АҢДАТПА
Сарсембаева Талшын Сағдатбекқызының
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған
диссертациясына
8D06114 — «Медицинадағы жасанды интеллект» білім беру
бағдарламасы бойынша
«Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы мысалында медициналық суреттердің машиналық диагностикасы және оны халық скринингінің қажеттіліктеріне бейімдеу» тақырыбында

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Созылмалы обструктивті өкпе ауруы қазіргі медицинаның маңызды медициналық-әлеуметтік мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл ауру ұзақ уақыт бойы үдемелі ағыммен сипатталады, науқастардың өмір сапасын төмендетеді және созылмалы тыныс алу жүйесі ауруларының құрылымында елеулі орын алады. ХОБЛ-дың ерекшелігі — аурудың бастапқы кезеңдерінде клиникалық белгілердің айқын болмауы, ал өкпе тініндегі құрылымдық өзгерістердің ертерек қалыптасуы. Сондықтан өкпе паренхимасындағы морфологиялық өзгерістерді ерте анықтау аурудың асқынуын болдырмау, тәуекел тобындағы адамдарды бақылау және скринингтік диагностика үшін маңызды.

ХОБЛ диагностикасында спирометрия негізгі функционалдық әдіс болып саналады. Дегенмен, спирометрия өкпе тінінің морфологиялық жағдайын тікелей бағалауға мүмкіндік бермейді. Компьютерлік томография, керісінше, өкпе паренхимасындағы құрылымдық өзгерістерді, оның ішінде эмфизематозды деструкцияны, төмен тығыздықты аймақтарды, гиперинфляция белгілерін және зақымданудың аймақтық әркелкілігін анықтауға мүмкіндік береді. Осы тұрғыдан КТ-кескіндер ХОБЛ-мен байланысты эмфизема белгілерін автоматты түрде талдау үшін маңызды дерек көзі болып табылады.

КТ-кескіндерді автоматты талдауда сандық компьютерлік томография көрсеткіштерінің маңызы жоғары. LAA%-950, Perc15, Mean HU және TLV сияқты көрсеткіштер өкпе тінінің тығыздық және көлемдік сипаттамаларын сандық түрде бағалауға мүмкіндік береді. Алайда QCT-көрсеткіштерін жеке қолданудың шектеулері бар: нәтиже сканерлеу параметрлеріне, дем алу деңгейіне, сегментация сапасына, кескін шуына және таңдалған HU шегіне тәуелді болуы мүмкін. Сонымен қатар порогтық денситометрия эмфизематозды өзгерістердің кеңістіктік және текстуралық ұйымдасуын толық сипаттай алмайды.

Терең оқыту әдістері КТ-кескіндерден күрделі визуалды-текстуралық белгілерді автоматты түрде бөліп алуға мүмкіндік береді. Сверткілі нейрондық желілер өкпе паренхимасының әркелкілігін, төмен тығыздықты аймақтардың таралуын, локалды контрасттық ауысуларды және өкпе суретінің ерекшеліктерін сипаттайтын латентті белгілерді қалыптастыра алады. Алайда толықтай нейрондық желілерге негізделген модельдер көбіне жеткіліксіз түсіндірілетін болады, бұл олардың медицинада қолданылуын шектейді.

Сондықтан нейрондық желілік белгілерді физикалық тұрғыдан түсіндірілетін QCT-көрсеткіштерімен біріктіру өзекті ғылыми бағыт болып табылады.

Осы диссертациялық жұмыстың өзектілігі КТ-кескіндер бойынша эмфизематозды өзгерістер белгілерін автоматты түрде анықтауға арналған, терең оқыту мен сандық КТ-талдауды біріктіретін модификацияланған машиналық диагностика әдісін әзірлеумен анықталады. Ұсынылған тәсіл медициналық кескіндерді автоматты талдаудың дәлдігін арттырумен қатар, нәтижені физикалық тұрғыдан түсіндіруге мүмкіндік береді және оны популяциялық скрининг қажеттіліктеріне бейімдеуге негіз қалайды.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты

Зерттеудің мақсаты — жаппай популяциялық скринингке бағдарланған машиналық диагностиканың модификацияланған әдісі арқылы КТ-кескіндер бойынша созылмалы обструктивті өкпе ауруы белгілерін автоматты түрде анықтау жүйесін әзірлеу.

Зерттеу міндеттері:

Диагностикалық тиімділікті сақтай отырып, белгілердің қысқартылған ішкі жиынын алу үшін алдын ала оқытылған ResNet-152 моделінің латентті қабатын талдау.

QCT-көрсеткіштерін пайдалана отырып, КТ-ның сандық талдауы негізінде деректерді автоматты түрде белгілеу стратегиясын іске асыру.

Масштабталатын скринингтік сценарий жағдайында КТ-кескіндер бойынша өкпе эмфиземасы белгілерін анықтау үшін ResNet-152 эмбеддингтері мен QCT бойынша автоматты аннотацияны біріктіретін модификацияланған әдісті әзірлеу.

Ұсынылған модификацияланған әдіс негізінде КТ-кескіндер бойынша эмфизема белгілерін автоматты түрде анықтайтын жүйе прототипін әзірлеу.

Зерттеу объектісі. КТ кескіндері деректері бойынша эмфизема белгілерін автоматты түрде анықтау процесі.

Зерттеу пәні. КТ кескіндері деректері бойынша созылмалы обструктивті өкпе ауруының белгілерін автоматты түрде анықтау әдісін модификациялау.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы КТ-кескіндер бойынша эмфизема белгілерін автоматты түрде анықтауға арналған әдісті әзірлеу және эксперименттік тексерумен анықталады. Ұсынылған әдіс алдын ала оқытылған ResNet-152 моделінен алынатын латентті белгілер мен сандық QCT-көрсеткіштерін біріктіруге негізделген.

Тек порогтық денситометрияны немесе тек нейрондық желілік классификацияны қолданатын тәсілдерден айырмашылығы, ұсынылған әдіс КТ-кескіннің екі түрлі сипаттамалық деңгейін біріктіреді: визуалды-текстуралық және физика-денситометриялық. ResNet-152 өкпе паренхимасының латентті визуалды белгілерін сипаттайтын эмбеддингтерді қалыптастыратын белгілер экстракторы ретінде қолданылады. Ал LAA%-950, Perc15, Mean HU және TLV сияқты QCT-көрсеткіштері нәтижені өкпе тінінің физикалық өлшенетін тығыздық параметрлерімен байланыстырады.

Зерттеудің қосымша ғылыми ерекшелігі — ХОБЛ және эмфизема бойынша арнайы клиникалық белгілеуі жоқ LIDC-IDRI ашық деректер

жиынтығын машиналық талдау міндетіне бейімдеу үшін auto-labeling стратегиясын қолдану. Қалыптастырылған белгілеу Silver Standard мәртебесіне ие, өйткені ол қайталанатын QCT-критерийлеріне негізделген, бірақ клиникалық диагнозды алмастырмайды.

Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар. QCT-көрсеткіштері негізінде КТ-зерттеулерді автоматты түрде белгілеу бастапқы деректер жиынтығында эксперттік COPD-белгілеу болмаған жағдайда модельді оқытуға арналған Silver Standard-белгілерді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

ResNet-152 моделінің латентті қабатынан алынатын эмбеддингтер өкпе тініндегі төмен тығыздықты өзгерістермен байланысты визуалды-текстуралық белгілерді қамтиды; белгілер кеңістігін қысқарту диагностикалық маңызды ақпаратты сақтауға мүмкіндік береді.

QCT белгілері мен ResNet-152 эмбеддингтерін біріктіретін ұсынылған модель тек сандық QCT-көрсеткіштерін немесе тек эмбеддинг белгілерін қолданумен салыстырғанда классификация сапасын едәуір арттырады.

Әзірленген бағдарламалық прототип КТ-кескіндерді автоматты талдаудың толық циклін іске асыру мүмкіндігін көрсетеді: DICOM-деректерді жүктеу, препроцессинг, QCT-метрикаларын есептеу, ResNet-152 белгілерін алу, ықтималдық бағасын қалыптастыру және нәтижені пайдаланушыға көрсету.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы КТ-кескіндерді талдауда нейрондық желілік және денситометриялық белгілерді бірге қолданудың әдістемелік негізделуімен байланысты. Жұмыста ResNet-152 эмбеддингтері латентті визуалды-текстуралық дескрипторлар ретінде, ал QCT-көрсеткіштері өкпе тінінің тығыздығымен байланысты физикалық тұрғыдан түсіндірілетін белгілер ретінде қарастырылады. Бұл медициналық визуализация саласында жасанды интеллектті қолдану әдістерін дамытуға үлес қосады.

Практикалық маңыздылығы КТ-деректерді автоматты түрде өңдеуге арналған қайталанатын pipeline әзірлеумен анықталады. Ұсынылған тәсіл DICOM-серияны таңдауды, Хаунсфилд шкаласына түрлендіруді, HU-диапазонын бақылауды, ресемплингті, өкпені сегментациялауды, QCT-көрсеткіштерін есептеуді, автоматты белгілеуді, ResNet-152 белгілерін алуды және классификацияны қамтиды. Әзірленген прототип шешім қабылдауды қолдау жүйелерін және КТ бойынша алдын ала скрининг құралдарын дамытуға негіз бола алады.

Ғылыми нәтижелердің дұрыстығы

Алынған нәтижелердің дұрыстығы эксперименттік pipeline-ның жүйелі ұйымдастырылуымен, КТ-кескіндерді өңдеудің қайталанатын әдістерін қолданумен және классификация сапасын сандық метрикалар арқылы бағалаумен қамтамасыз етіледі. Деректерді дайындау кезеңдерінде HU-диапазонын бақылау, өкпе сегментациясы, LAA%-950, Perc15, Mean HU және TLV есептеу, сондай-ақ Silver Standard-белгілеу қалыптастыру орындалды.

Модельдердің сапасы ROC-AUC, PR-AUC, F1-score, balanced accuracy және қателер матрицалары арқылы бағаланды. Классификация тұрақтылығын талдау үшін кросс-валидация және модель нұсқаларын салыстыру

қолданылды. Нейрондық желі шешімін түсіндіру үшін Grad-CAM әдісі пайдаланылды.

Зерттеу нәтижелері негізгі гипотезаны растайды: CNN-белгілері мен QCT-көрсеткіштерін бірге қолдану нейрондық белгілерді жеке пайдаланумен салыстырғанда классификация сапасын арттырады. Сонымен бірге жұмыста ұсынылған модель клиникалық ХОБЛ диагнозын өз бетінше қою құралы емес екені және мамандандырылған COPD-датасеттерінде сыртқы клиникалық валидацияны қажет ететіні әдістемелік тұрғыдан дұрыс көрсетілген.

Жұмыстың құрылымы және қысқаша мазмұны

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш негізгі бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады.

Кіріспеде тақырыптың өзектілігі негізделіп, зерттеудің мақсаты, міндеттері, объектісі мен пәні анықталған, ғылыми жаңалығы, практикалық маңыздылығы, зерттеу әдістері және қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар сипатталған.

Бірінші бөлімде зерттеудің теориялық негіздері қарастырылған. ХОБЛ диагностикасы бойынша ғылыми дереккөздер талданған, КТ-ның эмфиземаны анықтаудағы рөлі, LAA%-950 метрикасының және HU < −950 порогының маңызы сипатталған. Сонымен қатар дәстүрлі әдістердің шектеулері және жасанды интеллект әдістеріне көшу қажеттілігі негізделген. КТ-кескіндерді талдаудың заманауи әдістері, соның ішінде CNN, ResNet, U-Net, QCT және белгілерді біріктіру модельдері қарастырылған.

Екінші бөлімде зерттеудің әдістемесі мен ұйымдастырылуы сипатталған. Бұл бөлімде зерттеудің мақсаты мен гипотезасы, деректер және оларды дайындау, препроцессинг кезеңдері, белгілерді алу, машиналық оқыту әдістері, модификацияланған модель архитектурасы және этикалық аспектілер берілген.

Үшінші бөлімде зерттеу нәтижелері мен оларды талқылау ұсынылған. Дайындалған деректер жиынының сипаттамасы беріліп, QCT-белгілеу талданған, LAA%-950 таралуы қарастырылған, ResNet-152 эмбеддингтері бағаланған, ақпаратты белгілер іріктелген және ResNet-152 мен QCT белгілерін біріктіретін ұсынылған модификацияланған модельдің нәтижелері көрсетілген. Сонымен қатар классификация қателері, Grad-CAM арқылы визуалды интерпретация және КТ-кескіндерді автоматты талдау жүйесінің прототипі сипатталған.

Қорытындыда зерттеудің негізгі нәтижелері жинақталып, мақсатқа қол жеткізілгені және қойылған міндеттердің шешілгені көрсетілген, жұмыстың шектеулері мен әрі қарайғы зерттеу бағыттары анықталған.

Зерттеу нәтижелері бойынша жарияланымдар

Диссертация тақырыбы бойынша ғылыми жұмыстар жарияланған, олар диссертацияның қосымшасында берілген. Жарияланымдар зерттеудің негізгі нәтижелерін, соның ішінде КТ-кескіндерді талдау, ResNet-152 моделін белгілер экстракторы ретінде қолдану, QCT-көрсеткіштерін пайдалану, модификацияланған модель әзірлеу және эмфизематозды өзгерістерді автоматты анықтау тәсілдерін қамтиды.

Жарияланымдар тізімі

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)

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған баспа:

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

Халықаралық конференциялар:

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