

· 综述 ·

肺腺癌高级别成分影像学预测研究进展

段烁^{1,2} 蔡尔鸣³ 徐荣²

¹南昌大学江西医学院,南昌 330006;²江西省人民医院(南昌医学院第一附属医院)核医学科,南昌 330006;³华中科技大学同济医学院附属协和医院肝胆外科,武汉 430022
通信作者:徐荣, Email: 1622488681@qq.com

【摘要】 肺腺癌中的高级别成分(HGP)包含微乳头、实体、筛状以及复杂腺体等病理特征,与早期复发和不良预后有明显相关性。目前,HGP 的诊断“金标准”是术后病理,传统的穿刺活组织检查等有创方法存在灵敏度有限和取材局限等问题,术前无创精准识别依然面临挑战。近年来,影像学技术快速的发展为术前预测 HGP 提供了重要手段。该文综述肺腺癌 HGP 影像学预测方法的研究进展,重点探讨 CT 视觉特征分析、影像组学模型构建、深度学习算法应用、PET/CT 代谢参数评估以及多模态信息融合策略在 HGP 识别中的作用与价值,为相关研究和临床实践提供参考和指导。

【关键词】 肺腺癌;肿瘤分级;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;预后;发展趋势
DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250807-00277

Advancements in imaging prediction of high-grade patterns in lung adenocarcinoma

Duan Shuo^{1,2}, Cai Erming³, Xu Rong²

¹Jiangxi Medical College, Nanchang University, Nanchang 330006, China; ²Department of Nuclear Medicine, Jiangxi Provincial People's Hospital; the First Affiliated Hospital of Nanchang Medical College, Nanchang 330006, China; ³Department of Hepatobiliary Surgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China
Corresponding author: Xu Rong, Email: 1622488681@qq.com

【Abstract】 High-grade patterns (HGP) in lung adenocarcinoma encompass various pathological features, including micropapillary, solid, cribriform, and complex gland types, which are significantly associated with early recurrence and poor prognosis. Currently, postoperative pathology serves as the gold standard for diagnosing HGP. Traditional invasive methods like needle biopsy face limitations in sensitivity and tissue sampling, and preoperative non-invasive precise identification remains challenging. In recent years, rapid advances in imaging technology have provided crucial tools for predicting HGP preoperatively. This review summarizes the research progress in imaging-based prediction methods for HGP in lung adenocarcinoma, focusing on the role and value of CT visual feature analysis, radiomics model construction, deep learning algorithm application, PET/CT metabolic parameter assessment, and multimodal information fusion strategies in HGP identification. It aims to provide reference and guidance for related research and clinical practice.

【Key words】 Adenocarcinoma of lung; Neoplasm grading; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Prognosis; Trends

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250807-00277

据 2022 年全球癌症统计报告显示,肺癌新发病例接近 250 万,占有新发癌症的 12.4%,死亡病例超过 180 万,占癌症死亡总数的 18.7%^[1]。肺腺癌作为最常见的组织学类型,呈现出高度异质性,其中高级别成分(high-grade patterns, HGP)包括微乳头、实体、筛状及复杂腺体成分^[2]。多项研究证实,微乳头或实体(micropapillary/solid, MP/S)成分与多种侵袭性特征相关,包括肿瘤增大、淋巴血管浸润、淋巴结转移率增高和疾病分期较晚,是早期患者复发以及生存率低的重要标志^[3-4]。在分子特征方面,就实体型肺腺癌而言,表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor, EGFR)突变频率不高,而程序性死亡配体 1 表达占比较高,表明这类亚型可能对 EGFR 酪氨酸激酶抑制剂(EGFR-tyrosine kinase inhibitor, EGFR-TKI)治疗反应欠佳,但可能会从免疫治疗中获益。微乳头状肺腺癌中 EGFR 突变频率较高,或许更适合采用 EGFR-TKI

治疗^[5-6]。在预后方面,针对肺腺癌的 I A 期患者这一群体而言,以 MP/S 成分为主的患者 5 年总生存率为 67%,而没有此形态的患者 5 年总生存率达到 94%^[7]。MP/S 成分的存在($\geq 1\%$)是限制性切除术患者累积复发率的独立危险因素^[8],对于含 HGP 的早期肺腺癌患者,肺叶切除术比局限性切除术的预后效果更佳,且可能需要更积极的辅助治疗策略^[9]。因此,早期准确识别 HGP 对制定个体化治疗方案至关重要。

目前,对肺腺癌中 HGP 的诊断主要依赖术后病理这一“金标准”,但该方法存在时间滞后和侵入性的不足,术前活组织检查虽然可以给出诊断方面的信息,但也受操作者技术水平的影响,当肿瘤体积较小或取样不充分时,难以获得代表性样本,会影响病理诊断结果的准确性^[10],且侵入性操作会存在感染和肿瘤播散的潜在风险。近年来,影像学技术的

进步为无创预测肺腺癌中 HGP 提供了新的可能性。高分辨率 CT、动态增强 CT、PET/CT 等技术在识别肺腺癌不同生长模式方面表现出良好应用前景^[11-12]。基于影像特征的影像组学分析有助于预测肿瘤 HGP, 可为临床决策提供重要辅助, 结合影像学预测与病理学评估, 有助于提高肺腺癌 HGP 的诊断准确性。本文主要讨论肺腺癌中 HGP 的影像学预测方法及临床应用进展, 为相关的研究和临床实践提供参考。

1. CT 视觉分析。实性成分占比 (consolidation tumor ratio, CTR) 已成为预测 HGP 的重要影像标志, CTR>50% 的肿瘤内 MP/S 等高侵袭性成分显著富集, 淋巴结转移率随 CTR 的升高而增加, 多因素分析表明 CTR>75% 是无病生存期的独立不良预后因素, 且 CTR 升高伴随肿瘤浸润淋巴细胞降低, 提示免疫微环境发生改变^[13-14], 毛刺征等形态学特征进一步提示肿瘤的浸润程度。上述发现表明, 基于 CT 的肿瘤成分分析能够预测重要的临床病理学信息, 为制定个性化治疗方案提供影像学依据。

2. 影像组学特征分析。影像组学通过人工智能算法从医学影像中提取并量化大量特征数据, 将图像转化为可量化的多维数据, 在肿瘤诊断、分子分型预测、治疗和预后判断等方面展现重要价值, 可辅助临床决策及制定个体化治疗方案^[15-17]。近年来, 多项研究证实影像组学对肺腺癌中 HGP 的无创预测具有重要价值^[18-22]。Xu 等^[18]构建的瘤内外影像组学列线图显示, 毛刺征和肿瘤密度是 HGP 的独立预测因子 ($P<0.05$), 包含肿瘤周围 3 mm 区域的总体积模型结合影像组学评分可显著提升预测效能。孙珊莹等^[19]证实基于术前增强 CT 的影像组学模型及临床病理特征的联合模型, 可有效用于肺腺癌组织学分级的术前预测。Dong 等^[20]分析了 374 例肺腺癌患者, 发现 HGP 组与非 HGP 组在年龄、性别、吸烟史、TNM 分期、细胞增殖核抗原 Ki-67 表达、淋巴结转移、胸膜转移以及气腔播散方面存在显著差别, 影像组学与放射学特征的联合模型表现出较好的诊断效能 ($AUC=0.880$)。Xing 等^[21]开发的组合列线图将 CT 影像学特征、临床指标与血清肿瘤标志物相结合, 用于识别 MP/S 成分, 达到了更高的预测准确性 ($AUC=0.894$)。Liu 等^[22]开展的包含 156 例患者的回顾性研究也证实, CT 图像与血清肿瘤标志物的组合模型可以无创预测肺腺癌高级别亚型, 为个体化治疗策略提供指导。上述研究为肺腺癌术前无创诊断和精准治疗提供了新思路, 但仍需开展多中心大样本的研究进一步验证模型的临床适用性。

3. 深度学习 (deep learning, DL) 特征分析。研究显示, 基于¹⁸F-FDG PET/CT 的 DL 模型在预测 HGP 方面表现优异 ($AUC:0.817\sim0.895$), 其中 CT DL 模型预测性能最优, 为临床决策提供了可靠依据^[23]。值得注意的是, 专门针对 CT 影像开发的三维 DL 模型不仅在内部验证中表现良好 ($AUC=0.807$), 在外部验证集也展现出优异的泛化能力 ($AUC=0.857$), 且对小肿瘤 (≤ 2 cm) 预测性能稳定 ($AUC=0.831$)^[24]。

在技术创新方面, 超分辨率重建技术有效提升了预测效能, 基于超分辨率 CT 的放射组学模型 ($AUC=0.904$) 优于常规 CT 模型 ($AUC=0.864$)^[25]。不同网络架构的比较研究显示, 将轻量级 LeNet 架构应用于微乳头成分预测, 准确性达 92%, 明显比复杂 DenseNet 架构模型 (72.91%) 的效果好, 表

明对于小样本数据 ($n=291$), 网络复杂度需要与数据规模相匹配, 过度参数化可能会导致性能下降^[26], 这一发现为临床应用中的模型选择提供了重要参考。上述研究共同推动了肺腺癌精准诊疗的发展。

4. PET/CT 代谢参数在预测 HGP 中的价值。SUV_{max} 能够无创地提供肿瘤生物学行为的关键信息, 已被广泛用于评估肺腺癌的侵袭性和预后。SUV_{max} 与肺腺癌恶性程度分级、病理亚型以及 T 分期有关, 能够通过定量代谢活性来区分肿瘤侵袭性的差异^[27-28], 且与肺腺癌的 MP/S 成分显著正相关, 是预测淋巴结转移和患者预后的可靠指标, 其预测价值高于 CTR 和实性成分大小^[29]。

病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG) 能够反映肿瘤的整体代谢负荷和糖酵解活性, 在非小细胞肺癌侵袭性评估和预后预测中具有重要价值。研究显示, 较高的肿瘤代谢体积 (metabolic tumor volume, MTV)、TLG 和 SUV_{max} 与较差的总生存率相关, 其中 TLG 是独立的预后因素, 特别是在晚期患者和男性患者中^[30]。此外, SUV_{max} 和 TLG 已被证实是预测 MP/S 成分存在的独立影响因素^[31], TLG 升高通常意味着肿瘤代谢活性提升和侵袭潜能增大, 可为临床提供直接的肿瘤代谢负荷评估, 指导治疗决策的制定。结合 MTV 和 SUV_{max} 的评估, 能够为肺腺癌临床管理提供依据, 有助于实现个体化治疗策略。

5. 联合 PET/CT 代谢参数与影像组学特征分析。虽然 CT 影像组学模型在预测肺腺癌的 MP/S 成分方面取得了一定成效, 但结合 PET 代谢信息能显著提高预测的准确性。¹⁸F-FDG PET/CT 技术在肺腺癌诊断、分期和预后预测中展现出应用价值^[32-33]。Yang 等^[34]开展的针对 176 例肺腺癌患者的研究表明, 分期、甲状腺转录因子-1 表达状态、MTV 以及病理亚型是影响预后的独立危险因素。PET/CT 代谢参数与临床病理特征相结合, 在不同病理亚型的分类上有良好效能。Zhou 等^[35]开发¹⁸F-FDG PET/CT 影像组学特征与临床特征整合的机器学习模型, 在预测 MP/S 成分方面表现优异, 含 MP/S 成分的患者具有更高的¹⁸F-FDG 摄取, 并且体积更大, 然而该模型还需借助外部验证增强泛化能力。上述研究表明, 将影像组学特征和临床特征结合应用到术前预测肺腺癌高级别亚型中, 有望凭借更全面的病灶异质性评估实现精准治疗。

6. 挑战与展望。影像学技术, 尤其是 CT 与 PET/CT, 已成为预测肺腺癌中 HGP 的重要工具, 表现出较好的灵敏度和特异度, 对早期诊断和治疗决策具有指导价值。然而, 其临床转化仍面临挑战。一方面, 小病灶 (尤其长径<1 cm) 检测受限于分辨率及部分容积效应, 导致影像特征提取准确性下降, 纹理特征信噪比低, 形态学参数易受呼吸伪影和图像噪声干扰, 影响影像组学模型性能。另一方面, 人工智能模型泛化能力不足, 多数基于单中心同质化数据集训练, 在不同扫描协议、设备型号和人群特征中性能明显下降。研究显示, 模型在外部验证中 AUC 降低, 主要归因于数据分布差异、标注标准不一和样本代表性不足^[36]。此外, 方法学差异也导致研究结果不一致, 进一步制约了临床转化应用。

为克服上述障碍, 可从以下几方面推进研究: (1) 构建更大规模、多中心来源的小病灶影像标注数据集, 提高样本多

样性和代表性;(2)开发聚焦小目标的检测算法,如引入注意力机制并结合多尺度特征融合技术,增强模型对细微结构的灵敏度和辨别效能;(3)实施迁移学习与领域自适应方法的结合,改善模型的泛化水平;(4)融合影像组学与临床病理特征,构建多模态预测模型,也有利于提高对小病灶 HGP 的识别效能。通过技术策略的优化与验证,有望提升影像模型在临床实践中的适用性与可靠性,推动实现更精准的早期诊断和个体化治疗,最终改善患者预后和生存质量。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 段烁:论文撰写;蔡尔鸣:文献整理、论文修改;徐荣:研究指导、论文审阅、经费支持

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. DOI:10.3322/caac.21834.
- [2] Moreira AL, Ocampo PSS, Xia Y, et al. A grading system for invasive pulmonary adenocarcinoma: a proposal from the International Association for the Study of Lung Cancer Pathology Committee[J]. J Thorac Oncol, 2020, 15(10): 1599-1610. DOI:10.1016/j.jtho.2020.06.001.
- [3] 李子松,梁云,刘曙亮.肺微乳头型腺癌诊疗及预后的研究进展[J].肿瘤研究与临床, 2024, 36(1): 77-80. DOI:10.3760/cma.j.cn115355-20230821-00062.
Li ZS, Liang Y, Liu SL. Progress of diagnosis, treatment and prognosis in lung micropapillary adenocarcinoma[J]. Cancer Res Clin, 2024, 36(1): 77-80. DOI:10.3760/cma.j.cn115355-20230821-00062.
- [4] Fujikawa R, Muraoka Y, Kashima J, et al. Clinicopathologic and genotypic features of lung adenocarcinoma characterized by the International Association for the Study of Lung Cancer grading system[J]. J Thorac Oncol, 2022, 17(5): 700-707. DOI:10.1016/j.jtho.2022.02.005.
- [5] Cai Y, Wu H, Shi X, et al. Heterogeneous components of lung adenocarcinomas confer distinct EGFR mutation and PD-L1 expression[J]. BMC Cancer, 2020, 20(1): 148. DOI:10.1186/s12885-020-6631-z.
- [6] Mikubo M, Tamagawa S, Kondo Y, et al. Micropapillary and solid components as high-grade patterns in IASLC grading system of lung adenocarcinoma: clinical implications and management[J]. Lung Cancer, 2024, 187: 107445. DOI:10.1016/j.lungcan.2023.107445.
- [7] Peng B, Li G, Guo Y. Prognostic significance of micropapillary and solid patterns in stage I A lung adenocarcinoma[J]. Am J Transl Res, 2021, 13(9): 10562-10569.
- [8] Chen C, Chen ZJ, Li WJ, et al. Impact of minimal solid and micropapillary components on invasive lung adenocarcinoma recurrence[J]. Ann Diagn Pathol, 2022, 59: 151945. DOI:10.1016/j.anndiagpath.2022.151945.
- [9] Xu L, Zhou H, Wang G, et al. The prognostic influence of histological subtypes of micropapillary tumors on patients with lung adenocarcinoma ≤ 2 cm[J]. Front Oncol, 2022, 12: 954317. DOI:10.3389/fonc.2022.954317.
- [10] Sarajic V, Vesnic S, Udovicic-Gagula D, et al. Diagnostic accuracy and complication rates of percutaneous CT-guided coaxial needle biopsy of pulmonary lesions[J]. Diagn Interv Radiol, 2021, 27(4): 553-557. DOI:10.5152/dir.2021.20844.
- [11] Dong H, Wang X, Qiu Y, et al. Establishment and visualization of a model based on high-resolution CT qualitative and quantitative features for prediction of micropapillary or solid components in invasive lung adenocarcinoma[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2023, 149(12): 10519-10530. DOI:10.1007/s00432-023-04854-4.
- [12] Lan J, Wang H, Xin E, et al. Development of a PET-CT based radiomics model for preoperative prediction of the novel IASLC grading and prognosis in patients with clinical stage I pure solid invasive lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2025, 32(6): 3739-3751. DOI:10.1016/j.acra.2025.02.017.
- [13] Yoon DW, Kim CH, Hwang S, et al. Reappraising the clinical usability of consolidation-to-tumor ratio on CT in clinical stage I A lung cancer[J]. Insights Imaging, 2022, 13(1): 103. DOI:10.1186/s13244-022-01235-2.
- [14] Yun JK, Kim JY, Ahn Y, et al. Predicting recurrence after sublobar resection in patients with lung adenocarcinoma using preoperative chest CT scans[J]. Radiology, 2024, 313(1): e233244. DOI:10.1148/radiol.233244.
- [15] 贾博壬,崔曹哲,张炆炆,等. PET/CT 影像组学在非小细胞肺癌免疫治疗中的研究进展[J].中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(7): 430-434. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240926-00334.
Jia BR, Cui CZ, Zhang YY, et al. Research progress of PET/CT radiomics in immunotherapy for non-small cell lung cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 45(7): 430-434. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240926-00334.
- [16] 牟玮,田捷. PET/CT、SPECT/CT 影像组学:沟通宏观影像和微观分子的桥梁[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(2): 65-67. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231212-00134.
Mu W, Tian J. Radiomics in PET/CT and SPECT/CT: the bridge between macroscopic images and microscopic molecules[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(2): 65-67. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231212-00134.
- [17] 孙晓慧,刘志鹏,杨大壮,等. ^{18}F -FDG PET 影像组学在术前预测肺腺癌脉管浸润及脏层胸膜侵犯中的应用价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(2): 74-79. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230313-00056.
Sun XH, Liu ZP, Yang DZ, et al. Preoperative prediction of lymphovascular and visceral pleural invasion of lung adenocarcinoma based on ^{18}F -FDG PET radiomics[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(2): 74-79. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230313-00056.
- [18] Xu J, Liu L, Ji Y, et al. Enhanced CT-based intratumoral and peritumoral radiomics nomograms predict high-grade patterns of invasive lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2025, 32(1): 482-492. DOI:10.1016/j.acra.2024.07.026.
- [19] 孙珊莹,崔艳芬,全帅,等.基于 CT 影像组学构建模型在浸润性肺腺癌术前预测组织学分级中的应用价值[J].中华解剖与临床杂志, 2024, 29(6): 353-361. DOI:10.3760/cma.j.cn101202-20230731-00026.
Sun SY, Cui YF, Quan S, et al. Preoperative prediction of pathological grade of invasive lung adenocarcinoma by building a model based on CT radiomics[J]. Chin J Anat Clin, 2024, 29(6): 353-361. DOI:10.3760/cma.j.cn101202-20230731-00026.
- [20] Dong H, Yin L, Chen L, et al. Establishment and validation of a radiological-radiomics model for predicting high-grade patterns of lung adenocarcinoma less than or equal to 3 cm[J]. Front Oncol,

- 2022, 12; 964322. DOI:10.3389/fonc.2022.964322.
- [21] Xing X, Li L, Sun M, et al. A combination of radiomic features, clinic characteristics, and serum tumor biomarkers to predict the possibility of the micropapillary/solid component of lung adenocarcinoma[J]. Ther Adv Respir Dis, 2024, 18: 17534666241249168. DOI:10.1177/17534666241249168.
- [22] Liu Y, Chang Y, Zha X, et al. A combination of radiomic features, imaging characteristics, and serum tumor biomarkers to predict the possibility of the high-grade subtypes of lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2022, 29(12): 1792-1801. DOI:10.1016/j.acra.2022.02.024.
- [23] Guo Y, Jia X, Yang C, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT-based deep learning models and a clinical-metabolic nomogram for predicting high-grade patterns in lung adenocarcinoma[J]. BMC Med Imaging, 2025, 25(1): 138. DOI:10.1186/s12880-025-01684-3.
- [24] Huo J, Min X, Luo T, et al. Computed tomography-based 3D convolutional neural network deep learning model for predicting micropapillary or solid growth pattern of invasive lung adenocarcinoma[J]. Radiol Med, 2024, 129(5): 776-784. DOI:10.1007/s11547-024-01800-3.
- [25] Xing X, Li L, Sun M, et al. Deep-learning-based 3D super-resolution CT radiomics model: predict the possibility of the micropapillary/solid component of lung adenocarcinoma[J]. Heliyon, 2024, 10(13): e34163. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e34163.
- [26] Ding H, Xia W, Zhang L, et al. CT-based deep learning model for invasiveness classification and micropapillary pattern prediction within lung adenocarcinoma[J]. Front Oncol, 2020, 10: 1186. DOI:10.3389/fonc.2020.01186.
- [27] Sun XY, Chen TX, Chang C, et al. SUV_{max} of ¹⁸F-FDG PET/CT predicts histological grade of lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2021, 28(1): 49-57. DOI:10.1016/j.acra.2020.01.030.
- [28] Sun X, Chen T, Xie C, et al. Relationships between SUV_{max} of lung adenocarcinoma and different T stages, histological grades and pathological subtypes: a retrospective cohort study in China[J]. BMJ Open, 2022, 12(5): e056804. DOI:10.1136/bmjopen-2021-056804.
- [29] Zhang S, Lin D, Yu Y, et al. Which will carry more weight when CTR > 0.5, solid component size, CTR, tumor size or SUV_{max}? [J]. Lung Cancer, 2022, 164: 14-22. DOI:10.1016/j.lungcan.2021.12.007.
- [30] Ventura L, Scarlattei M, Gnetti L, et al. Prognostic value of [¹⁸F] FDG PET/CT parameters in surgically resected primary lung adenocarcinoma: a single-center experience [J]. Tumori, 2020; 300891620904404. DOI:10.1177/0300891620904404.
- [31] 郭悦,姚稚明,陈敏,等. ¹⁸F-脱氧葡萄糖正电子发射计算机断层扫描代谢参数与肺腺癌实性型和微乳头型组织学亚型的关系[J].中华肿瘤杂志, 2022, 44(6): 555-561. DOI:10.3760/cma.j.cn112152-20200804-00710.
- Guo Y, Yao ZM, Chen M, et al. The correlation between metabolic parameters in ¹⁸F-FDG PET-CT and solid and micropapillary histological subtypes in lung adenocarcinoma[J]. Chin J Oncol, 2022, 44(6): 555-561. DOI:10.3760/cma.j.cn112152-20200804-00710.
- [32] 赵翊含,赵新明,崔静晨,等. ¹⁸F-FDG PET/CT 影像组学预测非小细胞肺癌生存预后的价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(8): 466-472. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210322-00082.
- Zhao YH, Zhao XM, Cui JC, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET/CT radiomics in predicting the prognosis of non-small cell lung cancer [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(8): 466-472. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210322-00082.
- [33] 胡娜,王云华. ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数在肺癌中的应用[J].中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38(1): 59-63. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.01.015.
- Hu N, Wang YH. Application of ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters in lung cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 38(1): 59-63. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.01.015.
- [34] Yang B, Ji H, Ge Y, et al. Correlation study of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in pathological subtypes of invasive lung adenocarcinoma and prognosis[J]. Front Oncol, 2019, 9: 908. DOI:10.3389/fonc.2019.00908.
- [35] Zhou L, Sun J, Long H, et al. Imaging phenotyping using ¹⁸F-FDG PET/CT radiomics to predict micropapillary and solid pattern in lung adenocarcinoma [J]. Insights Imaging, 2024, 15(1): 5. DOI:10.1186/s13244-023-01573-9.
- [36] He J, Baxter SL, Xu J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine[J]. Nat Med, 2019, 25(1): 30-36. DOI:10.1038/s41591-018-0307-0.

(收稿日期:2025-08-07)