

本文引文格式:谈洁颖,李瑞方,杨霞,等.人工智能在肺部肿瘤临床诊疗中的研究热点及发展趋势:  
基于CiteSpace的文献计量分析[J].右江民族医学院学报,2025,47(3):472-477.

【论著与临床报道】

## 人工智能在肺部肿瘤临床诊疗中的研究热点及发展趋势: 基于CiteSpace的文献计量分析

谈洁颖,李瑞方,杨霞,宁宗

(广西医科大学第一附属医院,广西南宁 530021)

**摘要:**目的 人工智能发展迅速,其应用于肺部肿瘤领域的研究论文数量增幅较大,明确该领域的研究热点及未来趋势,为后续研究提供重要参考。方法 在Web of Science检索2013—2024年关于人工智能应用于肺部肿瘤的文献,运用CiteSpace软件进行可视化分析。结果 最终纳入5 327篇文献。年发文量逐年增长,中国和美国处于领先地位;中国科学院、哈佛大学和德克萨斯大学发文量排行前三,但研究者和机构之间缺乏跨区域合作。分析关键词和文献被引结果,研究热点主要集中在医学图像分析。结论 人工智能在肺部肿瘤领域的应用研究呈上升趋势,肺部肿瘤的诊断与分类、预测肺癌化疗反应及预后分析是当前的研究热点,而图像分析和人工智能算法性能的提升可能会成为未来的研究趋势。

**关键词:**肺肿瘤;人工智能;研究热点;研究趋势;文献计量学

中图分类号:R734.2

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2025)03-0472-06

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2025.03.016

### Research hotspots and development trends of artificial intelligence in the clinical diagnosis and treatment of lung tumors: a bibliometric analysis based on CiteSpace

TAN Jieying, LI Ruifang, YANG Xia, NING Zong

(The First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, Guangxi, China)

**Abstract:** **Objective** To identify the research hotspots and future trends in the application of artificial intelligence (AI) in lung tumors, given the rapid development of AI and the significant increase in related research papers, and to provide crucial references for subsequent studies. **Methods** Literature on the application of AI in lung tumors from 2013 to 2024 was retrieved from the Web of Science database, and visual analysis was performed using CiteSpace software. **Results** A total of 5 327 articles were ultimately included. The annual number of publications has been increasing year by year, with China and the United States taking the lead. The Chinese Academy of Sciences, Harvard University, and the University of Texas ranked among the top three institutions in terms of publication output. However, cross-regional cooperation among researchers and institutions was lacking. Analysis of keywords and citation results showed that research hotspots were mainly concentrated in medical image analysis. **Conclusion** Research on the application of AI in lung tumors is on an upward trend. Diagnosis and classification of lung tumors, prediction of chemotherapy response, and prognostic analysis are current research hotspots. Furthermore, improvement of image analysis and perform-

基金项目:广西研究生教育创新计划项目(JGY2023080);广西壮族自治区卫生健康委西医类自筹经费科研课题(Z-A20220406)

第一作者:谈洁颖,在读硕士研究生,研究方向:急性肺损伤、慢病管理,E-mail:tan\_jieying@163.com

通讯作者:宁宗,主任医师,博士研究生导师,研究方向:未分化疾病、慢病管理,E-mail:gxningzong@aliyun.com

ance of AI algorithms may become future research trends.

**Key words:** lung neoplasms; artificial intelligence; research hotspots; research trends; bibliometrics

原发性肺癌是全球常见的恶性肿瘤之一。据统计,2020 年肺癌的全球新发病例占有所有新发癌症病例的 11.4%,位居新发癌症病例的第二位;死亡患者占有所有癌症死亡病例的 18.0%,位居癌症死亡病例首位<sup>[1]</sup>。肺部肿瘤的分类对其诊断、治疗和预后具有重要意义,且早期诊断和规范化治疗是提高生存率的关键。近年来,人工智能(artificial intelligence, AI)在医疗领域得到快速发展,并有望通过区分肺部良、恶性结节,参与肺癌的早期诊断,在肺癌的分类分期、治疗选择以及监测治疗反应方面亦展现出较大的优势和应用前景<sup>[2]</sup>。随着人工智能技术在肺部肿瘤研究中的广泛运用,相关领域出现了大量高质量文献。基于 Web of

Science 数据库,运用文献计量学方法对这些文献的分析,能全面呈现该领域的研究进展和当前的热点趋势,为未来研究提供积极的指导。

## 1 资料和方法

1.1 数据来源 计算机检索 Web of Science(WOS)数据库核心合集,搜集与人工智能及肺部肿瘤主题相关的国内外研究,检索时限为 2013 年 1 月至 2024 年 10 月。发表语言限定为英文。排除信函、社论、书籍、摘要、会议等类型的文献。剔除与本研究主题、内容不相关的文献,最终纳入 5 327 篇,包括 Article 4 661 篇(87.50%)和 Review Article 666 篇(12.50%)。检索词详见表 1。

表 1 2013—2024 年人工智能应用于肺部肿瘤领域的检索词

步骤	检索词
1	bronchial neoplasm(支气管肿瘤);lung neoplasm(肺肿瘤);pulmonary neoplasm(肺肿瘤);lung cancer(肺癌);pulmonary cancer(肺癌);lung carcinoma(肺癌);pulmonary carcinoma(肺癌);bronchopulmonary carcinoma(支气管癌)
2	artificial intelligence(人工智能);AI(人工智能);big data(大数据);machine learning(机器学习);deep learning(深度学习);computational intelligence(计算智能);machine intelligence(机器智能);computer reasoning(计算机推理)
3	1 AND 2

1.2 分析方法 使用 CiteSpace 6.3.R1 信息可视化软件进行数据汇总和分析,包括发文量、国家、机构、作者和关键词等。设置时间段为“2013—2024 年”,时间分割为 1 年。根据分析主题,“Node Types”分别选择“Author”“Institutions”及“Keywords”的共引用信息;“Selection criteria”选择自然算法“g-index”,可以通过调整比例因子 K 值,调节图谱出现的节点数,裁剪区域(Pruning)选择 Pathfinder、Pruning sliced networks 和 Pruning the merged networks,以简化网络和突出其重要的结构特征,分别得到作者、机构、关键词共现的知识图谱。其中,关键词突现分析是指在一段时间内被频繁引用的关键词,可根据突现词的时间分布、动态变化及突现值,探索某一领域的发展趋势。

1.3 数据分析及判断标准 使用发文量、中介中心性、聚类模块值和平均轮廓值等指标对可视化结果进行评价。利用 Excel 表分析年发文量,根据  $R^2$  的大小选择合适的趋势线反映发文趋势, $R^2$  值越接近 1,说明趋势线拟合效果越好。中介中心性可代表关键词节点在整个关键词共现图谱中的重要性,高频次和高中介中心性(中心性 $\geq 0.1$ )的关键词在一定程度上可反映该领域的研究热点。聚类模块值(Q 值) $> 0.30$ ,表明该图谱的模块独立性较好;平均轮廓值(S 值) $> 0.70$ ,

表明聚类结果合理且显著,具有较高的可行性<sup>[3]</sup>。

## 2 结果

2.1 年发文量分析 经筛选,纳入分析 5 327 篇文献。2013—2024 年,人工智能应用于肺部肿瘤领域的平均年发文量为 444 篇,年发文量总体呈增长趋势。2017 年后,发文量明显上升,2023 年达到顶峰(1 149 篇)。2024 年因收录不全,发文量较 2023 年低,但截至检索日期,2024 年文献已有 1 142 篇。对目前发文情况进行二阶多项式曲线拟合,趋势线  $R^2 = 0.9645$ ,模型拟合较好,预测 2025 年发文量将继续增长。见图 1。

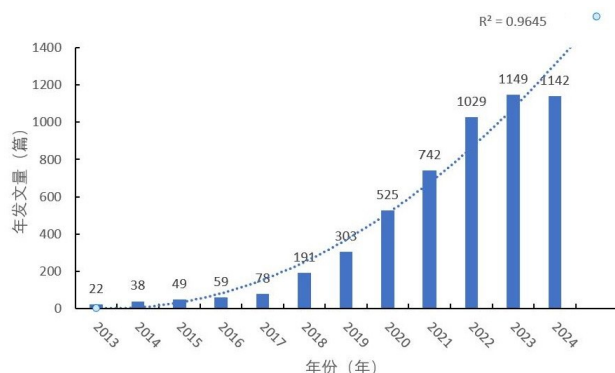


图 1 2013—2024 年人工智能应用于肺部肿瘤领域的年度发文量



2.5.2 关键词聚类分析 关键词聚类图谱可见, Q 值 = 0.8369, S 值 = 0.9328, 说明聚类同质性和一致性较好, 见图 5。图中每个色块区域代表 1 个聚类, 10 个聚类分别代表 10 个研究主题, 即当前人工智能应用于肺部肿瘤的研究热点, 主要可分为 3 类: ①人工智能所使用的模型, 包含 deep learning(深度学习)、artificial intelligence(人工智能)、machine learning(机器学习)、convolutional neural network(卷积神经网络)等; ②人工智能辅助肺部肿瘤的诊断及分类功能, 包含 computer-aided diagnosis(计算机辅助诊断)、digital pathology(数字病理)、feature extraction(特征提取)、image segmentation(图像切割)、image classification(图像分类)等; ③人工智能辅助肺部肿瘤的治疗及预后预测功能, 包含 radiation therapy(放疗)、chemotherapy(化疗)、immunotherapy(免疫疗法)、precision medicine(精准医疗)、survival(生存期)、prognosis(预后)等。



图 5 关键词聚类图谱

2.5.3 关键词突现分析 在 2013—2024 年, 关键词 computer-aided diagnosis(计算机辅助诊断)突现强度最大, gene expression(基因表达)突现持续时间最长, 说明其对该领域研究影响较大。2016 年后, big data(大数据)、false positive reduction(减少假阳性率)、features(特征)、texture analysis(纹理分析)等关键词增多, 说明对该领域的探索不断加深。此外, 关键词 immune checkpoint inhibitors(免疫检查点抑制剂)、support vector machine(支持向量机)、proliferation(增殖)和 nodule detection(结节检测)等一直突现至今, 见图 6。

### Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2013 - 2024
lung cancer	2013	13.59	2013	2017	[Red bar]
gene expression	2013	8.12	2013	2019	[Red bar]
breast cancer	2014	11.85	2014	2017	[Red bar]
cell lung cancer	2015	14.92	2015	2019	[Red bar]
expression	2013	7.11	2015	2017	[Red bar]
big data	2016	13.49	2016	2019	[Red bar]
computer aided diagnosis	2017	15.02	2017	2020	[Red bar]
selection	2017	10.61	2017	2019	[Red bar]
features	2017	5.57	2017	2020	[Red bar]
false positive reduction	2018	11.19	2018	2020	[Red bar]
texture analysis	2018	8.44	2018	2020	[Red bar]
shape	2018	6.5	2018	2020	[Red bar]
lung nodules	2018	5.44	2018	2019	[Red bar]
texture	2019	9.58	2019	2020	[Red bar]
head	2015	5.91	2019	2020	[Red bar]
ensemble	2020	6.14	2020	2021	[Red bar]
sensitivity	2021	6.81	2021	2022	[Red bar]
volume	2021	6.47	2021	2022	[Red bar]
surgery	2021	6.47	2021	2022	[Red bar]
deep	2022	8.45	2022	2024	[Red bar]
immune checkpoint inhibitors	2022	7.92	2022	2024	[Red bar]
algorithms	2022	7.66	2022	2024	[Red bar]
proliferation	2022	6.86	2022	2024	[Red bar]
nodule detection	2022	6.6	2022	2024	[Red bar]
support vector machine	2022	5.81	2022	2024	[Red bar]

图 6 关键词突现图谱

### 3 讨论

3.1 研究现状分析 本研究结果显示, 人工智能应用于肺部肿瘤领域的年发文量总体呈增长趋势, 研究较活跃, 年发文量增长曲线呈“S”形, 推测未来将会有更多的研究人员参与该领域的研究。根据国家分析结果, 中国和美国在此领域中发文量较多, 然而影响力方面, 我国仍落后于美国。这是因为美国在人工智能领域发展较早, 其早期建立的技术优势已演变为持久的竞争优势, 但在“健康中国”和“科技强国”战略的引领下, 我国坚持需求导向和循证思维, 促进健康医疗人工智能的高质量发展<sup>[4]</sup>, 在该领域有一定的影响力。在研究机构方面, 国内发表了多篇高质量论文, 有一定的学术影响力, 但中心性较低。说明我国科研机构有巨大的潜力, 可凭借技术资源和规模不断提高自身硬实力。从发文作者来看, 作者群内联系较为紧密, 但网络图谱共现密度不高, 国内及国际的研究人员合作较少。人工智能在健康医疗领域的运用是全球的共同愿景, 但地区经济发展和社会管理模式的差异, 导致人工智能发展和治理导向的政策路径大有区别<sup>[5]</sup>, 各国人工智能发展水平不一。然而健康医疗人工智能全球合作对跨国数据共享、统一伦理规范及协同技术突破等至关重要, 各国研究人员应加强相互合作。在我国“互联网+健康医疗”政策的宏观引导下, 国内研究人员对人工智能在肺部肿瘤领域的应用展现出极大的积极性,

取得了一定的进展,但困难与挑战也较为明显。因此,我国研究人员在未来应更加注重提升论文质量,加强国家、机构、作者之间的合作,推动学术研究的深入发展。

3.2 当前研究热点 基于关键词分析,发现当前的研究热点主要聚焦于医学图像分析,具体可分为两个方面:人工智能辅助肺部肿瘤的筛查、诊断及分类功能,人工智能辅助肺部肿瘤的治疗及预后预测功能。

3.2.1 肺部肿瘤的筛查、诊断及分类 肺部肿瘤的早诊早治对于提高患者的生存率尤为关键<sup>[6]</sup>。然而肺部肿瘤影像数据集数量庞大,肿瘤位置、形态不一,给影像科医师准确、快速地诊断带来了较大的困难。人工智能可以处理大批量、高维度的信息,能有效地提高医生的工作效率,为患者提供精准医疗。2012年后,人工智能进入快速发展期,计算机辅助诊断在医学影像学领域价值越来越大,但其敏感性和特异性限制了它在临床的广泛应用<sup>[7]</sup>。为了降低假阳性和假阴性率,ARDILA D等<sup>[8]</sup>在2019年提出了一种三维深度学习算法,通过低剂量计算机断层扫描(Low-dose computed tomography, LDCT)进行端到端肺癌筛查,即仅使用输入CT数据执行定位和肺癌风险分类任务。在最近的一项针对中国体检人群的真实世界研究中<sup>[9]</sup>,相较于人工阅片,WU J X等<sup>[9]</sup>在肺结节的LDCT筛查过程中使用的人工智能辅助诊断系统,能显著地提高检出效率,人工智能在临床实践中作为肺癌筛查的辅助工具表现出相当大的潜力。XU X Y<sup>[10]</sup>等提出了一种MSCS-DeepLN方法,以解决小数据集过拟合和数据类别失衡的问题,来评估肺结节的恶性。而在诊断方面,病理检查是现阶段临床疾病诊断的金标准。区别于以往仅能区分良、恶性结节的人工智能模型,WANG C D等<sup>[11]</sup>首次提出了一种用于肺结节评估的深度卷积神经网络,用于在无创CT影像的基础上识别肺结节的影像学特征和预测肺结节的病理亚型,这为临床实践提供了重要的指导。但WANG C D等<sup>[11]</sup>的研究为单中心回顾性研究,缺乏外部验证,且影像组学和深度学习均受图像数据集的影响<sup>[12]</sup>,目前肺肿瘤公开的数据集尚未能满足临床需要,病理学家的作用不可替代<sup>[13]</sup>,现阶段人工智能与病理学家的联合可以使肺肿瘤的诊断更加有效和准确。

3.2.2 肺部肿瘤的治疗及预后预测功能 人工智能在肺肿瘤治疗中的应用正在迅速发展,其在利用诊疗过程中的图像预测治疗效果和生存期、进行随访评估等方面有较大的优势<sup>[14]</sup>。肿瘤免疫治疗尤其是免疫检查点抑制剂,是近几年肿瘤治疗领域较成功的治疗方法之一,但针对免疫检查点的治疗并非对所有患者都有效。准确识别患者对免疫治疗的潜在反应至关重

要,以免给患者带来不必要的昂贵药物支出和潜在的毒性作用<sup>[15]</sup>。在2019年,TREBESCHI S等<sup>[16]</sup>研究发现影像组学特征和免疫治疗反应之间存在关联,可通过机器学习算法量化癌症病变的放射学特征,以非侵入性放射学生物标志物预测免疫治疗的反应。YANG X L等<sup>[17]</sup>采用3种不同的机器学习算法,构建并验证了一种基于免疫检查点基因的列线图,用于预测肺腺癌患者的预后和免疫检查点阻断疗法的疗效。人工智能还可以辅助放射科医生制定放疗计划,通过分析肿瘤形状、位置和周围组织,优化放疗剂量分布,以提高治疗效果并减少对正常组织的损伤,同时进行实时监测与调整。SUN W B等<sup>[18]</sup>的研究,将高斯过程(GP)模型与深度神经网络(DNN)相结合,将专家的人类知识与人工智能的建议相结合,以优化临床决策,并在一个非小细胞肺癌患者综合数据集中得到了验证。XU H Z等<sup>[19]</sup>利用当地医院的非小细胞肺癌患者的隐匿性淋巴结转移数据集,开发了一种新的隐匿性淋巴结转移网络学习模型,以帮助医生预测隐匿性的淋巴结转移,制定适当的手术和治疗干预措施。随着技术的不断进步,人工智能为患者提供了更加个性化和精准的治疗,它在肺肿瘤治疗中的应用将进一步扩展和深化。

3.3 未来研究趋势 基于关键词突现分析发现,未来的研究热点可能仍聚焦于医学图像分析,即人工智能对肺部肿瘤的筛查、诊断及分类,人工智能辅助肺部肿瘤的治疗及预后预测功能,同时人工智能算法性能的提升可能会成为新的研究趋势。尽管人工智能在肺部肿瘤领域的应用潜力巨大,但仍然存在一些问题。人工智能算法依赖于大量高质量的数据进行训练,数据共享开放机制不完善,数据质量和数量的不足是主要问题<sup>[20]</sup>。其次,人工智能模型的可解释性不足是另一个挑战,如深度学习是一个复杂的黑盒模型,难以解释其机制及决策过程<sup>[21]</sup>,而医生需要理解模型的预测以做出临床决策。除此之外,还有现有结果的准确性和可靠性不足<sup>[22]</sup>,数据可重复性低,缺乏人工智能算法的标准工作流程或方法等不足。为了提升人工智能算法的性能,科研人员可以采取以下措施:建立更大规模和多样化的数据库,整合不同来源的数据,如基因组、影像学和临床信息,以提高模型的泛化能力;开发可解释性更强的人工智能模型,采用可解释机器学习技术,帮助医生理解模型的决策逻辑;进行跨学科合作,结合临床专家的知识经验,优化算法设计和应用。未来,科研工作者应紧密合作,持续关注算法的伦理和安全性问题,在医疗实践中不断完善应用、评估和改进人工智能技术。

#### 4 研究局限

本研究存在一定的局限性,仅纳入了 WOSCC 数据集中的英文文献,数据可能存在疏漏;研究时限较短,近期高质量文献的尚未被数据库收录发表,难以反映该领域最新动态,未来研究可在此方面进行改进。

#### 5 结论

综上所述,人工智能在肺部肿瘤领域的应用研究呈上升趋势,肺部肿瘤的诊断与分类、预测肺癌化疗反应及预后分析是当前的研究热点,而图像分析和人工智能算法性能的提升可能会成为未来的研究趋势。未来,还应当增强国家、机构、作者之间的合作,推动智能医学的发展,为患者带来更加优质便捷的医疗服务。

#### 参考文献:

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] BI W L, HOSNY A, SCHABATH M B, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: clinical challenges and applications[J]. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(2): 127-157.
- [3] 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.
- [4] 詹启敏, 董尔丹. 健康医疗人工智能指数报告 2023[M]. 北京: 科学出版社, 2024: 13-23.
- [5] 王威力, 王玥珺. 全球 AI 治理中的社会技术想象——人工智能发展规划的国际比较分析[J]. *情报资料工作*, 2025, 46(3): 102-112.
- [6] 李永乐, 韦万硕, 蒋利和. SERINC1 表达在肺癌中的预后作用及与肿瘤免疫浸润的关系[J]. *右江民族医学院学报*, 2024, 46(4): 486-496.
- [7] 李倩, 刘颖, 张宇威, 等. 人工智能在肺部肿瘤影像诊断中的研究进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2020, 47(2): 55-59.
- [8] ARDILA D, KIRALY A P, BHARADWAJ S, et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography[J]. *Nat Med*, 2019, 25(6): 954-961.
- [9] WU J X, LI R C, GAN J D, et al. Application of artificial intelligence in lung cancer screening: a real-world study in a Chinese physical examination population [J]. *Thorac Cancer*, 2024, 15(28): 2061-2072.
- [10] XU X Y, WANG C D, GUO J X, et al. MSCS-DeepLN: Evaluating lung nodule malignancy using multi-scale cost-sensitive neural networks [J]. *Med Image Anal*, 2020, 65: 101772.
- [11] WANG C D, SHAO J, XU X Y, et al. DeepLN: a multi-task AI tool to predict the imaging characteristics, malignancy and pathological subtypes in CT-detected pulmona-

ry nodules[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 683792.

- [12] 崔冬梅, 魏国辉, 张喜科, 等. 肺部肿瘤影像辅助诊断分类算法研究进展[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2022, 29(7): 892-898.
- [13] RAKHA E A, TOSS M, SHIINO S, et al. Current and future applications of artificial intelligence in pathology: a clinical perspective[J]. *J Clin Pathol*, 2021, 74(7): 409-414.
- [14] LI J W, WU J Y, ZHAO Z H, et al. Artificial intelligence-assisted decision making for prognosis and drug efficacy prediction in lung cancer patients: a narrative review[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(12): 7021-7033.
- [15] LI Y P, CHEN T H, NIE T Y, et al. Hyperprogressive disease in non-small cell lung cancer after PD-1/PD-L1 inhibitors immunotherapy: underlying killer [J]. *Front Immunol*, 2023, 14: 1200875.
- [16] TREBESCHI S, DRAGO S G, BIRKBAK N J, et al. Predicting response to cancer immunotherapy using noninvasive radiomic biomarkers[J]. *Ann Oncol*, 2019, 30(6): 998-1004.
- [17] YANG X L, ZENG Z, WANG C, et al. Prognostic model incorporating immune checkpoint genes to predict the immunotherapy efficacy for lung adenocarcinoma: a cohort study integrating machine learning algorithms[J]. *Immunol Res*, 2024, 72(4): 851-863.
- [18] SUN W B, NIRAULA D, EI NAQA I, et al. Precision radiotherapy via information integration of expert human knowledge and AI recommendation to optimize clinical decision making[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2022, 221: 106927.
- [19] XU H Z, WU J Q, YU Y J, et al. Occult lymph node metastasis prediction in non-small cell lung cancer based self-supervised pretrained and hyperbolic theory[J]. *Appl Soft Comput*, 2024, 164: 111949.
- [20] FERRO A, BOTTOSSO M, DIECI M V, et al. Clinical applications of radiomics and deep learning in breast and lung cancer: a narrative literature review on current evidence and future perspectives[J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2024, 203: 104479.
- [21] LI Y W, WU X, YANG P, et al. Machine learning for lung cancer diagnosis, treatment, and prognosis[J]. *Genomics Proteomics Bioinformatics*, 2022, 20(5): 850-866.
- [22] WANG T W, HONG J S, HUANG J W, et al. Systematic review and meta-analysis of deep learning applications in computed tomography lung cancer segmentation[J]. *Radiother Oncol*, 2024, 197: 110344.

收稿日期: 2025-03-15; 修回日期: 2025-03-22

(本文编辑 覃黎黎)