

Inteligência artificial na tomografia para diagnóstico das doenças pulmonares intersticiais

Artificial-intelligence in tomography for diagnosis of interstitial lung diseases

Inteligencia artificial en tomografía para diagnóstico de enfermedades pulmonares intersticiales

Isabela Coutinho Faria ¹; Kleuber Arias Meireles Martins ¹; Davi Augusto Carvalho ¹; Leonardo Januário Campos Cardoso ²; Flávio Henrique Batista de Souza ³

1. Acadêmico de medicina, Departamento de ciências da saúde, Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte (MG), Brasil.
2. Acadêmico de medicina, Departamento de ciências da saúde, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), Brasil.
3. Doutor em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Inovação em Saúde, Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte (MG), Brasil.

Autor correspondente: Isabela Coutinho Faria

E-mail: isabelacoutinho2002@gmail.com

Resumo

Objetivo: Analisar a influência da Inteligência Artificial no diagnóstico patológico das doenças pulmonares intersticiais (DPI) através da Tomografia (TC) com o processo de Deep Learning (DL) através de uma revisão integrativa. **Metologia:** Utilizamos os descritores Mesh em inglês das respectivas palavras-chave, associados ao operador booleano “AND” nas plataformas MEDLINE e Pubmed. **Resultados:** De 36 artigos somados de cada base de dados, foram analisados 8 coortes retrospectivas que abordam o uso de algoritmos na quantificação das lesões parenquimatosas, volume pulmonar, recuperação de imagens em bancos de dados e comparação de performance entre a tecnologia e observador no contexto de diagnóstico da DPI em TC. **Conclusão:** O DL através de algoritmos na TC se mostra promissor para auxiliar no diagnóstico de DPI com mais eficiência, podendo reduzir este processo no futuro. No entanto, são precisos mais estudos, principalmente prospectivos, com amplas bases de dados para resultados ainda melhores.

Palavras Chave: Inteligência Artificial; Tomografia; Doenças Pulmonares Intersticiais.



Abstract

Objective: Analyze the influence of Artificial Intelligence on the pathological diagnosis of Interstitial Lung Diseases (ILDs) through Tomography (CT) using Deep Learning (DL) in an integrative review. **Methodology:** We utilized English Mesh descriptors for the respective keywords, combined with the boolean operator "AND," on the MEDLINE and PubMed platforms. **Results:** Out of 36 articles from each database, 8 retrospective cohorts were analyzed, addressing the use of algorithms in quantifying parenchymal lesions, lung volume, image retrieval in databases, and performance comparison between technology and observer in the context of ILD diagnosis in CT scans. **Conclusion:** DL through algorithms in CT scans shows promise in aiding ILD diagnosis more efficiently, potentially streamlining this process in the future. However, further studies, particularly prospective ones with extensive databases, are necessary for even better results.

Keywords: Artificial Intelligence; Tomography; Lung Diseases, Interstitial.

Resumem

Objetivo: Analizar la influencia de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico patológico de las enfermedades pulmonares intersticiales (EPI) a través de la Tomografía Computarizada (TC) mediante el proceso de Aprendizaje Profundo (AP) en una revisión integrativa. **Metodología:** Utilizamos los descriptores Mesh en inglés asociados con el operador booleano "AND" en las plataformas MEDLINE y PubMed. **Resultados:** Se analizaron 8 cohortes retrospectivas sobre el uso de algoritmos en la cuantificación de lesiones parenquimatosas, volumen pulmonar, recuperación de imágenes en bancos de datos y comparación de rendimiento entre la tecnología y el observador en el contexto del diagnóstico de EPI en TC. **Conclusión:** El AP a través de algoritmos en TC se muestra prometedor para ayudar en el diagnóstico de EPI de manera más eficiente, lo que podría reducir este proceso en el futuro. Sin embargo, se necesitan más estudios, especialmente prospectivos, con amplias bases de datos para obtener resultados aún mejores.

Descritores: Intelligence artificielle; Tomografía; Enfermedades Pulmonares Intersticiales

Introdução

As doenças pulmonares intersticiais (DPI) constituem um grupo complexo e variado de distúrbios respiratórios caracterizados por inflamação e fibrose dos tecidos

pulmonares intersticiais, representando um desafio diagnóstico significativo devido à sua heterogeneidade clínica e radiológica ^(1,2). As DPIs carecem de uma classificação unificada, sendo divididas entre DPIs de causa conhecida e desconhecida. Uma classificação comum inclui categorias como: doenças idiopáticas, autoimunes, relacionadas à exposição, intersticiais com cistos ou preenchimento do espaço aéreo, sarcoidose e doenças órfãs ⁽²⁾.

A tomografia computadorizada (TC), particularmente a de alta resolução, emerge como uma ferramenta crucial para o diagnóstico e monitoramento dessas condições, oferecendo uma visualização detalhada das alterações parenquimatosas pulmonares. No entanto, a interpretação precisa das imagens de TC pode ser dificultada pela complexidade das alterações intersticiais e pela variabilidade na experiência dos radiologistas, ressaltando a necessidade de abordagens mais precisas e consistentes para auxiliar no diagnóstico diferencial das DPI ^(2,3,4).

Diante desses desafios, a inteligência artificial (IA) tem despontado como uma abordagem promissora para otimizar a interpretação das imagens de TC e melhorar a precisão diagnóstica das DPIs ⁽⁴⁾.

A IA opera por meio de algoritmos de machine learning e aprendizado profundo (deep learning ou DL), que processam grandes volumes de dados de imagem para identificar padrões e características específicas associadas a determinadas condições patológicas. No contexto da TC pulmonar, esses algoritmos podem ser treinados com base em imagens rotuladas por especialistas, permitindo que a IA desenvolva a capacidade de reconhecer e classificar automaticamente padrões radiológicos indicativos de DPI ^(2,3,4).

Estudos recentes, exploraram o potencial da IA na diferenciação e classificação automatizada dos padrões radiológicos associados às DPI, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo. Esses estudos demonstraram como a IA pode fornecer uma análise mais objetiva e consistente das imagens de TC, contribuindo para uma melhor caracterização das lesões intersticiais e uma tomada de decisão clínica mais informada ^(5,6).

No contexto da prática clínica, a integração da IA na interpretação de imagens de TC pulmonar oferece diversas vantagens, incluindo uma análise mais rápida e precisa das imagens, redução da variabilidade inter-observador e uma avaliação mais abrangente dos padrões radiológicos associados às DPIs ^(2,3).

Neste estudo, propomos uma revisão abrangente, com o objetivo de analisar a influência da IA no diagnóstico das DPIs através da tomografia computadorizada com o processo de Deep Learning. Será realizada uma análise detalhada dos trabalhos, explorando suas metodologias, resultados e implicações clínicas. Ao compreender o potencial da IA como uma ferramenta complementar na interpretação de imagens de TC, buscamos contribuir para o avanço no diagnóstico das DPIs.

Metodologia

Este estudo trata-se de uma revisão integrativa de literatura buscando responder a pergunta em como a IA tem contribuído para o diagnóstico das doenças pulmonares intersticiais através da TC com o processo de DL estipulado através da pergunta PICO e aplicado nas respectivas bases de dados: Medline e Pubmed.

A pesquisa foi feita nos períodos entre Agosto 2023 e Setembro 2023 e utilizou os seguintes termos Mesh: Artificial Intelligence; Tomography; Deep Learning; Lung Diseases, Interstitial uma vez que eles permitiram um alcance maior de publicações próximas ao nosso objetivo. Estes foram associados ao operador booleano “AND” e adicionado filtros para artigos de língua inglesa, com texto completo e publicados nos últimos 5 anos para se obter as bases mais atualizadas na área, os quais correspondiam aos anos entre 2018 e 2023. Os critérios para seleção através do resumo e título estão relacionados ao tema central desse respectivo trabalho.

Os estudos selecionados foram organizados contemplando o autor principal do estudo, ano de publicação, tipo de desenho do estudo, metodologia e resultados.

Resultados

Foi encontrado na primeira base de dados 10 resultados inicialmente, os quais após a aplicação dos filtros, leitura dos títulos e exclusão de revisões, foram encontrados 2 artigos que, após leitura dos resumos, selecionamos 1 artigo.

Já no Pubmed, foram encontrados 26 resultados e após a aplicação dos filtros esse número reduziu-se para 25. Após a leitura dos títulos ainda selecionamos 17 artigos e, por fim, 7 artigos foram definidos após leitura dos resumos. A Figura 1 demonstra o processo de seleção e a tabela 1 ressalta com mais detalhes os principais resultados encontrados.

Figura 1. Fluxograma de seleção dos estudos, elaborado pelos autores. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023.

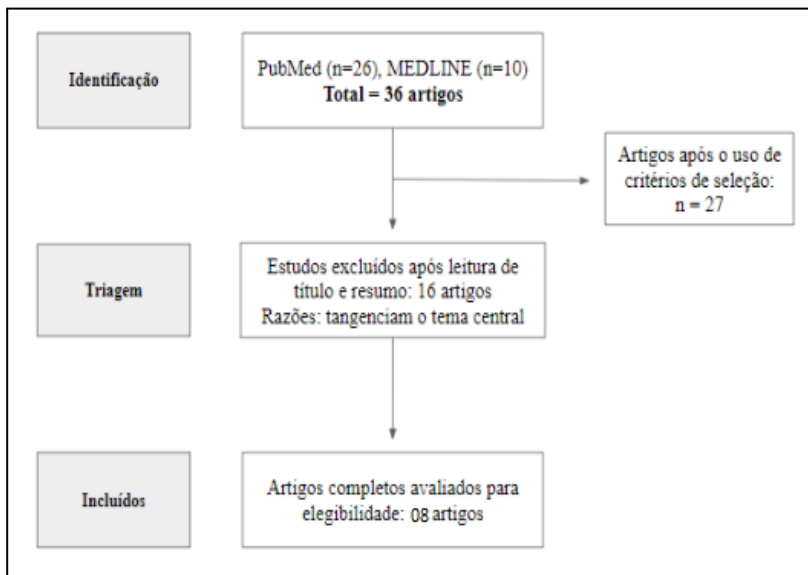


Tabela 1 - Caracterização dos resultados obtidos na pesquisa elaborada pelos autores, baseado em autoria, ano, desenho de estudo, metodologia e resultados. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023.

Autor	Ano	Estudo	Metodologia	Resultados
Handa Tomohiro, et al	2021	Coorte Retrospectivo	Confecção de software de análise quantitativa de imagens de TC baseado em inteligência artificial (AIQCT) aplicado em 304 TCARs de pacientes com doenças pulmonares difusas.	O software AIQCT confere uma boa quantificação das lesões parenquimatosas e volume das vias aéreas. O coeficiente entre este e escores visuais equivale a 0,44–0,95. A similaridade entre os dados do AIQCT e a verdade de campo foram 0,67, 0,76 e 0,64 para reticulação, faveolamento e brônquios, respectivamente.
			Desenvolvimento e teste de algoritmos através de 1.157 TCARs com doença pulmonar fibrótica (DPF). Os exames foram divididos em 3 coortes não sobrepostas (conjunto de treinamento, validação e teste A e B) classificados	A precisão do conjunto A foi de 76,4%, com 92,7% de diagnósticos. A precisão média dos radiologistas no conjunto B foi de 70,7% (IQR 65,3-74,7) e a do algoritmo de 73,3% (93,3% estavam dentro de uma categoria), superando 60



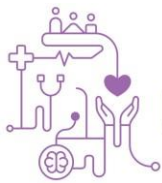
Autor	Ano	Estudo	Metodologia	Resultados
Walsh SLF, et al	2018	Coorte Retrospectivo	pelo diagnóstico de (DPFI). O teste A foi avaliado pela precisão prognóstica e coeficiente de concordância interobservador. Teste B utilizou TCARs com DPF para comparar com 91 radiologistas.	(66%) dos 91 radiologistas. Visto isso, a precisão do algoritmo pode reproduzir a precisão médica.
Yin N, et al	2019	Coorte retrospectivo	102 pacientes com DPI e 102 controles saudáveis pareados para comparação quantitativa da TC com os seguintes parâmetros: volume do parênquima pulmonar, índices de enfisema área de baixa atenuação e média densidade pulmonar (MDP). A análise de desempenho foi feita por Curvas ROC, análise discriminante bayesiana stepwise e análise de rede neural profunda e uma regressão logística binária foi realizada para identificar marcadores de DPI.	Esta análise pode identificar com sucesso pacientes com DPI. O volume pulmonar total foi menor em pacientes com DPI do que nos controles, enquanto os valores de enfisema e MDP foram maiores ($P < 0,001$). Distinguiram com precisão pacientes com DPI de controles saudáveis ($AUC > 0,5$, $P < 0,05$) e MDP alto foi um marcador significativo para DPI ($OR = 1,047$, $P < 0,05$).
Christe A, et al	2019	Coorte retrospectivo	105 casos de fibrose pulmonar foram utilizados para avaliar o desempenho de um sistema de diagnóstico auxiliado por computador (CAD) (sistema INTACT) para a classificação automática de imagens de TCAR 4 categorias em comparação com 2 radiologistas torácicos (leitores 1 e 2).	O sistema foi capaz de classificar a fibrose pulmonar idiopática com precisão semelhante aos leitores no F-score (média harmônica para precisão e revocação) em relação a classificação da fibrose pulmonar em 4 categorias.



Autor	Ano	Estudo	Metodologia	Resultados
Agarwala S, et al	2020	Coorte Retrospectivo	108 imagens de TCAR de diferentes padrões de DPI com 1.946 ROIs, resulta em um volume total de 41,65 l de tecido anotado. Imagens com mais de um padrão foram atribuídas a um rótulo diferente. O banco de dados com nódulos pulmonares foi delineado por 5 radiologistas. O banco de dados MedGIFT DPI por 2 radiologistas. O número total de seções de imagem equivale a 480.	Seções com fibrose e enfisema foram detectadas com taxa de sucesso e sensibilidade semelhantes para ambos os bancos de dados, mas o desempenho da detecção foi menor para consolidação em comparação com fibrose e enfisema.
Choe J, et al	2022	coorte retrospectivo	O CBIR proposto recuperou as três principais imagens de TC semelhantes com diagnóstico do banco de dados, composto de pacientes com 4 classes de DIP comparando a extensão e a distribuição de diferentes padrões regionais de doenças quantificados por um algoritmo de aprendizado profundo. Do outro lado, oito leitores com experiências variadas interpretaram as imagens de TC de consulta e forneceram seu diagnóstico mais provável em duas sessões de leitura com intervalo de 2 semanas, antes e depois da aplicação do CBIR.	A precisão diagnóstica geral melhorou em todos os leitores (antes do CBIR, 46,1% [95% CI: 37,1, 55,3]; após o CBIR, 60,9% [95% CI: 51,8, 69,3]; $P < 0,001$). Em termos de categoria de doença, a precisão diagnóstica melhorou após a aplicação de CBIR em UIP (antes vs após CBIR, 52,4% vs 72,8%, respectivamente; $P < 0,001$) e casos de NSIP (antes vs após CBIR, 42,9% vs 61,6%, respectivamente; $P < 0,001$). A concordância entre leitores melhorou após CBIR (antes vs após CBIR Fleiss κ , 0,32 vs 0,47, respectivamente; $P = 0,005$).
Bratt A et al	2022	coorte retrospectivo	Em um banco de dados com 1239 pacientes com DPI comprovada	O desempenho da aprendizagem profunda foi superior à análise visual na



Autor	Ano	Estudo	Metodologia	Resultados
			patologicamente, separou-se as TCs em dois grupos PIU e não PIU. Então um modelo de aprendizado foi treinado para fazer essa distinção em 198 pacientes, e os resultados foram comparados com o diagnóstico feito por radiologistas sobre as imagens.	previsão do diagnóstico histopatológico (área sob a curva característica de operação do receptor, 0,87 vs 0,80, respectivamente; $P < 0,05$).
Yu W et al	2023	Coorte retrospectivo	Confecção de um sistema automatizado baseado em aprendizado profundo que pode diagnosticar indivíduos com Fibrose Pulmonar Intersticial (FPI) entre indivíduos com DPI usando TC. Utilizaram TCs de 349 pacientes com FIP e 529 pacientes com DIP sem FIP. 80% do conjunto de dados foi para treinamento e validação e 20% para teste de validação. O sistema foi dividido em 2 estágios: 1: modelo de atenção guiada por conhecimento (MSGa) multiescalar concentrando em áreas específicas de interesse para melhorar a explicabilidade do modelo, incluindo alto e médio-atenções de resolução; 2: classificador de floresta aleatória (RF) para diagnóstico no nível do paciente, para aumentar ainda mais a precisão do modelo.	Durante a etapa de treinamento e validação, quando não é fornecido a orientação a partir do conhecimento do domínio, o modelo de diagnóstico de FPI atinge desempenho aceitável ($AUC \pm DP = 0,93 \pm 0,07$), mas carece de explicabilidade; ao incluir apenas atenção guiada de alta ou média resolução, os mapas de atenção aprendidos não são satisfatórios; ao incluir atenção de alta e média resolução, sob certas configurações de hiperparâmetros, o modelo atinge a maior AUC entre todos os experimentos ($AUC \pm DP = 0,99 \pm 0,01$) e os mapas de atenção estimados concentram-se nas regiões de interesse para esta tarefa. Três seleções de hiperparâmetros de melhor desempenho de acordo com MSGa foram aplicadas ao conjunto de teste de validação e



Autor	Ano	Estudo	Metodologia	Resultados
				alcançaram desempenho de modelo comparável ao do conjunto de validação.

Discussão

As DPIs podem ser difíceis de identificar e caracterizar usando tomografia, que é considerada o padrão ouro para diagnóstico, mesmo para radiologistas subspecialistas, devido à sua interpretação dependente intra e inter observadores.

Com isso, uma variedade de estudos está em andamento neste domínio, com o objetivo de aprimorar o processo diagnóstico dessas enfermidades. Por serem predominantemente retrospectivos, esses estudos refletem a escassez de dados longitudinais devido à limitação de amostras disponíveis, o que contribui também para a quantidade restrita de revisões sobre o tema até o presente momento.^(7,8)

Um fator que contribuiu para o avanço dos estudos e aplicação de algoritmos na área das doenças pulmonares intersticiais (DPIs) foi a pandemia da COVID-19. O aumento significativo na análise automatizada de tomografias, motivado pela alta transmissibilidade do vírus, impulsionou a necessidade premente de dispositivos de monitoramento remoto. Nesse contexto, os padrões distintivos identificados nas imagens de tomografia computadorizada deram origem a uma variedade de algoritmos de inteligência artificial voltados para a detecção e quantificação de lesões pulmonares em pacientes afetados pela doença, incluindo a fibrose pós-infecção viral.^(7,9)

A dificuldade em diagnosticar doenças pulmonares intersticiais (DPIs) é influenciada por duas vertentes principais. Primeiramente, o acesso à tomografia computadorizada (TC), embora amplamente utilizada, ainda enfrenta desafios devido ao seu custo elevado e à sua disponibilidade limitada em algumas regiões. Além disso, a escassez de radiologistas especializados nessa área agrava a situação. Muitos diagnósticos são realizados por radiologistas generalistas, que podem encontrar maiores dificuldades devido à natureza menos frequente desses casos em sua prática diária, bem como à diversidade de tipos de DPIs existentes.^(7,8)

Visto isso, a ideia de criar processos de aprendizagem de máquina para auxiliar a identificação de doenças desse porte na tomografia, quando disponibilizada, pode contribuir para amenizar um desses tópicos, principalmente em se tratando de radiologistas gerais não especializados.

Em Choe et al o algoritmo foi usado para aumentar a concordância entre leitores com diversas experiências na análise de tomografias com os 4 tipos de DPI mais abordados na prática clínica, e os resultados demonstraram que antes do auxílio do algoritmo a precisão média do diagnóstico era de 46% e, após subiu para 61%, sendo



um possível sistema futuro para suporte à decisão radiológica em centros onde a experiência em imagens torácicas não está disponível ou há poucos casos de DPI ⁽¹⁰⁾.

Outros quatro estudos já compararam a precisão de análise do modelo de aprendizagem profunda com a do radiologista especialista na interpretação de DPIs na tomografia; sendo observado também, resultados significativos com precisões melhores ou similares aos próprios radiologistas especializados em torácica ^(11, 12, 13, 14).

Um aspecto notável, destacado em dois estudos, transcende a análise dos padrões intersticiais convencionais. Trata-se da inovadora abordagem que emprega a mensuração volumétrica e a detecção de DPIs por meio da modificação dos parâmetros pulmonares correlacionados, juntamente com sua aptidão intrínseca. Isso se mostra particularmente relevante, dado que o diagnóstico dessas patologias demanda tanto a avaliação radiológica quanto a avaliação funcional pulmonar. Nesse sentido, os modelos baseados em aprendizado profundo emergem como uma ferramenta singular, permitindo a integração dessas análises em um único procedimento diagnóstico, em contraposição à necessidade de múltiplos testes de função pulmonar. Esta abordagem é especialmente benéfica para pacientes em que a realização de tais testes é desafiadora, sobretudo idosos, indivíduos com baixo nível educacional ou com limitações funcionais ^(15, 16).

No entanto, na maioria dos artigos, para o desenvolvimento do algoritmo, houve uma baixa gama de amostras, o que pode dificultar a qualidade dos resultados.¹² Somado a isto, o fato de a maioria dos estudos terem selecionado amostras de sua própria reserva, pode levar, também, a seleção e viés do modelo uma vez que os algoritmos de IA são orientados por dados. Portanto, os resultados relatados dependem em grande parte da qualidade e quantidade dos dados de entrada. Nesse sentido, se os dados utilizados para treinar os algoritmos forem tendenciosos, os resultados também serão tendenciosos ^(7, 16).

Outro ponto percebido é que o algoritmo não consegue capturar e representar informações contextuais, como o processo de obtenção do histórico médico, sendo difícil sua modelação de forma automática, principalmente em se tratando de casos mais complexos que apresentam progressiva evolução ⁽¹⁶⁾.

Além disso, a complexidade da arquitetura dos algoritmos de inteligência artificial resulta em uma baixa explicabilidade dos seus resultados, o que influencia diretamente sua aceitação na área da saúde. No entanto, esse fator não inibe sua utilização devido aos bons desempenhos alcançados pela IA, destacando a necessidade premente de aprimoramento nesse aspecto para garantir sua aplicação mais eficiente e confiável no contexto do diagnóstico de doenças pulmonares intersticiais. ⁽¹⁷⁾.

Nesse sentido, diversos estudos têm se dedicado a empregar algoritmos baseados em árvores de decisão, os quais oferecem resultados mais compreensíveis e interpretáveis. Além disso, a utilização de modelos de atenção em múltiplas escalas de resolução tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar a explicabilidade dos modelos de IA. Esse processo é crucial para garantir a transparência das aplicações médicas baseadas em IA e para facilitar o diagnóstico dos modelos desenvolvidos ^(12, 17).

A incorporação desses mecanismos não apenas permite que a rede se concentre em áreas específicas de interesse de maneira ajustável durante o

treinamento, mas também contribui de forma significativa para a captura de informações relevantes no processo de diagnóstico. Dessa forma, aprimorar a explicabilidade não apenas promove uma compreensão mais clara dos resultados gerados pela IA, mas também aprimora seu desempenho global ^(12,17).

Por fim, uma considerável parcela das pesquisas na área se direciona à análise da fibrose pulmonar intersticial e das variantes mais prevalentes das doenças pulmonares intersticiais (DPIs), o que acaba por restringir a abrangência do espectro de patologias consideradas, bem como a capacidade intrínseca do algoritmo em identificar outras etiologias de DPIs, resultando assim em limitações significativas no escopo de atuação ^(10,12,15,17).

Como evidenciado por vários estudos, a utilização da inteligência artificial na tomografia para o diagnóstico de doenças pulmonares intersticiais têm um impacto significativo. Esse impacto é particularmente relevante em centros onde a presença de um radiologista especializado para orientar os laudos é limitada, ou onde esses profissionais não estão disponíveis o tempo todo. Até o momento, os algoritmos ainda não conseguem reproduzir de forma precisa a expertise e a capacidade associativa de um radiologista experiente.

Conclusão

Embora abordassem diferentes aspectos metodológicos, os estudos evidenciaram os benefícios do uso da IA no diagnóstico das doenças intersticiais pulmonares, inclusive em comparação com a performance de radiologistas especializados. Contudo, os artigos revelaram uma lacuna na disponibilidade de bases de dados amplas, além de limitações nos estudos, predominantemente retrospectivos, que podem comprometer a qualidade dos resultados. O uso de aprendizado de máquina por meio de algoritmos na tomografia apresenta potencial para aprimorar o diagnóstico das doenças pulmonares intersticiais de forma mais eficiente, possibilitando uma simplificação do processo no futuro e facilitando a interpretação por radiologistas não especializados. No entanto, são necessários mais estudos, principalmente prospectivos, com uma ampla gama de imagens e doenças, somado a uma melhor explicabilidade dos modelos para resultados ainda melhores.

Referências:

1. Wijsenbeek M, Suzuki A, Maher TM. Interstitial lung diseases. *The Lancet*. 2022 Sep;400(10354):769–86.
2. Exarchos KP, Gkrepi G, Kostikas K, Gogali A. Recent Advances of Artificial Intelligence Applications in Interstitial Lung Diseases. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. 2023 Jul 6;13(13):2303.

3. Soffer S, Morgenthau AS, Shimon O, Barash Y, Konen E, Glicksberg BS, et al. Artificial Intelligence for Interstitial Lung Disease Analysis on Chest Computed Tomography: A Systematic Review. *Academic Radiology*. 2022 Feb;29:S226–35.
4. Dack E, Christe A, Fontanellaz M, Brigato L, Heverhagen JT, Peters AA, et al. Artificial Intelligence and Interstitial Lung Disease: Diagnosis and Prognosis. *Investigative radiology*. 2023 Aug 1;58(8):602–9.
5. Rea G, Sverzellati N, Bocchino M, Lieto R, Milanese G, D'Alto M, et al. Beyond Visual Interpretation: Quantitative Analysis and Artificial Intelligence in Interstitial Lung Disease Diagnosis “Expanding Horizons in Radiology.” *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. 2023 Jul 10;13(14):2333.
6. Furukawa T, Oyama S, Yokota H, Kondoh Y, Kataoka K, Johkoh T, et al. A comprehensible machine learning tool to differentially diagnose idiopathic pulmonary fibrosis from other chronic interstitial lung diseases. *Respirology*. 27(9):739–46.
7. Exarchos KP, Gkrepi G, Kostikas K, Gogali A. Recent Advances of Artificial Intelligence Applications in Interstitial Lung Diseases. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Jan 1;
8. Soffer S, Morgenthau AS, Shimon O, Barash Y, Konen E, Glicksberg BS, et al. Artificial Intelligence for Interstitial Lung Disease Analysis on Chest Computed Tomography: A Systematic Review. *Academic Radiology*. 2022 Feb;29:S226–35.
9. Islam MN, Inan TT, Rafi S, Akter SS, Sarker IH, Islam AKMN. A Systematic Review on the Use of AI and ML for Fighting the COVID-19 Pandemic. *IEEE transactions on artificial intelligence*. 2021 Mar 1;1(3):258–70.
10. Choe J, Hwang HJ, Seo JB, Lee SM, Yun J, Kim MJ, et al. Content-based Image Retrieval by Using Deep Learning for Interstitial Lung Disease Diagnosis with Chest CT. *Radiology*. 2022 Jan;302(1):187–97.
11. Walsh SLF, Calandriello L, Silva M, Sverzellati N. Deep learning for classifying fibrotic lung disease on high-resolution computed tomography: a case-cohort study. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2018 Nov;6(11):837–45.
12. Christe A, Peters AA, Drakopoulos D, Heverhagen JT, Geiser T, Stathopoulou T, et al. Computer-Aided Diagnosis of Pulmonary Fibrosis Using Deep Learning and CT Images. *Investigative radiology*. 2019 Oct;54(10):627–32.
13. Agarwala S, Kale M, Kumar D, Swaroop R, Kumar A, Kumar Dhara A, et al. Deep learning for screening of interstitial lung disease patterns in high-resolution CT images. *Clinical Radiology*. 2020 Jun;75(6):481.e1-481.e8.
14. Bratt A, Williams JM, Liu G, Panda A, Patel PP, Walkoff L, et al. Predicting Usual Interstitial Pneumonia Histopathology From Chest CT Imaging With Deep Learning. *Chest*. 2022 Oct;162(4):815–23.
15. Handa T, Tanizawa K, Oguma T, Uozumi R, Watanabe K, Tanabe N, et al. Novel Artificial Intelligence-based Technology for Chest Computed Tomography Analysis of Idiopathic Pulmonary Fibrosis. *Ann Am Thorac Soc*. 2022 Jan 1;399–406.
16. Yin N, Shen C, Dong F, Wang J, Guo Y, Bai L. Computer-aided identification of interstitial lung disease based on computed tomography. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2019 Sep 4;27(4):591–603.
17. Yu W, Zhou H, Choi Y, Goldin JG, Teng P, Wong WK, et al. Multi-scale, domain knowledge-guided attention + random forest: a two-stage deep learning-based multi-scale guided attention models to diagnose idiopathic pulmonary fibrosis from computed tomography images. *Medical physics*. 2023 Feb;50(2):894–905.