

早期肺结节的多模态诊断策略：整合影像学、生物标志物与风险分层

左陈兵¹, 李向群^{2*}

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²吉首大学附属第四临床学院, 湖南 怀化

收稿日期: 2025年8月2日; 录用日期: 2025年8月26日; 发布日期: 2025年9月3日

摘要

随着影像学的发展以及低分辨CT的普及, 人们的健康意识水平的提高, 特别是自2019年新冠疫情爆发以来, 越来越多的肺结节, 因体检或住院期间完善胸部CT被发现, 虽然绝大部分肺结节都是良性的, 但由于早期恶性结节没有特殊的临床症状及表现, 这导致了人们对肺结节存在一定的恐慌情绪。目前针对肺结节良恶性鉴别主要是依靠影像组学表现而进行诊断, 因为早期恶性结节诊断困难, 导致临床上仍然存在一定的漏诊及误诊率, 一旦漏诊可能会导致患者错过手术治疗的黄金期, 这也导致很多良性结节过度诊疗的情况, 正因如此影像科医生、临床医生也产生了很大的压力, 对于肺结节的处理一直是一个棘手的难题, 本文主要是针对早期肺良恶性肺结节的诊疗展开综述。

关键词

肺结节, 早期诊断, 计算机断层扫描(CT), 人工智能, 循环标记物

Multimodal Diagnostic Strategy for Early Lung Nodules: Integration of Imaging, Biomarkers and Risk Stratification

Chenbing Zuo¹, Xiangqun Li^{2*}

¹College of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

²Fourth Clinical College, Jishou University, Huaihua Hunan

Received: Aug. 2nd, 2025; accepted: Aug. 26th, 2025; published: Sep. 3rd, 2025

*通讯作者。

文章引用: 左陈兵, 李向群. 早期肺结节的多模态诊断策略: 整合影像学、生物标志物与风险分层[J]. 临床医学进展, 2025, 15(9): 116-122. DOI: 10.12677/acm.2025.1592465

Abstract

With advancements in imaging technology and the widespread use of low-resolution CT scans, coupled with heightened public health awareness—particularly since the COVID-19 pandemic began in 2019—increasing numbers of pulmonary nodules have been detected through routine chest CT scans during medical checkups or hospitalizations. While most pulmonary nodules are benign, the absence of specific clinical symptoms in early-stage malignant cases has fueled public anxiety. Currently, distinguishing between benign and malignant pulmonary nodules primarily relies on imaging-based histological analysis. The diagnostic challenges posed by early-stage malignancies result in persistent clinical risks of missed diagnoses and misdiagnoses. Undiagnosed cases may lead patients to miss the critical window for surgical intervention, while over-treatment of benign nodules has become a prevalent issue. These complexities have significantly pressured radiologists and clinicians, making pulmonary nodule management a persistent clinical challenge. This review focuses on the diagnosis and treatment strategies for early-stage benign and malignant pulmonary nodules.

Keywords

Lung Nodules, Early Diagnosis, Computed Tomography (CT), Artificial Intelligence, Circulating Markers

Copyright © 2025 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. 前言

肺癌是我国最常见的恶性肿瘤之一, 其死亡率无论是在城市或乡村、男性或女性, 均居癌症死亡的首位[1]。对于 I-IIa 期非小细胞肺癌的主要治疗手段为手术治疗, 但早期肺癌无特殊的临床症状及表现, 当出现典型临床症状时, 如咯血、刺激性咳嗽、呼吸困难等, 绝大部分患者已经丧失了外科手术的机会, 根据相关研究统计, 我国肺癌的 5 年生存率仅为 16.1% [2], 这个数据是极其揪心的。但 IA、IB 期 NSCLC 患者术后 5 年生存率分别仅为 83%和 71% [3]。所以对于早期肺恶性结节的精准识别是至关重要的, 这关乎着患者的远期预后及生存期限。

2. 肺结节的定义及分类

肺结节(pulmonary nodule, PN)是指肺内直径小于或等于 3 cm 的类圆形或不规则形病灶, 影像学表现为密度增高的阴影, 可单发或多发, 边界清晰或不清晰的病灶[4]。肺结节在影像学上可根据其实性成分占比可分为: 纯实性肺结节(solid nodule, SN)、混合磨玻璃结节(mixed ground glass nodule, mGGN)以及磨玻璃结节(pure ground glass nodule, pGGN); 其中实性成分占比的不同其恶性概率也会有相应的不同, 其中恶性概率最高的为混合磨玻璃结节, 磨玻璃结节其次, 实性结节恶性概率最低[5] [6], 因此肺结节的实性的成分占比对良恶性鉴别是十分重要的。

2014 年由美国放射科医生、胸外科医生以及肺癌专家组成的美国放射学院(American College of Radiology, ACR)首次对肺结节提出了 LUNG-RADS 分级的概念, 对影像组学表现制定了系统的分级, 作为临床医生以及放射科医生的实践指南。根据分级: 0 级: 不定类别, 需增加肺癌 CT 筛查或比较二次的胸部 CT 检查; 1 级: 阴性, 无结节和确定为良性的结节, 恶性概率 < 1%; 2 级: 良性, 实性结节 < 6mm,

非实性结节 < 20 mm 或非实性结节 ≥ 20 mm 但 3 个月以上无明显增长, 恶性概率 < 1%; 3 级: 良性可能, 实性结节 ≥ 6 mm 但 < 8 mm 或新发结节总直径 < 6 mm, 非实性结节 ≥ 20 mm 或新发, 恶性概率 1%~2%; 4A 级: 可疑, 实性结节 ≥ 6 mm, 新发或增长结节的实性成分 < 4 mm, 存在支气管充气、截断等表现, 恶性概率 5%~15%; 4B 级: 可疑, 实性结节 ≥ 15 mm 或新发结节 ≥ 8 mm, 恶性概率 > 15%; 4X: 具有额外特征的 3 级或 4 级结节, 或存在恶性倾向的结节[7]。

3. 肺结节的一般危险因素

绝大部分良恶性肺结节通常以 55 岁为界, 肺结节的恶性概率在 55 岁之后, 随着年龄的增长是显著增加的。早在 1997 年, 美国 Mayo 模型通过对肺结节进行建模确定了年龄为恶性结节的独立危险因素, 年龄越大, 结节的恶性可能性越高[8]。

其中吸烟也是恶性肺结节的独立危险因素之一, 对于长期吸烟的患者比不吸烟的患者患癌的概率是呈指数倍增加的。吸烟者患肺癌的风险大约是不吸烟者的 20 倍, 戒烟可降低患癌风险[9]。“目前吸烟, 吸烟指数 ≥ 400 支年”和“曾经吸烟, 吸烟指数 ≥ 400 支年, 本次戒烟时间 < 15 年”较其他情况更易检出肺结节阳性结果[10]。然而吸烟并不是唯一致癌因素, 临床上很多肺癌患者并没有吸烟史, 其在女性患者中的占比更高, 如被动吸入二手烟、长期接触有害化学气体、烹饪烟雾吸入、不良的生活习惯都会增加患癌的概率[10]。

有肺癌家族史其一级亲属患癌概率也是有所增加的, 这可能与遗传易感性、共享环境因素、遗传机制等综合因素有关。某些肺癌相关基因(如 EGFR、ALK、ROS1、RET)的胚系突变(遗传性突变)等可能通过家族传递, 增加后代对肺癌的易感。

4. 肺结节影像学相关进展

最早对于肺癌筛查可以追溯到上世纪 1951 年, 由欧洲的胸外科专家们进行的一项研究, 主要是从胸片以及痰液检查等相关检验结果, 为了在无症状人群中早期发现肺癌的尝试之一[11]。由于 DR 分辨率较低, 早期恶性结节难以发现, 痰液检查阳性率低(特别是周围性肺癌), 以及当时的研究设计(如样本量、对照组选择、随访时间)和统计方法的局限性, 导致其研究结果并不尽人意, 即使筛查出了肺癌, 由于当时外科技术的限制, 其治疗手段也不尽人意, 并没有改善肺癌患者的远期预后, 但是这对于早期肺癌的筛查具有里程碑意义。

随着影像学技术的发展, 在上世纪 1971 年英国工程师 Godfrey Hounsfield 发明了第一台 CT 机器, 其最早主要用于头部检查, 随着技术改进后逐步用于胸腹以及全身检查, 很多临床胸外科、呼吸内科等相关专业专家发现早期恶性肺结节的一些特殊的影像学特征。肺结节在胸部 CT 影像上可表现为空泡征、分叶征、胸膜凹陷征、血管集束征、支气管充气征等[12]。赵家义等研究发现[13], 在胸部 CT 特征方面, 恶性肺结节的最大径和 CT 值均高于良性肺结节, 并且毛刺征、分叶征、胸膜凹陷征、空泡征、支气管充气征的发生率明显增高。这可能与肿瘤的侵袭因素有关, 其中侵袭作用越明显的肿瘤上述特征也越明显。

在 CT 影像学特征上具有高度恶性征象的肺结节, 穿刺可能会造成气胸、出血、空气栓塞、肿瘤播散甚至有致死风险。PET-CT 似乎为无创诊断的最优选择, 其诊断率较普通 CT 诊断率更高[14]。据相关文献报道, PET/CT 对肺内结节或肿块良恶性判断灵敏度、特异度、准确度分别为 97.92%、93.7%、96.8% [15]。其主要原理是通过静脉注射, 放射性药物是氟-18 标记的脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)后通过影像学技术捕捉 GGN 是否存在代谢异常。肿瘤恶性程度越高, 生长越活跃, 其倍增时间就越短, SUV 值相应也就越高[16]。PET-CT 作为无创的检查方法, 对临床诊疗方案具有十分重要的意义, 但其也有一定的假阴性率和假阳性率、不但有一定的辐射作用且价格十分昂贵, 部分患者完善 PET-CT 后也需要完成穿刺或者手

术后送病理以确诊, 故而临床筛查具有一定的局限性。

5. 肺结节病理诊断

病理检查为肺结节诊断金标准, 因影像学具有一定的假阴性率和假阳性率, 并不是所有的恶性肺结节都具有典型的影像学表现, 对于临床高度考虑恶性时, 临床上常用的方法有: 胸腔镜下病灶切除术、经皮穿刺、纤维支气管下穿刺活检等方法。

局麻 CT 引导下经皮肺穿刺活检术[17] (percutaneous lung biopsy, PTLB)作为临床上肺结节诊断常见的方法之一, 主要适用于靠近肺组织周围的肺结节, 对于靠近脊柱周围、肺尖、心脏等部位的肺结节穿刺风险及难度呈指数倍增加, 其也具有一定局限性, 并不是所有的周围型肺结节都适用。PTLB 作为一种侵入性有创操作, 其主要的并发症[18]为血胸、气胸、空气栓塞、心脏破裂等风险。需严格按照中国专家共识下进行规范操作, 穿刺前需完善血常规、凝血功能、肺功能等相关检查排除相关禁忌后, 再进行评估以降低操作带来的风险。

纤维支气管镜检查方法主要包括: 支气管肺泡灌洗、气管镜直视下刷检以及透视下经气管肺活检(transbronchial lung biopsy, TBLB), 支气管镜检查是目前临床上用于诊断肺癌最常用的方法之一[19]。其主要用于靠近段支气管及其以上的 GGN, 患者空腹, 2%利多卡因表面浸润、米达唑仑静脉麻醉下, 取仰卧位经鼻腔缓慢插入纤维支气管镜, 检查各支气管分支, 后对病变区域进行重点观察, 行活检和刷检获得标本[20]。较传统的开胸肺活检方法不仅创伤大、并发症高, 且费用昂贵、操作不方便, [21]其主要的优点是: 操作创伤更小, 费用更少, 而被大多数患者所接受。其局限性跟 PTLB 相似, 可能存在取材失败需多次取检, 且也有相似的并发症。

对于影像学上考虑为高危结节, 3 个月后没有缩小或增大时, 考虑为恶性可能, 建议手术切除[22], 随着微创外科发展, 胸腔镜下肺病损切除术较传统开胸具有恢复快、术后疼痛轻以及 ERAS 理念的提倡, 微创手术逐渐取代传统开胸手术。患者在气管内全麻后, 取侧卧位并在麻醉师配合下取单肺通气, 在患者侧胸壁腋后线做观察孔, 腋前线做主操作孔对病灶进行切除[23], 术中送快速病理检查, 若为病理回报为恶性, 对该肺叶完成后续肺癌根治术(游离该病损肺叶肺静脉、肺动脉、支气管加常规纵隔淋巴结清扫)。虽然胸腔镜下病损切除诊断率最高、对于后续诊疗意义也最大, 但是该手术难度大对于手术医生要求也更高, 由于需切除一部分肺组织, 对于肺功能的损害是不可逆的。

6. 肺结节 AI 诊断模型相关研究

预测模型方面, 其最具有代表性的模型为梅奥模型: 其纳入指标中共包含 6 种预测肺恶性肿瘤的独立预测因素, 包含年龄、吸烟史(目前或既往吸烟)、结节发现前的胸腔恶性肿瘤史超过 5 年、位于上肺叶、结节直径及毛刺[24]。Gould [25]等随后又在梅奥模型的基础上, 构建了 VA 肺癌风险预测模型。但是, 由于这些模型在建模过程中所使用的数据主要来源于西方人群, 因此并不完全适用于我国。2011 年, 我国学者开发了北京大学模型[26] (PKUPH 模型), 该模型主要是针对孤立性的肺结节进行建模, 主要危险因素体现在 CT 影像中, 然而, 随着 CT 分辨率的提升, 许多患者的双肺并不符合孤立性肺结节的诊断标准。通常情况下, 完善 CT 检查会发现双肺存在多个结节, 且未充分考虑其他影响因素, 因此其诊断准确性仍需进一步探讨。

近年来, 随着人工智能(Artificial Intelligence, AI)的迅猛发展, 其在肺结节诊断领域的应用日益重要。AI 凭借深度学习和记忆能力, 能够精确提取肺结节中的关键特征表现[27] [28], 具备无创性、捕捉肿瘤特异性、高可重复性等优点, 且其诊断速度快, 误判率相较于人为判断更低。但针对于目前 AI 诊断仍具有一定的局限性, 模型性能高度依赖训练数据的质量和多样性, 如果训练数据主要来自特定人群(如单一

地区、特定设备或特定扫描参数), 模型在其他人群或设备上的泛化能力会显著下降。2023 年斯坦福医院的测试结果表明, 某肺结节 AI 诊断系统在新环境下的 AUC 值从 0.92 降至 0.79, 这种显著波动在临床应用中是无法接受的[29]。但我们必须承认 AI 对医学巨大进步做出的贡献, 肺结节 AI 预测模型已成为肺癌早筛领域的革命性工具, 其重要性不仅体现在提升诊断效率上, 更关系到全球肺癌防治战略的推进。

7. 总结

尽管国内外专家和学者对肺结节良恶性分类进行了深入探索, 并制定了多种专家共识与指南, 但在临床实际操作中仍存在诸多难题。目前, 肺结节分类主要依据影像组学进行分析, 恶性结节在影像学上具有特定的表现特征, 然而, 部分良性结节也可能展示出相似的表现, 如毛刺征、胸膜凹陷征等, 这也导致了一部分患者被过度诊疗, 最终确诊仍需通过病理诊断来明确。

近年随着研究的深入发现一些新型无创的检查方法如循环肿瘤标记物[30] (肺癌自身抗体(autoantibodies, AABS)、补体碎片、微小 RNA (microRNA, miRNA)及循环肿瘤 DNA (circulating tumor DNA, ctDNA), 甚至呼出气体也可作为肺癌的筛查, 肺癌患者呼出气体中的挥发性有机化合物[31] (volatile organic compounds, VOCs)存在差异。尽管近年来多种无创筛查方法在研究中得以发现, 但在临床实践中仍面临诸多挑战, 如辐射暴露、侵入性损伤、高昂费用、一定假阳性率、可重复性低以及医保政策限制等诸多问题。

因此在临床实践中, 我们不能仅依赖影像学表现对肺结节进行分类, 需进行全面评估患者的: 血清生物标记物、低剂量 CT 表现、独立危险因素等多方面信息进行综合评估, 再决定是否需要进行穿刺或手术切除, 这样不但可以避免不必要的有创操作还可以提高准确率。目前 AI 预测模型尚具有一定的局限性, 由于不同医院 CT 设备型号、模型泛化能力差、开发训练过于理想化以及临床整合能力差等一系列问题, 限制了其发展。毋庸置疑其发展潜力是巨大的, 未来我们也许可以通过开展多中心数据联盟、开发自适应联盟(根据不同的 CT 设备动态设定其适应的参数标准)甚至可以影像学联合 ctDNA 甲基化信号、肿瘤标记物、等一系列危险因素, 通过 AI 深度学习建立更高标准的预测模型, 希望将来能推动肺癌从“致命杀手”转为“可控慢性病”。

参考文献

- [1] Chen, W., Zheng, R., Baade, P.D., Zhang, S., Zeng, H., Bray, F., *et al.* (2016) Cancer Statistics in China, 2015. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **66**, 115-132. <https://doi.org/10.3322/caac.21338>
- [2] Zeng, H., Zheng, R., Guo, Y., Zhang, S., Zou, X., Wang, N., *et al.* (2014) Cancer Survival in China, 2003-2005: A Population-Based Study. *International Journal of Cancer*, **136**, 1921-1930. <https://doi.org/10.1002/ijc.29227>
- [3] Goldstraw, P., Chansky, K., Crowley, J., Rami-Porta, R., Asamura, H., Eberhardt, W.E.E., *et al.* (2016) The IASLC Lung Cancer Staging Project: Proposals for Revision of the TNM Stage Groupings in the Forthcoming (eighth) Edition of the TNM Classification for Lung Cancer. *Journal of Thoracic Oncology*, **11**, 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2015.09.009>
- [4] 王智, 武艳飞, 李晓凤. 三维卷积神经网络预测肺腺癌患者肺 CT 内并发结节属性[J]. 实用肿瘤杂志, 2021, 36(3): 240-246.
- [5] 张茜茜, 杨会珍, 李晓亮, 等. 磨玻璃密度肺结节的 CT 影像学特征及其与病理特征的相关性研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2018, 16(6): 12-15.
- [6] 冯明明. 计算机辅助 CT 图像特征在磨玻璃结节早期肺癌诊断中的应用[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(11): 90-91.
- [7] Young, S., Lo, P., Kim, G., Brown, M., Hoffman, J., Hsu, W., *et al.* (2017) The Effect of Radiation Dose Reduction on Computer-Aided Detection (CAD) Performance in a Low-Dose Lung Cancer Screening Population. *Medical Physics*, **44**, 1337-1346. <https://doi.org/10.1002/mp.12128>
- [8] Swensen, S.J. (1997) The Probability of Malignancy in Solitary Pulmonary Nodules. Application to Small Radiologically Indeterminate Nodules. *Archives of Internal Medicine*, **157**, 849-855. <https://doi.org/10.1001/archinte.1997.00440290031002>

- [9] Wood, D.E., Kazerooni, E.A., Baum, S.L., Eapen, G.A., Ettinger, D.S., Hou, L., *et al.* (2018) Lung Cancer Screening, Version 3.2018, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*, **16**, 412-441. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2018.0020>
- [10] Marcus, J.Z., Cason, P., Downs, L.S., Einstein, M.H. and Flowers, L. (2021) The ASCCP Cervical Cancer Screening Task Force Endorsement and Opinion on the American Cancer Society Updated Cervical Cancer Screening Guidelines. *Journal of Lower Genital Tract Disease*, **25**, 187-191. <https://doi.org/10.1097/lgt.0000000000000614>
- [11] Doll, R. and Hill, A.B. (1956) Lung Cancer and Other Causes of Death in Relation to Smoking: A Second Report on the Mortality of British Doctors. *BMJ*, **2**, 1071-1081. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.5001.1071>
- [12] Si, M., Tao, X., Du, G., Cai, L., Han, H., Liang, X., *et al.* (2016) Thin-Section Computed Tomography-Histopathologic Comparisons of Pulmonary Focal Interstitial Fibrosis, Atypical Adenomatous Hyperplasia, Adenocarcinoma in Situ, and Minimally Invasive Adenocarcinoma with Pure Ground-Glass Opacity. *European Journal of Radiology*, **85**, 1708-1715. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.07.012>
- [13] 赵家义, 韩一平, 杨立信, 等. 良、恶性肺磨玻璃结节 CT 特征及其鉴别诊断意义[J]. 第二军医大学学报, 2018, 39(2): 129-133.
- [14] 王全师吴, 王明芳, 王欣璐, 郭晓君. PET/CT 显像在肺癌诊断及分期中的初步应用[J]. 中华核医学杂志, 2005(2): 75-77, 129.
- [15] Hochegger, B., Alves, G.R.T., Irion, K.L., Fritscher, C.C., Fritscher, L.G., Concatto, N.H., *et al.* (2015) PET/CT Imaging in Lung Cancer: Indications and Findings. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, **41**, 264-274. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132015000004479>
- [16] Christensen, J.A., Nathan, M.A., Mullan, B.P., Hartman, T.E., Swensen, S.J. and Lowe, V.J. (2006) Characterization of the Solitary Pulmonary Nodule: ¹⁸F-FDG PET versus Nodule-Enhancement CT. *American Journal of Roentgenology*, **187**, 1361-1367. <https://doi.org/10.2214/ajr.05.1166>
- [17] Hong, W., Yoon, S.H., Goo, J.M. and Park, C.M. (2021) Cone-Beam CT-Guided Percutaneous Transthoracic Needle Lung Biopsy of Juxtaphrenic Lesions: Diagnostic Accuracy and Complications. *Korean Journal of Radiology*, **22**, 1203-1212. <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.1229>
- [18] 杨雪玲, 于海鹏, 司同国. 胸部肿瘤经皮穿刺活检中国专家共识(2020 版) [J]. 中华介入放射学电子杂志, 2021, 9(2): 117-126.
- [19] Wood, D.E., Kazerooni, E., Baum, S.L., *et al.* (2015) Lung Cancer Screening, Version 1.2015: Featured Updates to the NCCN Guidelines. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*, **13**, 23-34.
- [20] 崔海燕, 梁振宇, 张达成, 等. 比较纤维支气管镜和经皮肺穿刺活检在肺占位性病变中的诊断价值[J]. 中国临床解剖学杂志, 2014, 32(3): 361-364.
- [21] Hsia, D.W., Jensen, K.W., Curran-Everett, D. and Musani, A.I. (2012) Diagnosis of Lung Nodules with Peripheral/Radial Endobronchial Ultrasound-Guided Transbronchial Biopsy. *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*, **19**, 5-11. <https://doi.org/10.1097/lbr.0b013e31823fcf11>
- [22] 周清华, 范亚光, 王颖, 等. 中国肺部结节分类、诊断与治疗指南(2016 年版) [J]. 中国肺癌杂志, 2016, 19(12): 793-798.
- [23] 李剑锋, 李运, 王俊, 等. 全胸腔镜下肺叶切除技术要点分析[J]. 中国微创外科杂志, 2009, 9(1): 30-32.
- [24] Tammemagi, M.C., Schmidt, H., Martel, S., McWilliams, A., Goffin, J.R., Johnston, M.R., *et al.* (2017) Participant Selection for Lung Cancer Screening by Risk Modelling (the Pan-Canadian Early Detection of Lung Cancer [PanCan] Study): A Single-Arm, Prospective Study. *The Lancet Oncology*, **18**, 1523-1531. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(17\)30597-1](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(17)30597-1)
- [25] Gould, M.K., Ananth, L. and Barnett, P.G. (2007) A Clinical Model to Estimate the Pretest Probability of Lung Cancer in Patients with Solitary Pulmonary Nodules. *Chest*, **131**, 383-388. <https://doi.org/10.1378/chest.06-1261>
- [26] 李运, 陈克终, 隋锡朝, 等. 孤立性肺结节良恶性判断数学预测模型的建立[J]. 北京大学学报(医学版), 2011, 43(3): 450-454.
- [27] Wang, X., Zhang, L., Yang, X., Tang, L., Zhao, J., Chen, G., *et al.* (2020) Deep Learning Combined with Radiomics May Optimize the Prediction in Differentiating High-Grade Lung Adenocarcinomas in Ground Glass Opacity Lesions on CT Scans. *European Journal of Radiology*, **129**, Article ID: 109150. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109150>
- [28] Ni, Y., Yang, Y., Zheng, D., Xie, Z., Huang, H. and Wang, W. (2020) The Invasiveness Classification of Ground-Glass Nodules Using 3D Attention Network and HRCT. *Journal of Digital Imaging*, **33**, 1144-1154. <https://doi.org/10.1007/s10278-020-00355-9>
- [29] de Margerie-Mellon, C. and Chassagnon, G. (2023) Artificial Intelligence: A Critical Review of Applications for Lung Nodule and Lung Cancer. *Diagnostic and Interventional Imaging*, **104**, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2022.11.007>

- [30] 王祥, 廖鹏强, 李强, 等. 肺癌的早期筛查现状及进展[J]. 肿瘤预防与治疗, 2022, 35(11): 1050-1054.
- [31] Guirao Montes, Á., Molins López-Rodó, L., Ramón Rodríguez, I., Sunyer Dequigiovanni, G., Viñolas Segarra, N., Marrades Sicart, R.M., *et al.* (2017) Lung Cancer Diagnosis by Trained Dogs. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **52**, 1206-1210. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezx152>