

基于CiteSpace的国内肺结节CT影像研究热点与趋势分析

刘小如¹, 穆莎莎^{2*}, 丁海丽²

¹天津医科大学医学技术学部, 天津

²西北民族大学语言与文化计算教育部重点实验室, 甘肃 兰州

收稿日期: 2026年8月2日; 录用日期: 2026年8月23日; 发布日期: 2026年9月4日

摘要

本研究利用文献计量学方法, 以中国知网(CNKI) 2000年至2026年收录的关于肺结节CT影像的1932篇文献为数据源, 运用CiteSpace软件进行可视化分析。研究系统梳理了该领域在国内的发展脉络, 将其划分为萌芽、发展和繁荣三个阶段。通过对关键词共现、聚类、突现以及机构合作网络的分析, 论文识别出当前的研究热点为人工智能和影像组学, 并指出了未来发展的核心方向。研究发现, 该领域的研究热点经历了从传统影像技术(如螺旋CT、灌注成像)向智能化诊断(如深度学习、影像组学)的演变。同时, 分析也揭示了国内科研机构间合作网络尚不紧密, 存在较大拓展空间的问题。最后, 论文对未来研究提出了规范影像标准、优化成像技术和推进多中心跨学科研究的建议。

关键词

肺结节, CT影像, CiteSpace, 人工智能, 影像组学, 趋势分析

Hotspots and Trend Analysis of Domestic Research on Pulmonary Nodule CT Imaging Based on CiteSpace

Xiaoru Liu¹, Shasha Mu^{2*}, Haili Ding²

¹Faculty of Medical Technology, Tianjin Medical University, Tianjin

²Key Laboratory of Language and Culture Computing of the Ministry of Education, Northwest Minzu University, Lanzhou Gansu

*通讯作者。

文章引用: 刘小如, 穆莎莎, 丁海丽. 基于 CiteSpace 的国内肺结节 CT 影像研究热点与趋势分析[J]. 统计学与应用, 2026, 15(9): 20-31. DOI: 10.12677/sa.2026.159203

Abstract

This study employs bibliometric methods to conduct a visual analysis using CiteSpace software, based on 1932 articles on CT imaging of pulmonary nodules indexed in the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) database from 2000 to 2026. The research systematically reviews the development trajectory of this field in China, dividing it into three stages: budding, development, and prosperity. Through analyses of keyword co-occurrence, clustering, burst detection, and institutional collaboration networks, the paper identifies current research hotspots as artificial intelligence and radiomics, and pinpoints the core directions for future development. The findings reveal that research hotspots in this field have evolved from traditional imaging techniques (e.g., spiral CT, perfusion imaging) toward intelligent diagnostic approaches (e.g., deep learning, radiomics). Meanwhile, the analysis also uncovers that collaboration networks among domestic research institutions remain relatively loose, with considerable room for expansion. Finally, the paper offers recommendations for future research, including standardizing imaging protocols, optimizing imaging technologies, and promoting multicenter, interdisciplinary studies.

Keywords

Pulmonary Nodule, CT Imaging, CiteSpace, Artificial Intelligence, Radiomics, Trend Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

肺癌作为全球发病率第二、死亡率第一的恶性肿瘤，严重影响人类健康。肺结节作为肺癌的初期表现，及时地发现和准确地诊断其良恶性使患者及早接受治疗，避免错诊漏诊，对于肺癌防治及肺结节的治疗具有重要的意义[1]。CT 图像作为肺结节诊断首选，具有无创及分辨率高等优点，美国肺部筛查试验报告中[2]，使用 CT 图像进行诊断使得肺癌死亡率降低 20%。但是由于肉眼难辨别肺结节，早期肺癌从影像上不易诊断，仍然存在较高的误诊率和漏率。随着数字医疗、智慧影像战略持续推进，人工智能与影像组学逐步成为国内医学影像领域重点关注的研究方向，有助于减轻人工阅片工作量和误诊率。二者依托特征挖掘、自动化病灶识别算法，能够深度挖掘肉眼无法捕捉的定量影像信息，为肺结节检出、良恶性鉴别提供客观量化依据[3]。在此政策与临床需求双重驱动下，国内围绕肺结节 CT 影像、人工智能、影像组学的相关研究持续升温，年度文献产出数量逐年快速增长。

本研究采用文献计量研究方法，利用 CiteSpace 可视化软件绘制关键词共现图谱、聚类图谱、关键词突现图谱、研究机构合作网络图谱，基于这些图谱的量化分析结果，找到该领域现存发展短板与未来创新突破口，剖析了国内肺结节 CT 影像研究整体发展走向与长期发展机遇，本研究期望通过分析该领域未来发展趋势，为科研工作者了解研究前沿、构建跨机构、跨学科的协同研究平台提供了思路参考。通过热点分析，指明该领域的研究可以围绕肺结节根据人工智能和影像组学的结合展开，同时通过 CT 图像后处理技术的深入研究，进一步提升基于 CT 影像的肺结节检出及良恶性鉴别水平。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

本研究以中国知网(CNKI)数据库搜索研究资料,检索式:(主题:肺结节) OR (主题:肺部结节) OR (主题:肺孤立性结节) AND (主题:CT) OR (主题:计算机体层摄影) OR (主题:计算机断层扫描),检索时间设置为2000年至2026年,共获得中文学术期刊检索结果9307条,逐条审查相关性后最终采纳1932条,具体纳入与排除标准详见研究方法部分,并以“Refworks”格式导出。

2.2. 研究方法

本研究应用CiteSpace6.4.R2 (64-bit) Basic 软件,将在CNKI中导出的1932篇文献以纯文本形式导入,软件去重后有效文献1930篇,设置时间范围:2000至2026年,时间切片设定为1年,对年发文量、关键词、机构进行统计分析。为保证研究数据的科学性、准确性与可重复性,本研究对初始检索获得的9307条文献按照以下纳入与排除标准进行严格筛选,筛选流程亦予明确说明。

2.2.1. 纳入标准

- (1) 研究主题:以肺结节(含肺部结节、肺孤立性结节)的CT影像(含计算机体层摄影、计算机断层扫描)为核心研究内容。
- (2) 文献类型:中文学术期刊论文,包括研究论著、综述、技术方法等。
- (3) 时间范围:2000年1月至2026年6月期间发表。
- (4) 语言:中文。
- (5) 内容相关性:文献须涉及肺结节CT影像的影像学诊断、筛查、人工智能辅助诊断、影像组学、后处理技术等与CT影像直接相关的研究内容。

2.2.2. 排除标准

- (1) 主题不符:文献虽包含“肺结节”或“CT”等关键词,但核心内容为非CT影像研究(如单纯外科手术、病理学检查、药物治疗、基因检测等不涉及CT影像分析的研究)。
- (2) 非肺结节CT影像研究:文献以CT影像为手段,但研究对象并非肺结节,如纵隔肿瘤CT、胸腔积液CT、肺部感染CT等与肺结节CT影像无直接关联的研究。
- (3) 重复发表:同一研究内容存在多次发表,或会议摘要与期刊论文、学位论文与期刊论文重复收录等情况,仅保留信息最完整的版本。
- (4) 文献类型不符:新闻报道、科普文章、读者来信、社论评论、无全文的会议摘要等非学术研究文献。
- (5) 数据不完整:文献缺失关键信息(如作者、发表年份、期刊名称等),无法进行有效的计量分析。
- (6) 动物实验及体外研究:以动物模型或体外细胞实验为研究对象,不涉及人体肺结节CT影像的文献。

2.2.3. 文献筛选流程

第一步:初步检索。基于CNKI数据库,按既定检索式进行主题检索,时间限定为2000~2026年,共获得中文学术期刊文献9307条。

第二步:标题与摘要初筛。逐条审查标题与摘要,排除主题不符的文献(非CT影像核心研究与明确非肺结节CT影像研究),剩余约4200条。

第三步:去重。对剩余文献进行查重比对,剔除重复发表文献,仅保留最完整版本,剩余约3100条。

第四步:文献类型与完整性审查。排除非学术文献(新闻报道、科普文章、读者来信、社论评论、无

全文会议摘要等)及缺失关键元数据的文献, 剩余约 2400 条。

第五步: 全文复核。逐篇审读全文, 进一步剔除动物实验、体外研究以及虽涉及 CT 影像但并非以肺结节为核心研究对象的文献, 最终纳入 1932 条。

以上所有纳入文献均以“Refworks”格式导出。

筛选流程可概括为: 9307 条(初步检索)→排除非 CT 影像研究及非肺结节研究→约 4200 条→去重→约 3100 条→排除非学术文献及数据不完整文献→约 2400 条→全文复核→1932 条(最终纳入)。

3. 结果

3.1. 发文量时间分布

将纳入研究的文献按照年份进行整理后绘制发文量时间分布图(见图 1), 从分布图来看国内肺结节 CT 影像研究大致可分为 3 个阶段。

3.1.1. 萌芽阶段(2000~2007 年)

2000~2002 年出现发文量回落现象, 说明国内肺结节 CT 影像研究萌芽初步形成, 且没有形成稳定的发展趋势。2003 年后发文量开始呈现逐年增长趋势说明: 随着多层螺旋 CT 设备逐步普及, 临床医生与影像学者开始关注肺部小结节的 CT 鉴别诊断问题[4], 王成伟[5]等人利用螺旋 CT 靶扫描和增强扫描等技术进行肺结节的诊断, 结果显示此诊断具有敏感性和准确性。李红军[6]利用螺旋 CT 的三维成像技术显示出孤立性肺结节的形态特征并且诊断出了其良恶性。从该阶段的研究来看螺旋 CT 是主要的影像技术, 增强扫描有助于得到清晰的多层图像且三维成像技术已经出现在此阶段。这些研究说明肺结节 CT 影像领域逐步发展起来且势头正旺。

3.1.2. 发展阶段(2008~2017 年)

该阶段年度发文量整体呈现波动上升特征, 但是出现明显波动, 原因在于: 早期肺结节影像识别、良恶性结节鉴别、三维重建等技术仍处于摸索阶段且 CT 影像后处理技术不成熟、研究标准不统一等技术方面的缺陷, 导致年度发文量未形成连续且快速增长的趋势。低剂量能谱 CT 开始应用于肺结节的诊断, CT 图像后处理技术在不断发展, 王英芳[7]根据 CT 多平面重建方法, 得出其对肺部磨玻璃小结节具有较高诊断价值的结论。肖慧娟[8]等人利用低剂量能谱 CT 实现了孤立性肺结节的良恶性鉴别。从整体来看, 发文总量 609 篇较萌芽阶段 167 篇实现翻倍增长, 证明肺结节 CT 影像的临床价值得到行业普遍认可, 研究队伍也持续扩充。

3.1.3. 繁荣阶段(2018~2026 年)

该阶段国家肺癌早筛相关政策落地, 低剂量螺旋 CT 筛查逐步纳入基层常规体检, 人群肺结节检出率显著提升, 临床对肺结节精准 CT 诊断的需求持续扩张。但是仍有回落现象, 原因是传统回顾性临床观察类研究趋于饱和, 行业研究重心转向多模态 CT 融合、大模型算法优化、多中心大数据随访等深度创新方向[9], 创新型研究试验周期更长, 一定程度上短期压缩了基础类文献产出。但整体趋势仍然是上升趋势。刘雨柔[10]利用 CT 影像组学和影像模型实现了肺结节的良恶性鉴别。段秀秀[11]则结合影像学特征和人工智能获得了良好的良恶性结节检出结果。樊少华[12]等人利用 320 排低剂量螺旋 CT 对肺结节进行扫描, 得到了连贯、清晰的影像, 减少了运动伪影, 提高了病灶的检出率和良恶性结节的分辨率。截至数据检索日期, 2026 年已获取文献 80 篇, 人工智能的出现, 让该领域研究迎来一个新的进程, 预估 2026 全年发文总量有望达到 165 篇。

在 2000~2026 年期间, 我国肺结节 CT 影像研究经历了萌芽阶段、发展阶段、繁荣阶段, 在 CNKI 中相关文献数量明显增加。

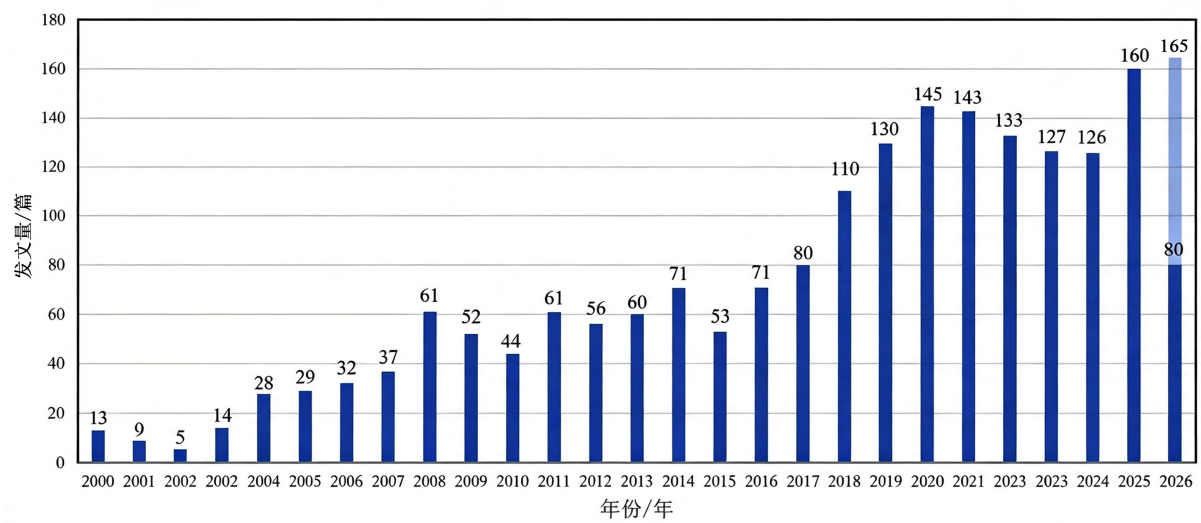


Figure 1. Temporal distribution of annual publication volume of domestic research literature on CT imaging of pulmonary nodules

图 1. 国内肺结节 CT 影像研究文献发文量时间分布

3.2. 关键词共现

对关键词进行共现，关键词出现频率前 10 排序如表 1 所示。同时可绘制出关键词共现网络图谱(见图 2)，图中共出现 252 个节点，755 条连接线，网络密度为 0.0239。

Table 1. High-frequency keywords and their centrality scores

表 1. 高频关键词及中心性词表

频次	关键词	序号	关键词	中介中心性
870	肺结节	1	肺结节	1.28
201	诊断	2	诊断	0.15
102	肺肿瘤	3	肺肿瘤	0.11
101	低剂量	4	低剂量	0.02
99	鉴别诊断	5	鉴别诊断	0.07
97	人工智能	6	人工智能	0.02
65	良恶性	7	良恶性	0.01
56	肺癌	8	肺癌	0.04
53	螺旋 CT	9	螺旋 CT	0.01
52	诊断价值	10	诊断价值	0.02

通过对表 1 的分析，肺结节的中介中心性最高，说明肺结节作为桥梁枢纽连接着其他关键词，同时肺结节的知识交流价值也最高，其他关键词都是围绕肺结节领域展开的[13]。其次，诊断的中介中心性处于第 2 位，论证了肺结节疾病的研究主要是为了进行诊断，提高诊断效能。接着，中介中心性排名依次是肺肿瘤，诊断鉴别和肺癌，表明了肺结节主要依靠诊断鉴别来判断肺肿瘤的良恶性以此来确认是否是肺癌，若是后续则需要进一步治疗。最后，低剂量，人工智能和诊断价值的中介中心性相同，都为 0.02。这说明辐射安全，AI 发展和诊断效能等关键问题成了研究者们关注的热点。

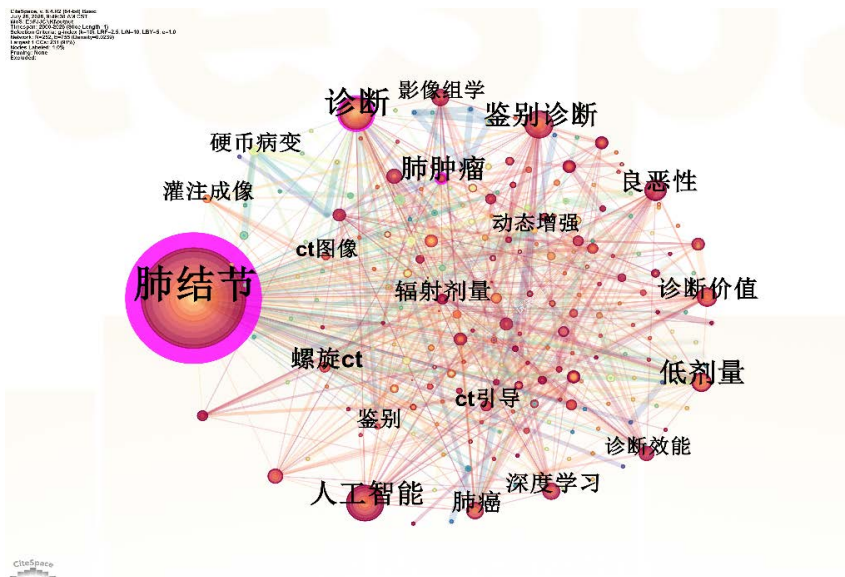


Figure 2. Keyword co-occurrence map of domestic research on CT imaging of pulmonary nodules
图 2. 国内肺结节 CT 影像研究关键词共现图

通过对图 2 的分析发现,肺结节是肺结节 CT 影像研究的核心议题。低剂量螺旋 CT、动态增强扫描、结节良恶性鉴别、CT 影像诊断是肺结节 CT 影像研究的主要方向;人工智能、影像组学、深度学习是肺结节 CT 影像研究的研究热点;肺癌、肺肿瘤则是肺结节 CT 影像研究的主要应用方向。显然,随着人工智能大模型不断优化,应用大模型来进行肺结节的诊断和良恶性肺结节的鉴别诊断成为了研究热点。

此外,随着人工智能大数据的兴起,胸部 CT 影像数据的处理与建模成为肺结节 CT 影像领域研究的关键,特征提取、肺结节分类等技术方法也与之紧密相连,目前,学者们已不再满足于早期依靠医师主观判读的传统 CT 诊断研究方式,更偏向于大量的计算机辅助诊断及深度学习的方法,致力于实现肺结节良恶性诊断与恶性风险预测。国内肺结节 CT 影像的研究呈现出以临床筛查与鉴别应用为主,影像算法、CT 设备技术研究为辅的发展态势。

3.3. 关键词聚类

CiteSpace 依据网络结构和聚类的清晰度,提供了模块值(Q 值)和平均轮廓值(S 值)两个指标,可以作为评判图谱绘制效果的一个依据。一般而言, Q 值一般在[0, 1)区间内, $Q > 0.3$ 意味着划分出来的社团结构是显著的,当 S 值在 0.7 时,聚类是令人信服的,若在 0.5 以上,聚类一般认为是合理的。本研究对国内肺结节 CT 影像研究进行关键词聚类分析得到图 3,节点类型选择关键词,最终得到 5 个聚类,分别是 #0 肺结节, #1 肺肿瘤, #2 低剂量, #3 鉴别诊断, #4 鉴别, #5 CT 引导($Q = 0.359, S = 0.7175$)。 $Q > 0.3$ 聚类结构显著,模块划分有效, $S > 0.7$ 同一聚类内部关键词相似度高,聚类结果可信度高。

通过关键词聚类图,我们发现该领域的内容主要围绕肺结节、肺肿瘤、鉴别诊断、低剂量、CT 引导等词展开。说明国内肺结节 CT 影像研究主要根据此分类展开。一般肺结节的诊断主要是判断肺肿瘤的良恶性,在此诊断过程中学者开始关注 CT 产生的辐射对患者的影响,低剂量 CT 成为一个研究热点,同时诊断鉴别的过程本身是一个耗费精力,为了减轻医师的负担,人工智能模型开始发挥作用,大量学者都开始训练模型以实现肺结节 CT 图像的识别。陈长波通过利用肺部影像人工智能诊断系统,鉴别诊断肺结节性质及肺癌病理类型得出人工智能诊断系统的效能良好的结论。梁勋斯[14]等人通过 CT 引导实现了带钩金属丝在肺磨玻璃结节中的术前定位,取得了较高的成功率。

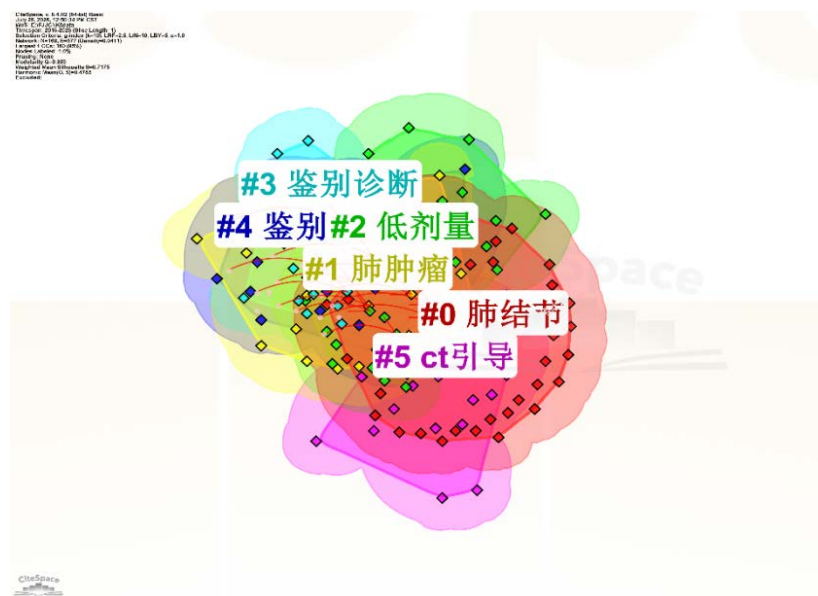


Figure 3. Cluster map of keywords in domestic research on CT imaging of pulmonary nodules
图 3. 国内肺结节 CT 影像研究关键词聚类图

从影像学方面分析，该领域主要依靠低剂量 CT 来开展肺癌的筛查，肺结节有助于诊断出肺癌。低剂量是学者主要关注的领域，如何减少 CT 的辐射剂量、降低对人体的伤害成为该领域的主要研究问题。在既要保证图像质量的同时又要降低辐射剂量，这需要学者对此进行深入研究，找到一个既不会影响图像清晰度又不会产生大量辐射的折中办法。同时 CT 引导也是一个重点领域，它能帮助医师实现肺结节病灶的定位，从而辅助手术及后续治疗的展开。CT 图像的后处理技术是学者们关注的一大热点，张可[15]等人系统概述了 MPR、MIP、MinIP、SSD、MPVR 等 CT 图像后处理技术结合计算机辅助检测系统，在肺结节检测、肺癌良恶性判别等方面的良好诊断效能，梳理了 CT 图像后处理技术的研究进展。

3.4. 关键词突现

对关键词进行突现性检测，突现强度前 24 位关键词如图 4 所示。硬币病变突现强度最高，之后是诊断突现强度大，动态增强时间跨度最大。

2000~2008 年，主要根据螺旋 CT 及灌注成像来进行肺部结节，肺部孤立性结节的诊断以及图像处理。显示了初期主要依靠传统 CT 影像来诊断肺结节相关疾病。李红军[6]进行了螺旋 CT 三维成像技术对孤立性肺结节的应用价值的研究，王成伟[5]等人则在螺旋 CT 靶扫描与 3 期增强扫描联合应用对肺结节的诊断及临床应用价值方面展开研究。

2013~2020 年，数据表明肺结节疾病研究进入了一个新阶段，开始关注辐射剂量，检查手段以及疾病筛查等方面。于是有了低剂量、深度学习、肺癌筛查等关键词。赵志刚[16]研究了孤立性肺结节 CT 灌注成像技术比较及在临床应用中的缺陷。肖慧娟[8]进行低剂量能谱 CT 结合 ASIR 重建鉴别孤立性肺结节的应用研究。

2022~2026 年，研究彻底进入智能化时代，应用人工智能诊断良恶性肿瘤来提高诊断效能，通过影像组学来完成病灶的定位，并且图像质量显著提升。刘雲[1]等人进行了基于深度学习结合解剖学注意力机制的肺结节良恶性分类。范卫杰[17]等人提出了影像组学及深度学习在肺结节良恶性鉴别诊断中的新理念。

Top 24 Keywords with the Strongest Citation Bursts

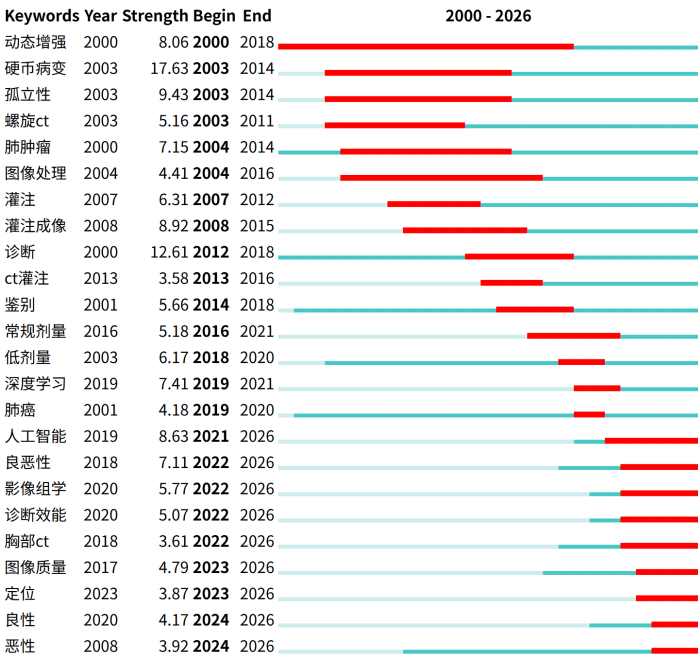


Figure 4. Burst detection map of keywords in domestic research on CT imaging of pulmonary nodules
图 4. 国内肺结节 CT 影像研究关键词突现图谱

3.5. 机构合作网络

如表 2 所示，发文量前 3 的机构依次是大连大学附属中山医院放射科、重庆医科大学附属第一医院放射科、河南大学第一附属医院医学影像科。这 3 个机构的初始发文时间依次为 2018、2019、2023 年，说明发文量前三的机构首次发文时间跨度较大。大连大学附属中山医院放射科、重庆医科大学附属第一医院放射科较早涉足该领域，依靠持续的科研积累实现稳定论文产出。河南大学第一附属医院医学影像科起步较晚，但短时间内产出可观，成长势头显著。三家机构均为高校附属医院影像科室，体现高校附属医院是该领域研究的主力军。表中太原理工大学计算机科学与技术学院、卫生部北京医院核医学科、首都医科大学附属北京友谊医院放射科、中南大学湘雅医院放射科发文量均为 4 篇，而在图 5 中显示的其余机构发文量均为 3 篇。

Table 2. Top 7 institutions by publication volume
表 2. 发文量前 7 的机构

序号	初始发文时间	机构	发文量
1	2018	大连大学附属中山医院放射科	8
2	2019	重庆医科大学附属第一医院放射科	8
3	2023	河南大学第一附属医院医学影像科	7
4	2014	太原理工大学计算机科学与技术学院	4
5	2007	卫生部北京医院核医学科	4
6	2006	首都医科大学附属北京友谊医院放射科	4
7	2005	中南大学湘雅医院放射科	4

机构合作网络图谱(见图 5)中节点有 295 个, 连线只有 71 条, 网络密度 0.0016, 说明机构之间合作少, 图谱中有节点却不显示机构名称的机构发文数量 < 2 篇, 发文量排名前 3 的机构间没有连线, 说明这 3 家机构没有合作。在图中较为明显仅有以解放军总医院核医学科、中国医科大学附属盛京医院放射科为中心的合作网络和以卫生部北京医院核医学科为中心的合作网络, 其余合作网络均不明显或未形成。这充分说明了我国肺结节 CT 影像研究机构之间合作不够紧密。



Figure 5. Institutional collaboration network map
图 5. 机构合作网络图谱

4. 讨论

4.1. 未来研究发展建议

基于上述分析, 本研究对国内肺结节 CT 影像研究的进一步发展提出以下建议: (1) 建立肺结节 CT 影像数据行业标准与共享平台, 明确数据采集、处理、存储与发布各环节规范, 推动科研人员在影像术语与数据库构建方面达成共识。(2) 推动多种 CT 后处理技术融合应用, 实现分割与三维重建技术深度整合, 降低图像伪影与数据偏差, 提升微小结节检出精度。(3) 加强 AI 辅助诊断能力建设, 培养“AI+ 医学”复合型人才, 关注 AI 应用的伦理风险, 同时扩充多中心数据集以提升模型泛化能力。

4.2. 未来发展展望与思考

基于关键词聚类、突现检测及机构合作网络的可视化分析结果, 本文从研究主线、热点迭代规律与机构合作现状三个维度展开讨论, 旨在揭示领域发展趋势并为后续研究提供参考。

4.2.1. 三大研究主线及其提炼逻辑

关键词聚类图谱揭示了领域三大稳定研究主线: 主线一为肺结节良恶性定性诊断, 由#0 肺结节、#3 鉴别诊断、#4 诊断三个语义高度关联的聚类归并而成, 是贯穿全周期的基础方向; 主线二为低剂量 CT 肺癌筛查, 以#2 低剂量聚类为核心, 聚焦辐射安全与人群早筛的平衡; 主线三为 CT 引导微创诊疗一体化, 依托#5 CT 引导聚类, 衔接影像定位与穿刺、消融等临床操作。三条主线构成“诊断-筛查-介入”

闭环：主线一为基础诊断能力，支撑主线二的筛查诊断与主线三的介入诊疗；主线二推动低剂量筛查普及，间接扩大主线一的研究样本量；主线三延伸诊断的下游应用场景。三者相互支撑，构成国内肺结节CT影像研究的完整体系。

4.2.2. 研究热点迭代规律与阶段性模型

结合关键词突现时序演化规律，领域研究热点呈现清晰的阶段性迭代：2000~2008 年以螺旋 CT、灌注成像、硬币病灶等传统形态学分析为主；2013~2020 年低剂量扫描与肺癌筛查成为重心，辐射剂量管控与标准化扫描方案逐步受到重视；2022~2026 年人工智能、深度学习、影像组学及诊断效能成为前沿突现热点，智能化辅助诊断成为现阶段核心探索方向。综合聚类分析与突现时序演化规律，本文构建了国内肺结节 CT 影像研究主题演化的阶段性模型(见表 3)。

Table 3. A phase model of thematic evolution in domestic research on CT imaging of pulmonary nodules
表 3. 国内肺结节 CT 影像研究主题演化阶段性模型

演化阶段	时间区间	核心聚类支撑	突现关键词代表	研究热点特征
萌芽期	2000~2008	#0 肺结节、 #4 诊断	螺旋 CT、 灌注成像、 硬币病变	以传统 CT 影像形态学分析为主，依赖医师经验判读，研究集中于孤立性肺结节的影像特征描述与鉴别诊断
过渡期	2009~2017	#0 肺结节、 #2 低剂量、 #3 鉴别诊断	低剂量、 肺癌筛查、 增强扫描	低剂量 CT 筛查兴起，辐射剂量管控成为关注点，研究开始从单一影像诊断向多参数、多功能 CT 方向发展
智能化转型期	2018~2021	#0 肺结节、 #2 低剂量、 #5 CT 引导	深度学习、 人工智能、 影像组学	人工智能技术引入，深度学习与影像组学方法开始应用于肺结节辅助诊断，研究重心从传统影像向智能化转型
深度融合期	2022~2026	#0 肺结节、 #1 肺肿瘤、 #3 鉴别诊断	影像组学、 诊断效能、 深度学习	AI 与影像组学深度融合，多任务智能诊断模型涌现，CT 后处理技术融合与低剂量优化持续推进，跨学科合作需求凸显

从该模型可以看出，国内肺结节 CT 影像研究经历了从“经验驱动”到“数据驱动”再到“智能驱动”的范式转换，研究热点迭代呈现明显的阶段性递进特征：每一阶段的新兴热点均建立在前一阶段的技术积累之上，而非简单的主题替换。这种迭代规律提示，未来研究突破需在现有智能化基础上进一步向多模态融合、临床决策支持等方向延伸。

4.2.3. 机构合作现状

机构合作网络图谱显示，全国 295 家研究机构仅存在 71 条合作连线，头部三甲医院放射科室之间缺乏协同联动，跨区域、多中心联合研究供给不足，机构协作层面存在较大拓展空间。

4.2.4. 三大持续性核心研究热点

综合上述可视化分析结果，当前领域形成三大持续性核心研究热点。

(1) 肺结节 CT 影像数据库标准化与共享体系研究。各级医疗机构影像数据独立存储、互不连通，不同设备与扫描参数带来的数据异质性，以及罕见亚型结节与微小磨玻璃结节样本稀缺，极易导致 AI 模型分类偏倚。我国已起草行业标准《人工智能医疗器械质量要求和评价第 2 部分：数据集通用要求》并进入报批阶段；数据集应涵盖实性结节、亚实性结节(含混杂与纯磨玻璃密度结节)及钙化结节等类型。在影像参数标准化方面建议：统一规定层厚(建议 $\leq 1\text{ mm}$ 薄层)、重建核/算法、管电压与管电流、扫描视野(FOV)、矩阵尺寸、像素间距及窗宽窗位等核心参数。在标注信息标准化方面，应规范结节位置(肺叶/肺

段定位)、结节类型、最大径与体积测量、边缘特征(分叶、毛刺、胸膜凹陷征等)、诊断置信度评分及随访变化记录等要素,并采用双人独立标注、第三方仲裁的质控机制(Kappa 值 ≥ 0.75)。标准化多中心数据集是 CT 影像与 AI 研究的数据底层支撑,具备长期研究价值。

(2) 多类 CT 后处理技术融合与成像方案优化研究。常规 CT 依据结节形态学特征诊断,误诊率较高,图像后处理与 CT 功能优化成为稳定研究热点。能谱 CT 的引入使 CT 诊断从形态学拓展至功能学层面,其多参数定量分析在评估结节良恶性、分型及预后方面优势日益凸显。现有研究不再局限于单一重建或分割算法,更注重多种后处理技术优势互补,通过融合三维重建与精细分割算法降低伪影与噪声干扰,保留微小结节影像特征。同时围绕低剂量 CT、灌注 CT 与能谱 CT 开展扫描参数优化,在保障微小隐匿结节与磨玻璃结节可视化清晰度的前提下控制辐射暴露。在成像方案优化方面,建议重点推进:一是制定低剂量 CT 筛查标准化扫描协议,明确不同风险人群的推荐参数与随访周期;二是建立能谱 CT 多参数定量分析标准操作流程(SOP);三是探索 CT 与 PET、MRI 等多模态融合诊断方案,以功能代谢信息弥补单纯形态学评估的不足。

(3) 跨学科交叉融合与机构合作研究。人工智能与深度学习自 2019 年持续保持高强度突现,是近年增速最快的前沿方向,但领域痛点集中于单中心数据集训练导致的模型过拟合,以及现有智能模型功能单一、无法覆盖随访与术前评估等多元临床场景。医疗影像 AI 技术的突破需“AI + 医学”复合型人才驱动,而多机构合作可扩充样本库、优化算法、提升罕见结节与微小结节识别精准率。在跨学科合作平台建设方面,本研究建议:一是建立“肺结节 CT 影像多中心协作网络”,以国家临床医学研究中心为核心节点,联合各省三甲医院放射科,形成标准化数据采集与共享机制;二是搭建“AI + 影像”开源协作平台(类 TCIA 国内版),汇集脱敏数据集与标注信息,提供算法评测基准与排行榜;三是设立“医学影像 AI 联合实验室”,由医学院校与计算机院系共建,实行双导师制培养复合型研究生;四是建立“肺结节 CT 影像研究联盟”,定期举办跨学科研讨会,推动从单一结节诊断向全流程临床决策支持的技术升级。

综上,国内肺结节 CT 影像领域发展潜力显著。未来研究可围绕标准化数据建设、CT 成像技术优化、跨学科智能算法三大主线深耕,同时主动开展跨机构协同研究,依托国内庞大的肺癌筛查人群与病例资源,持续提升肺结节 CT 精准诊疗整体水平。

基金项目

本文为西北民族大学“兰山人才”工程项目阶段性成果(批准号:xbmulsrc202504)。

参考文献

- [1] 刘雲,王一达,张成秀,等. 基于深度学习结合解剖学注意力机制的肺结节良恶性分类[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(11): 1441-1447.
- [2] The National Lung Screening Trial Research Team (2011) Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening. *New England Journal of Medicine*, 365, 395-409. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1102873>
- [3] 萧毅,刘士远. 肺结节影像人工智能技术现状与思考[J]. 肿瘤影像学, 2018, 27(4): 249-252.
- [4] 刘士远,肖湘生. 孤立性肺结节的处理策略[J]. 中华放射学杂志, 2005, 39(1): 6-8.
- [5] 王成伟,李勇. 螺旋 CT 靶扫描与 3 期增强扫描联合应用对肺结节的诊断及临床应用价值[J]. 中国现代医学杂志, 2007, 17(24): 3043-3046.
- [6] 李红军. 螺旋 CT 三维成像技术对孤立性肺结节的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2006, 16(7): 708-710.
- [7] 王英芳. CT 多平面重建定性诊断肺部磨玻璃小结节的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2017, 1(12): 90-91.
- [8] 肖慧娟,谭红娜,梁盼,高剑波,等. 低剂量能谱 CT 结合 ASIR 重建鉴别孤立性肺结节的应用研究[J]. 中华肺部疾病杂志, 2016, 9(4): 396-399.
- [9] 邵俊,罗汶鑫,李为民. 肺癌的早期诊治进展与展望[J]. 临床内科杂志, 2025, 42(11): 881-884.

-
- [10] 刘雨柔. CT 影像组学在肺结节诊断中的相关研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 中国人民解放军空军军医大学, 2022.
- [11] 段秀秀. 肺结节临床及影像学特征与人工智能对肺结节良恶性的诊断价值[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 蚌埠医科大学, 2025.
- [12] 樊少华, 高艳艳, 樊文华. 胸部螺旋 CT 低剂量扫描对肺结节的诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2026, 10(5): 177-179.
- [13] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [14] 梁勋斯, 张爱平, 陆文仁, 等. CT 引导下带钩金属丝在肺磨玻璃结节术前定位中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2026, 43(6): 798-802.
- [15] 张可, 张芸丹, 韩科. CT 图像后处理技术对肺结节良恶性鉴别诊断研究进展[J]. 实用放射学杂志, 2026, 42(4): 663-665.
- [16] 赵志刚. 孤立性肺结节 CT 灌注成像技术比较及在临床应用中的缺陷[J]. 贵阳中医学院学报, 2012, 34(5): 140-141.
- [17] 范卫杰, 张冬. 影像组学及深度学习在肺结节良恶性鉴别诊断中的新理念[J]. 中华肺部疾病杂志, 2021, 14(5): 549-553.