов ResNet-152, выполнен отбор информативных признаков, представлено сравнение вариантов модели, включая предложенную модифицированную модель с объединением признаков ResNet-152 и QCT. Также приведены результаты анализа ошибок, визуальной интерпретации Grad-CAM и описание прототипа системы автоматического анализа КТ-изображений.

В заключении обобщены основные результаты исследования, показано достижение цели и решение поставленных задач, сформулированы ограничения работы и перспективы дальнейших исследований.

Публикации по результатам исследования. По теме диссертации опубликованы научные работы, представленные в приложении диссертации. Публикации отражают основные положения исследования, включая анализ КТ-изображений, использование ResNet-152 как экстрактора признаков, применение QCT-показателей, разработку модифицированной модели и реализацию подходов к автоматическому выявлению эмфизематозных изменений.

Список публикаций

Scopus/ WoS:

1. Sarsembayeva T., Mansurova M., Oshibayeva A., Serebryakov S. Interpretable Diagnosis of Pulmonary Emphysema on Low-Dose CT Using ResNet Embeddings. Journal of Imaging. 2026; 12(1):51. (Q1, 87th percentile) https://doi.org/10.3390/jimaging12010051
2. Sarsembayeva T., Mansurova M., Abdildayeva A., Serebryakov S. Enhancing U-Net Segmentation Accuracy Through Comprehensive Data Preprocessing. Journal of Imaging. 11 2025; (2): 50. https://doi.org/10.3390/jimaging11020050 (Q1, 87th percentile)

КОКСНВО РК:

1. Sarsembayeva T., Oshibayeva A., Shayakhmetova A., Ospan A. ResNet embedding-based pipeline for transparent diagnosis of pulmonary emphysema on low-dose CT // Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies. – 2026. – Vol. 4, No. 1. DOI: https://doi.org/10.26577/jpcsit4120262

Международные конференции:

1. Sarsembayeva, T., Mansurova, M., Shomanov, A., Sarsembayev, M., Sagyzbayeva, S., Rakhimzhanov, G. (2022). Pre-processing of CT Images of the Lungs 14th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems , ACIIDS 2022. // Lecture Notes in Computer Science(), vol 13758. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21967-2_39 (Scopus Proceedings)
2. Sarsembayeva T., Shomanov A., Sarsembayev M., Mansurova M., Zhunussova A., Rakhimzhanov G. UNet model for segmentation of COPD lung lesions on computed tomography images // CEUR Workshop Proceedings. – 2022. – Vol. 3382.URL:https://ceur-ws.org/Vol-3382/Short5.pdf (Scopus Proceedings)
3. Sarsembayeva T., Mansurova M., Essengaliyeva N., Koshanova A.

Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы белгілерінің машиналық диагностикасы үшін өкпенің КТ кескінін өңдеу жүйесін жасау // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Computer Science and Applied Mathematics» (CSAM 2024). – Алматы, 2024. – С. 419–428. – URL: https://conf.iict.kz/wp-content/uploads/2025/01/collection_CSAM_IX_2024.pdf