

· 影像 AI 多模态研究专题 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.02.005

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251016.1556.002\(2025-10-17\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251016.1556.002(2025-10-17))

术前预测非小细胞肺癌胸膜侵犯的影像学研究进展*

陈慧敏¹ 杨新官^{2△}

(1. 桂林医科大学临床医学院, 桂林 541199; 2. 桂林医科大学附属桂林市人民医院放射科, 桂林 541002)

[摘要] 脏器胸膜侵犯(VPI)是早期非小细胞肺癌(NSCLC)的重要不良预后因素,对临床决策有决定性影响。术后组织病理学检查是VPI诊断的金标准,但其严重限制了临床决策的时效性,所以术前影像学检查成为预测NSCLC患者VPI状态的关键工具。本文综述了近年来术前预测NSCLC患者VPI状态的影像学研究进展,涵盖传统CT影像特征评估方法、定量指标分析、增强CT、PET-CT、MRI的应用,以及基于影像组学和深度学习模型的智能化预测手段,探讨了现有方法的局限性,并展望未来发展方向,以期NSCLC术前预测VPI提供理论依据与实践参考,推动NSCLC个体化手术方案的制订及靶向辅助治疗策略的优化。

[关键词] 非小细胞肺癌;胸膜侵犯;术前影像学评估;定量影像分析;综述

[中图分类号] R734.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2026)02-0267-05

Imaging research progress in preoperative prediction of pleural invasion in non-small cell lung cancer*

CHEN Huimin¹, YANG Xinguan^{2△}

(1. Medical School of Clinical Medicine, Guilin Medical University, Guilin, Guangxi 541199, China; 2. Department of Radiology, Guilin People's Hospital Affiliated to Guilin Medical University, Guilin, Guangxi 541002, China)

[Abstract] Visceral pleural invasion (VPI) is a critical adverse prognostic factor in early-stage non-small cell lung cancer (NSCLC), and exerts a key impact on treatment decision-making and surgical strategies. Post-operative histopathological examination is the gold standard for the diagnosis of VPI, but it severely restricts the timeliness of clinical decision-making. Therefore, preoperative imaging examination has become a crucial tool for predicting the VPI status of NSCLC patients. This review systematically summarizes the research progress of imaging studies for preoperative prediction of VPI status in NSCLC patients in recent years, covering the evaluation methods of conventional CT imaging features, quantitative index analysis, the application of contrast-enhanced CT, PET-CT and MRI, as well as intelligent prediction approaches based on radiomics and deep learning models. The limitations of existing methods are discussed, and future development directions are prospected, aiming to provide theoretical basis and practical reference for the preoperative evaluation of VPI in NSCLC, and to promote the formulation of individualized surgical plans and the optimization of targeted adjuvant therapy strategies for NSCLC.

[Key words] non-small cell lung cancer; pleural invasion; preoperative imaging evaluation; quantitative imaging analysis; review

肺癌是全球发病率和死亡率最高的恶性肿瘤之一,也是中国导致癌症死亡的主要原因^[1]。据国家肿瘤中心最新统计,中国有近106万肺癌新发病例和超过73万死亡病例,分别占癌症总量的22.0%和28.5%^[2],其中80%~85%为非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC),严重危害人类健康。近年来,越来越多的早期NSCLC患者被诊断。多项研究显示,脏层胸膜侵犯(visceral pleural invasion,

VPI)是NSCLC的重要不良预后因素^[3-6]。在国际肺癌协会(the International Association for the Study of Lung Cancer, IASLC)肺癌第九版^[7]的分期标准中,VPI的存在直接决定肿瘤TNM分期由T1升级为T2/T3,由I A期升级到I B/III期,并明显影响患者的治疗决策。

术中冰冻病理学为NSCLC诊断的金标准,但取样的滞后性、组织取样可能存在偏倚,导致无法实现

* 基金项目:广西自然科学基金项目(2025GXNSFAA069470)。△ 通信作者, E-mail: yangxinguan821105@163.com。

术前精准、无创预测,很多研究尝试通过术前影像学检查预测 VPI 的发生,但准确率为 71%~92%^[8-11],且不同研究中 VPI 影像学征象的具体标准和描述、使用的影像学技术等有所不同,术前精准评估仍面临一定的挑战。本文综述不同影像学方法术前预测 NSCLC 发生 VPI 的研究进展并进行展望。

1 VPI 的病理分级

1988 年 HAMMER 首先提出以肿瘤是否突破脏层胸膜弹力纤维层作为肿瘤是否侵犯胸膜的依据,并基于浸润深度进行分层:PL0(未突破弹力层)、PL1(突破弹力层但未达脏层胸膜表面)、PL2(突破脏层胸膜表面但未累及壁层胸膜)、PL3(壁层胸膜和/或胸壁侵犯)^[11]。其中 PL2 患者 5 年总生存率明显低于 PL0/PL1(50.0% vs. 78.6%/74.4%)^[12],虽然 PL0 与 PL1 患者的生存率差异无统计学意义,但 PL1 标志着肿瘤突破胸膜解剖屏障,提示潜在转移风险。因此,IASLC 第九版 TNM 分期仍延续 PL1/PL2 作为 VPI 定义,以强化其对治疗决策的指导价值。

2 CT 成像

2.1 肿瘤形态学与 VPI 的相关性

多项研究表明,肿瘤的大小、密度及边缘特征与 VPI 的发生密切相关^[13-15]。肿瘤最大径与 VPI 发生风险成正比^[14],肿瘤大小是 VPI 的独立预测因素,并且对患者的预后有着一定影响^[3]。在肿瘤体积参数中,最大径 > 20 mm (OR = 2.9) 及实性成分占比 > 50% (OR = 4.6) 是 VPI 的独立预测因素^[16]。值得注意的是,纯磨玻璃结节无论大小还是邻近胸膜形态发生变化,比如牵拉、增厚,均未见到 VPI^[16-17],这意味着肿瘤内部实性成分的生物特性对胸膜浸润过程起着主导作用。瘤-肺界面呈现出的不规则毛刺边缘,提示肿瘤细胞向胸膜方向进行浸润性生长,并且与 VPI 具有高度关联性 (OR = 16.17)^[11,17]。分叶征虽然提示肿瘤有恶性倾向,但是与 VPI 并无直接关联性^[18],其形成由肿瘤多中心生长速率不均衡导致而非定向侵袭行为造成,且分叶征的特异性不够,在多达 25% 的良性结节中也会出现这种情况^[19],这也限制了其在临床决策中的应用价值。

2.2 瘤周结构改变与 VPI 的相关性

2.2.1 肿瘤-胸膜空间关系

2.2.1.1 肿瘤-胸膜间接或无接触

肿瘤与胸膜之间的接触方式对 VPI 的发生和发展具有重要意义,尤其是在无直接接触的情况下。胸膜标签是 VPI 的重要影像标志物,对两者的关联研究已从形态描述迈向多维度机制探索。2015 年,HSU 等^[20]首次系统地将胸膜标签分为 3 种类型(1 型,1 个或多个线性胸膜标签;2 型,胸膜末端有软组织成分的 1 个或多个线性胸膜标签;3 型,1 个或多个软组织绳状胸膜标签),证实 2 型标签对 VPI 的预测效能最优(准确率 70.8%)。在此基础上,望云^[11]区分了非叶

间裂胸膜和叶间裂胸膜,发现非叶间胸膜组的 3 型胸膜标签在 VPI 阳性组更多见,差异有统计学意义 ($P=0.03$),提示解剖微环境影响 VPI 模式。然而,HSU 等^[20]研究的原始队列中混杂部分继发性胸膜牵拉(如亚节段性肺不张),这可能低估了 3 型标签恶性关联的准确率。ONODA 等^[21]进一步丰富了胸膜标签,提出了一个新的概念:桥接标记,定义为 CT 上肿瘤与胸膜之间的弓形线形标签引起的肿瘤扁平变形,结果显示其为 VPI 的独立预测因素,且准确度达到 83.7%,值得注意的是其在排除 VPI 方面非常可靠,但阴性预测值仅为 18.6%,在确诊时假阳性较多,需结合其他表现以提高诊断准确性。事实上,桥接标记的本质是 2 个线性标签的复合体,其与胸膜-肿瘤的接触长度较长及梯形型胸膜回缩密切相关。此后,SUN 等^[10]研究根据胸膜标签数量进一步进行亚型细分,揭示多胸膜面标签的协同效应:肿瘤累及 ≥ 2 个胸膜象限时,VPI 风险增加 9.3 倍(95% CI: 2.70~38.35),意味着肿瘤与胸膜之间的关系更为复杂,其机制可能源于肿瘤跨解剖屏障的多向侵袭能力导致 VPI 发生率增加。另外,部分 VPI 患者缺乏典型的胸膜标签影像表现,提示可能存在隐匿型 VPI^[22],这也进一步证实了胸膜标签的缺失并不意味着可以排除 VPI 的可能性,肺癌细胞可能通过胸膜下淋巴管的微小空隙进入胸膜腔形成隐匿性微转移,而此类变化在常规 CT 扫描层厚 (≥ 1 mm) 中难以识别。

2.2.1.2 肿瘤-胸膜直接接触

肿瘤和胸膜发生直接接触,被普遍认为是预测 VPI 的关键因素^[10],近年来关于肿瘤-胸膜接触面 (tumor-pleural interface, TPI) 的定量及形态学特征分析,为 VPI 风险评估提供了多维度的依据。定量参数的相关研究中,肿瘤实性成分接触长度阈值的选取,对诊断效能有明显的影响,当以 ≥ 8 mm 作为界限时,可使效能达到平衡状态^[23];另有研究表明,实性成分接触长度 > 10 mm 可作为独立预测因素(灵敏度 76.7%,特异度 59.5%)^[24],这种阈值方面的差异可能与病灶亚型的特异性、测量方法的不同有关。通过弓形距离与肿瘤最大径的比值可对肿瘤牵拉强度进行量化,在区分不同级别的 VPI 时,呈现出了较为出色的性能。多中心验证表明,该比值的准确性稳定在 67%^[13],提示该指标可作为传统形态学评估的有效补充。肿瘤与胸膜接触表面积的预测价值也同样突出,每增加 10 mm² 就会引起 VPI 的发生率翻倍,其 OR 值为 1.05,并且胸膜附着组的 VPI 发生率相较于胸膜标签组增加了近 1 倍(31% vs. 16%)^[10]。肿瘤边缘角度(锐角征)能够反映侵袭相关纤维的收缩方向,也能够稳定、可靠地预测 VPI,独立预测的准确率达 61%^[13],但其特异性受炎性粘连干扰。

相较于定量参数的客观测量,形态学特征分析聚焦于肿瘤-胸膜界面的结构改变。其中胸膜凹陷征作

为经典征象,与 VPI 的关联性($OR = 2.73, 95\% CI: 1.06 \sim 7.43$)^[11]已被广泛验证。水母征(结节与肋胸膜之间多线性间隔延伸)与 VPI 的关联性在所有形态学特征中最为突出($OR = 21.6, 95\% CI: 8.38 \sim 8.62$),联合该征象可将 VPI 预测的 AUC 从 0.74 提高至 0.83(ΔAUC 为 9%)^[10]。而胸膜增厚的预测价值在 ≤ 30 mm 的 NSCLC 中尚存在争议($P = 0.539$),这可能与磨玻璃结节混杂导致的异质性相关^[8]。

2.2.1.3 肿瘤-胸膜距离

肿瘤与脏层胸膜之间的距离(distance to visceral pleura, DLP)作为 VPI 预测指标的临床价值尚存争议,尽管 DLP 缩短与 VPI 发生率呈负相关,但其预测效能受样本异质性的明显影响:汤敏等^[14]证实 DLP 是 VPI 的独立危险因素,而望云^[11]在胸膜下 $DLP \leq 1$ cm 的肺腺癌队列中未观察到组间差异,分析引起这种差异可能与纳入肿瘤-胸膜直接接触患者($DLP = 0$ cm)导致的混杂效应相关,此类病灶中存在胸膜反应性纤维粘连(非真性浸润),导致 DLP 的预测信号被稀释。

2.2.2 其他特征

血管束征是一种重要的形态学特征。研究表明,该特征的出现与 VPI 存在较强的关联($OR = 4.257$),其产生机制可能涉及肿瘤对周边血管的机械牵拉,以及肿瘤细胞借助血管周围间隙向胸膜浸润的过程,但其特异性存在一定局限,在结核球、球形肺炎等肺良性病变中同样可见;另外邻近支气管出现改变,如支气管走行呈现扭曲、僵硬状态,或者出现突然中断、狭窄等,这些特征可作为 VPI 的独立危险因素($OR = 1.88$)^[11],更直接地呈现出肿瘤沿着支气管周围间质及神经丛的侵袭行为。

3 基于 CT 的新技术

3.1 影像组学

影像组学能够呈现肿瘤的异质性,是预测 VPI 的有效工具。有研究显示,影像组学模型在 VPI 预测方面表现突出,其 AUC 值在验证队列中为 0.74 ~ 0.82^[25-26]。增强 CT 进行多期相扫描,可以提高病灶与周围组织的对比度,使影像组学特征提取得到优化,其中静脉期模型因血流动力学信息更为丰富(静脉期 AUC 0.85 vs. 动脉期 AUC 0.81)而更具优势^[27]。近年来,国内外的关注重点已经逐渐从肿瘤内部扩展至瘤周区域。研究表明,肿瘤周围 10 mm 范围内的影像组学特征对预测 VPI 具有最佳性能^[28],提示瘤周区域是肿瘤侵袭性评估的关键补充内容,可为深入理解肿瘤微环境与 VPI 之间的关系提供新视角。

3.2 深度学习

相较于传统影像组学依赖人工筛选形态学特征,深度学习能直接解析肿瘤-胸膜界面的微观异质性,因而具有更高的客观性与可重复性。有研究开发的预

测肺癌 VPI 状态模型的诊断效能与放射科医师相当甚至更好($AUC = 0.75$)^[29-30],另有研究经多中心大样本队列验证($n = 1426$)也表现出良好的跨机构泛化能力与稳定性^[31]。

4 正电子发射断层扫描(positron emission tomography-CT, PET-CT)成像

PET-CT 可提供肿瘤代谢活动的相关信息,从功能影像学角度展示出无创预测 VPI 的独特优势。VPI 的发生往往伴随着肿瘤高代谢水平,研究表明,最大标准化摄取值(SUVmax)是 VPI 关键的独立预测因素^[11,32],其临界值为 3.79 ~ 7.36,因肿瘤的大小及分期的不同而有所差异^[33]。对于隐匿性 VPI(CT 表现为阴性),当 $SUV_{max} > 4.5$ 时,可有效地识别出 32.4% 的 VPI,并且如果联合胸膜接触参数,可提高诊断效能($AUC = 0.90$ vs. 0.76)^[34]。多模态模型整合 PET 代谢参数与临床指标,在鉴别恶性胸腔积液方面表现尤为明显,其鉴别效能极高($AUC = 0.98$)^[32],这也证实了 PET-CT 在肺癌诊疗领域的临床应用潜力。

5 MRI 成像

MRI 凭借高组织分辨率及多序列技术,为 VPI 的术前评估提供了新视角。呼吸动态 MRI 检测 VPI 的灵敏度和特异度分别为 100.0% 和 82.9%,明显优于静态成像^[35],而对比增强 3.0T MRI 以更清晰的肿瘤-胸膜界面,使其诊断准确率达 91%^[13],但因样本量局限($n = 33$)且关于 MRI 预测肺癌 VPI 状态的研究较少,未来仍需更大样本量的研究佐证。近年的研究显示,零回波时间 MR 肺成像与 CT 在判断肺部病变的大部分特征上具有良好的一致性,如肺气肿、纤维化、其余特征的成像特征的模态间一致性分别为中度($Kappa = 0.50$)、高度($Kappa = 0.76$)、极强($Kappa = 0.88 \sim 1.00$)^[36]。多模态 PET/MRI 整合了代谢与解剖信息,在 ≤ 30 mm 肺腺癌中展现出更优异的效能($AUC = 0.915$),明显优于 CT 及 PET/CT^[37]。

6 其他技术

随着人工智能技术在评估 NSCLC 中的发展与应用,基于深度学习的人工智能辅助系统在预测 VPI 状态方面表现出较高的性能(灵敏度 76.4%, $AUC = 0.78$)^[38]。同样,以胸腔镜图像构建的深度学习模型(如卷积神经网络和视觉 Transformer),在手术过程中可实时提供辅助决策,且表现出色^[39],其诊断效能与经验丰富的放射科医师相当。

7 小结

综上所述,国内外关于不同影像学方法术前预测 NSCLC 的 VPI 状态已取得明显进展,CT 从传统形态学征象到影像组学与深度学习技术的应用使得其已成为评估肺癌 VPI 的主要工具,但其诊断表现和预测价值有限^[40],随着 PET-CT、MRI 的引入,其预测能力将进一步提高。此外,人工智能技术在影像解析中

的应用也展示出明显优势,但是在识别亚厘米、亚毫米级病灶及胸膜微浸润,设备分辨率、影像标准化及成本效益等方面仍然存在挑战。未来可将人工智能技术与多模态影像、病理学诊断进行深度融合,并推进影像数据的标准化。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022; GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229-263.
- [2] 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. *中华肿瘤杂志*, 2024, 46(3): 221-231.
- [3] ALTORKI N, WANG X, DAMMAN B, et al. Recurrence of non-small cell lung cancer with visceral pleural invasion; a secondary analysis of a randomized clinical trial[J]. *JAMA Oncol*, 2024, 10(9): 1179-1186.
- [4] KANZAKI R, FUKUDA H, KOBAYASHI M, et al. Pathological pleural invasion is a risk factor for late recurrence in long-term survivors of non-small cell lung cancer after complete resection[J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(8): 5038-5046.
- [5] LEE T, LEE K H, LEE J H, et al. Prognostication of lung adenocarcinomas using CT-based deep learning of morphological and histopathological features; a retrospective dual-institutional study[J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(5): 3431-3443.
- [6] DENG H Y, ZHOU Q. Pleural invasion in non-small cell lung cancer: an important characteristic during clinical decision-making [J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(8): 4851-4852.
- [7] 张波, 方文涛, 钟华. 肺癌第 9 版 TNM 分期解读[J]. *中华肿瘤杂志*, 2024, 46(3): 206-210.
- [8] EBARA K, TAKASHIMA S, JIANG B, et al. Pleural invasion by peripheral lung cancer: prediction with three-dimensional CT[J]. *Acad Radiol*, 2015, 22(3): 310-319.
- [9] KIM H, GOO J M, KIM Y T, et al. CT-defined visceral pleural invasion in T1 lung adenocarcinoma: lack of relationship to disease-free survival[J]. *Radiology*, 2019, 292(3): 741-749.
- [10] SUN Q, LI P, ZHANG J, et al. CT predictors of visceral pleural invasion in patients with non-small cell lung cancers 30 mm or smaller[J]. *Radiology*, 2024, 310(1): e231611.
- [11] 望云. 术前预测临床 IA 期肺癌脏层胸膜侵犯及浸润性的影像学研究[D]. 上海: 中国人民解放军海军军医大学, 2024.
- [12] LIANG R B, LI P, LI B T, et al. Modification of pathologic T classification for non-small cell lung cancer with visceral pleural invasion: data from 1 055 cases of cancers ≤ 3 cm[J]. *Chest*, 2021, 160(2): 754-764.
- [13] ZHANG Y, KWON W, LEE H Y, et al. Imaging assessment of visceral pleural surface invasion by lung cancer: comparison of CT and contrast-enhanced radial T1-weighted gradient echo 3-Tesla MRI[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(5): 829-839.
- [14] 汤敏, 孙丹丹, 尹柯, 等. 胸膜下肺腺癌脏层胸膜侵犯 CT 及临床风险因素[J]. *放射学实践*, 2020, 35(10): 1243-1248.
- [15] KAO C C, WANG H C, LIN M W, et al. Predicting visceral pleural invasion in resected lung adenocarcinoma via computed tomography[J]. *Cancers (Basel)*, 2025, 17(9): 1414.
- [16] AHN S Y, PARK C M, JEON Y K, et al. Predictive CT features of visceral pleural invasion by T1-sized peripheral pulmonary adenocarcinomas manifesting as subsolid nodules[J]. *Am J Roentgenol*, 2017, 209(3): 561-566.
- [17] 刘艳, 吴艳, 王健, 等. 早期 ≤ 30 mm 非小细胞肺癌脏层胸膜侵犯的多因素分析[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(10): 1690-1696.
- [18] 黄日坤, 杨锦汉, 曾令华, 等. 基于影像组学及 CT 征象列线图预测浸润性肺腺癌脏层胸膜侵犯的研究[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(9): 1506-1512.
- [19] 梁俊君, 陈小波, 胡恒肖, 等. 基于增强 CT 影像组学术前预测非小细胞肺癌脏层胸膜侵犯的研究[J]. *国际医学放射学杂志*, 2024, 47(3): 260-266, 305.
- [20] HSU J S, HAN I T, TSAI T H, et al. Pleural tags on CT scans to predict visceral pleural invasion of non-small cell lung cancer that does not abut the pleura [J]. *Radiology*, 2016, 279(2): 590-596.
- [21] ONODA H, HIGASHI M, MURAKAMI T, et al. Correlation between pleural tags on CT and visceral pleural invasion of peripheral lung cancer that does not appear touching the pleural surface[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(12): 9022-

- 9029.
- [22] 符程皓,蒋以恒,葛佳云,等.混合磨玻璃结节型肺腺癌脏层胸膜侵犯的临床特征和危险因素分析[J].中国肺癌杂志,2022,25(4):236-244.
- [23] HEIDINGER B H, SCHWARZ-NEMEC U, ANDERSON K R, et al. Visceral pleural invasion in pulmonary adenocarcinoma: differences in CT patterns between solid and subsolid cancers[J]. Radiol Cardiothorac Imaging, 2019, 1(3): e190071.
- [24] CHEN Y, HUANG Q, ZHONG H, et al. Correlations between iodine uptake, invasive CT features and pleural invasion in adenocarcinomas with pleural contact[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 16191.
- [25] WANG F, PAN X, ZHANG T, et al. Predicting visceral pleural invasion in lung adenocarcinoma presenting as part-solid density utilizing a nomogram model combined with radiomics and clinical features [J]. Thorac Cancer, 2024, 15(1): 23-34.
- [26] WEI S H, ZHANG J M, SHI B, et al. The value of CT radiomics features to predict visceral pleural invasion in ≤ 3 cm peripheral type early non-small cell lung cancer[J]. J Xray Sci Technol, 2022, 30(6): 1115-1126.
- [27] 朱浩楠,王安生,洪海宁,等.基于增强CT影像学及形态学征象对非小细胞肺癌脏层胸膜侵犯的预测价值研究[J].中华解剖与临床杂志, 2022, 27(4): 213-219.
- [28] WANG Y, LYU D, HU S, et al. Nomogram using intratumoral and peritumoral radiomics for the preoperative prediction of visceral pleural invasion in clinical stage I A lung adenocarcinoma[J]. J Cardiothorac Surg, 2024, 19(1): 307.
- [29] CHOI H, KIM H, HONG W, et al. Prediction of visceral pleural invasion in lung cancer on CT: deep learning model achieves a radiologist-level performance with adaptive sensitivity and specificity to clinical needs [J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 2866-2876.
- [30] LIN X, LIU K, LI K, et al. A CT-based deep learning model: visceral pleural invasion and survival prediction in clinical stage I A lung adenocarcinoma [J]. iScience, 2024, 27(1): 108712.
- [31] LEE K H, LEE J H, PARK S, et al. Computed tomography-based prognostication in lung adenocarcinomas through histopathological feature learning: a retrospective multicenter study[J]. Ann Am Thorac Soc, 2023, 20(7): 1020-1028.
- [32] LI Y, MU W, LI Y, et al. Predicting the nature of pleural effusion in patients with lung adenocarcinoma based on ^{18}F -FDG PET/CT [J]. EJNMMI Res, 2021, 11(1): 108.
- [33] SUN X, CHANG C, XIE C, et al. Predictive value of SUVmax in visceral pleural invasive lung adenocarcinoma with different diameters[J]. Nucl Med Commun, 2023, 44(11): 1020-1028.
- [34] CHEN Z, JIANG S, LI Z, et al. Clinical value of ^{18}F -FDG PET/CT in prediction of visceral pleural invasion of subsolid nodule stage I lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2020, 27(12): 1691-1699.
- [35] AKATA S, KAJIWARA N, PARK J, et al. Evaluation of chest wall invasion by lung cancer using respiratory dynamic MRI[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2008, 52(1): 36-39.
- [36] LIU Q, FENG Z, LIU W V, et al. Assessment of solid pulmonary nodules or masses using zero echo time MR lung imaging: a prospective head-to-head comparison with CT [J]. Front Oncol, 2022, 12: 812014.
- [37] ZHANG A, MENG X, YAO Y, et al. Predictive value of ^{18}F -FDG PET/MRI for pleural invasion in solid and subsolid lung adenocarcinomas smaller than 3 cm[J]. J Magn Reson Imaging, 2023, 57(5): 1367-1375.
- [38] KUDO Y, SAITO A, HORIUCHI T, et al. Preoperative evaluation of visceral pleural invasion in peripheral lung cancer utilizing deep learning technology[J]. Surg Today, 2025, 55(1): 18-28.
- [39] SHIMADA Y, OJIMA T, TAKAOKA Y, et al. Prediction of visceral pleural invasion of clinical stage I lung adenocarcinoma using thoracoscopic images and deep learning[J]. Surg Today, 2024, 54(6): 540-550.
- [40] LIM W H, LEE K H, LEE J H, et al. Diagnostic performance and prognostic value of CT-defined visceral pleural invasion in early-stage lung adenocarcinomas[J]. Eur Radiol, 2024, 34(3): 1934-1945.