

# Research progress on benign and malignant evaluation of pulmonary nodules based on CT radiomics

Wenyang Jiang<sup>1</sup> Haoyue Jiang<sup>2</sup>

1. Jilin Civil Aviation Airport Group Co., Ltd. Comprehensive Outpatient Department, Changchun, Jilin, 130000, China

2. Changchun Infectious Disease Hospital, Changchun, Jilin Province, Changchun, Jilin, 130123, China

## Abstract

Small pulmonary nodules represent a significant issue in early lung cancer screening. Accurately determining their benign or malignant nature is crucial for formulating subsequent diagnostic and therapeutic plans. In recent years, the integration of artificial intelligence with imaging technologies has demonstrated remarkable advantages through CT image omics research methods in distinguishing between benign and malignant nodules. By extracting non-visual features from CT images and applying machine learning algorithms, image omics enables quantitative analysis of nodules' histological characteristics, significantly improving prediction accuracy and objectivity in malignancy assessment. This review systematically examines the progress of CT image omics in small pulmonary nodule differentiation, focusing on its fundamental workflow and clinical applications. The study aims to accelerate the standardization and practical implementation of CT image omics technology in lung cancer early detection and precision diagnosis.

## Keywords

CT imaging omics; pulmonary nodules; benign and malignant evaluation

## 基于 CT 影像组学的肺小结节良恶性评估研究进展

姜汶扬<sup>1</sup> 姜浩玥<sup>2</sup>

1. 吉林省民航机场集团有限公司综合门诊部, 中国·吉林 长春 130000

2. 吉林省长春市传染病医院, 中国·吉林 长春 130123

## 摘要

肺小结节属于肺癌人群早期筛查检出较高的问题, 准确判断肺小结节良恶性, 利于制定后续诊疗计划。近年来, 人工智能与影像技术的有机结合, 基于CT影像组学研究方法在肺小结节良恶性鉴别中发挥着巨大优势。影像组学通过对CT影像中非肉眼可识别的大量特征的提取, 结合机器学习算法, 定量研究肺小结节的组织学特征, 提高了肺小结节良恶性的预测准确率与客观性。本综述对CT影像组学在肺小结节良恶性鉴别研究进展进行综述, 重点针对影像组学基本流程和影像组学在肺小结节良恶性鉴别进行了分析, 以期促进基于CT影像组学技术在肺癌早筛及精准诊疗中的规范化与实用化的快速发展。

## 关键词

CT影像组学; 肺小结节; 良恶性评估

## 1 引言

肺癌是全球高发恶性肿瘤, 早期、精确诊断对生存率的提高起到至关重要的作用。近年来, 随着低剂量螺旋CT(LDCT)检查的广泛应用, 越来越多的肺小结节被发现, 但大部分为良性结节, 如果进行有创性处理, 将会给患者带来不必要的痛苦, 亦会造成医疗费用的损耗<sup>[1]</sup>。早期肺结节中恶性与良性如何区分是一个临床面临的难点。目前对于肺部早期结节的良恶性影像判断完全由放射医师主观判断, 这就造成了判断过程重复性差, 判断偏颇等缺点。影像组学

(Radiomics)是在医学图像数字量化的基础上, 使用一种特殊算法从形态、密度、纹理等信息中获得一系列多维数据和参数, 然后运用算法建立预测模型, 目前已成为定量分析医学影像的趋势之一。Lambin 等于 2012 年率先定义了“影像组学”一词, 至今影像组学技术已对肺部癌症的早期诊断、治疗反应预测及预后评估等方面研究获得重大进展, 尤其在早期肺部肿瘤良恶性判断上展现出良好的辅助性诊断作用<sup>[2]</sup>。本综述将进行深入分析。

## 2 影像组学基本流程

### 2.1 图像采集与预处理

影像组学的第一步是采集高质量的图像, 这是后续分析的第一步。决定后续分析稳定性和可信度的关键因素。肺

【作者简介】姜汶扬(1987-), 女, 中国吉林舒兰人, 本科, 主治医师, 从事医学影像学研究。

小结节影像信息大多由 CT 扫描获得, 由于不同的扫描仪、扫描程序、受检者的体位等导致影像的异质性。这一因素被诸多研究学者通过标准化的一致性扫描程序如: 1.0mm 层厚、重建算法、辐射剂量控制来降低, 减少来自不同扫描参数造成的影像图像的变异。有研究者如 Yang M<sup>[3]</sup> 等认为图像的一致性转换是影像组学特征数据比较性得以保证的重要前提, 通过图像灰阶值转换、强度规范化等操作来去除不同扫描参数导致数据的偏差, 提高影像组学特征的重复性和稳定性。

## 2.2 ROI/VOI 分割方法对比

ROI 或 VOI 的正确勾画是区域分割在影像学上的具体实施, 同时也是开展影像组学特征提取的重要前提。区域分割包括手动、半自动和自动分割。其中手动分割是由有经验的放射科医师直接根据 CT 图像层叠勾画结节边界, 方法精度高, 但是花费时间长, 存在主观性, 临床所得结果也较不稳定<sup>[4]</sup>。为了缩短操作的时间、减小操作的差异, 多用半自动分割技术, 如利用图像的阈值法、区域生长法、边缘检测法来辅助确定初步位置, 最后由人工医师确认边界, 缩短人工操作时间但不损失操作的精度。

Ma W J 等研究构建了基于 3DUNet 的肺结节自动分割程序, 将自动分割和半自动修正相结合, 通过模型预测结果与人工修正反馈迭代来提高亚实性结节分割精度<sup>[5]</sup>。

由此可知, ROI/VOI 的准确勾画是开展影像组学分析的基础; 手动分割虽然精度较高, 但存在操作耗时长、主观性强等问题; 半自动分割通过引入阈值法、区域生长法等图像处理技术, 在保证精度的同时提升了效率。自动分割技术正不断发展, 但在实际应用中仍需与人工校正相结合, 以提高复杂或亚实性结节的分割效果。

## 2.3 高通量特征提取详解

ROI/VOI 分割完成后, 正式进入影像组学的核心环节——高通量特征提取。提取的特征主要包括形态学特征、统计学特征和变换域特征。其中, 形态学特征主要表示结节的形态几何特征, 包括体积、表面积、边缘粗细程度、紧致程度等; 统计学特征主要包括一阶统计(均值、方差、偏度、峰度)以及二阶统计(灰度共生矩阵 GLCM、灰度游程矩阵 GLRLM、灰度依赖矩阵 GLDM 等), 用于反映图像纹理和灰度的空间复杂关系。变换域特征基于小波变换、傅里叶变换、梯度算子等提取多尺度、多角度的影像特征。

樊雅欣<sup>[6]</sup>等验证高维度的纹理特征反映了肿瘤的异质性, 与基因表达、病理分级之间存在相关性。在影像组学软件工具中, 由于 PyRadiomics 具备强大的功能、可扩展性及开源的特点, 成为研究的热点; MaZda、(AIKit) 等也同样被广泛采纳<sup>[7]</sup>。多项研究验证这些特征可重复性, 李姝霖<sup>[8]</sup>等通过多平台跨机构测试确定了一组具有较高的稳定性及可重复性的影像组学特征, 为今后在临床的应用打下坚实基础。

## 2.4 特征筛选与降维策略

特征数量可达数百或者几千维, 在抽取了数百或者几千维特征后, 如何能够找到能诊断且不冗余的特征是搭建高效模型的关键。特征选择的方法主要有 3 种, 分别是过滤式特征选择方法、包裹式特征选择方法和嵌入式特征选择方法。过滤法典型的有卡方检验、方差选择和相关系数法等, 速度快, 但是忽略了不同特征之间的交互<sup>[9]</sup>; Borisov A<sup>[10]</sup> 等人使用 PCA 主成分方法进行降维, 降低特征维度的同时保留了主要信息。科学合理的特征筛选方法能够既提高模型的准确率, 又提高了模型的解释性, 有助于临床的理解与应用。

## 2.5 分类器与融合策略

影像组学的终极目的是建立精度高、效率好的分类模型来进行肺小结节的良恶性鉴别。Logistic 回归、支持向量机(SVM)、随机森林(RF)、XG Boost 是最常用的机器学习算法。徐婷<sup>[11]</sup>等将 CNN 和 VGG-16 预训练模型结合, 融合传统的影像组学特征建立诺模图, 能大幅地提高淋巴结转移预测的性能, 说明深度学习与影像组学结合有很大的前景。除此之外, 融合多模态也是研究的热点之一, 即将 CT 影像、PET 影像、临床资料和生物标志物这多层信息加以融合, 从而提高诊断的精确性。下一步, 采用自动分割技术与边缘计算相结合, 实现影像组学模型实时精准使用也会是未来的趋势之一。

## 3 影像组学对肺小结节良恶性鉴别

肺小结节是肺癌早期的典型表现形式, 准确鉴别其良恶性对于肺癌的早期诊断及治疗方案制定至关重要。

在回顾性研究中, 刘嘉宁<sup>[12]</sup>等收集了多例孤立性肺实性结节病人, 基于 Logistic 回归模型从影像组学特征中筛选出 8 个高相关的特征建立影像组学模型, 并在测试集获得了 AUC 达 0.96 的较好的诊断水平, 显示了经过合理的筛选特征和统计模型的影像组学, 能够有效提升肺实性结节良恶性鉴别准确率, 为临床的辅助决策提供了有效的帮助。

胡翔宇<sup>[13]</sup>等则对亚实性结节采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归选择 5 个重要特征, 综合结节形态边缘、毛刺及大小信息, 建立具有 Rad-Score 的诺模图, 解释其对恶性度的预测价值。该研究指出当该模型阈值概率 >10% 时具有很强的临床应用价值, 可以辅助临床制订合理的干预方案, 减少不必要的侵入性检查及随访压力。

苏蕾<sup>[14]</sup>等结合 18F-FDGPET 和同病变区域的 CT 影像中的 756 种影像组学特征, 选出 10 个影像组学特征建立分类鉴别模型, 模型显示该分类器 AUC 为 0.95, 灵敏度、特异性均在 90% 以上, 分类准确率达到 95.2%。这一多模态融合的研究印证了影像组学在肺结节恶性的鉴别中的巨大价值, PET 的代谢信息与 CT 的解剖信息融合提高了鉴别能力, 尤其对于部分鉴别困难的结节有重要意义<sup>[15]</sup>。

其次,与影像组学相融合的深度学习混合模型逐步涌现。有研究使用卷积神经网络(cnn)自动生成影像特征与传统组学特征结合能更好地实现肺结节良恶性的分类,其正确率、泛化性有明显的提高<sup>[16]</sup>。相比传统机器学习深度学习能更加有效学习影像复杂、非线性的特征、隐藏特征,减少人为干扰,更具有诊断价值<sup>[17]</sup>。

综上所述,基于CT影像组学的肺小结节良恶性判别临床应用价值大、发展前景好,随着对影像图像过程优化、算法优化和临床应用的进一步开发,影像组学将取代常规影像组学成为肺小结节诊断的主要手段,从而促进肺癌精准诊疗的发展。

## 4 总结与展望

临床关于肺小结节的影像组学相关研究报道越来越多,通过图像的规范采集和预处理、分割的ROI、对特征的多维度提取、对特征进行科学的筛选以及不同的机器和深度学习方法的模型构建,已成为衡量肺结节的特征并用于良恶性鉴别。影像组学模型研究在肺小结节良恶性鉴别上应用价值较高,可以更准确快速地进行鉴别诊断并提供参考,对临床分期分型等方面提供了借鉴和指导。然而,影像组学的应用在肺结节的良恶性鉴别上依然有很多的限制因素。

首先,目前对于影像组学研究虽然众多,但是数据存在异质性,多中心、多种设备、多种协议的数据格式规范化亟待进行;其次是结节多形性,尤其是部分亚实性结节边界不清晰,导致部分图像难以进行精准自动分割,最终导致特征的提取效果不能达到精准的最佳状态;再次是许多影像组学的模型已经基于回顾性样本构建,对于前瞻性临床研究的验证及多临床队列的临床试验依然匮乏。最后是影像组学模型本身的不透明性,难以实现为临床医生提供可理解的、有效的决策建议。

在未来,建议建立更加宏大的、多中心的、多设备的大样本标准化肺结节影像数据库,带动模型的外部验证与多中心使用;进一步拓展人工智能,特别是深度学习的技术应用,自动分割、特征提取、与多模态影像(如PET-CT、MRI)信息融合,提高其诊断精准性与一致性;加强模型的临床使用,结合患者临床资料、生物标志物等多元信息,生成综合性的诊断、预后模型,加强模型的临床易理解性,可视化工具、特征的重要性分析,提高医生对于模型的接受度;积极进行前瞻性、多中心的临床研究,验证影像组学模型在临床的利用价值及其对患者预后的评估与影响,推进从研究到临床应用的进程。未来的影像组学及与多学科交叉将推进肺癌从个体化、精准化、动态化方向发展,并给肺癌患者提供更加科学化、良好的生存预后。

## 参考文献

[1] 蒙佳欣,历风元,蒙佳奇.肺结节良恶性评估研究进展[J].牡丹江医学院学报,2023,44(02):159-162.  
[2] 马奔,赵成,束翌俊,等. CT影像组学在胃肠道间质瘤

中的应用进展[J].上海交通大学学报(医学版),2023,43(07):923-930.

[3] Yang M ,Ma J ,Zhang C , et al. Multimodal data deep learning method for predicting symptomatic pneumonitis caused by lung cancer radiotherapy combined with immunotherapy [J]. *Frontiers in Immunology*, 2025, 15 1492399-1492399.  
[4] 俞越,石磊. 基于CT影像的人工智能模型预测晚期非小细胞肺癌免疫治疗反应的研究进展 [J]. *国际医学放射学杂志*, 2025, 48 (01): 81-85.  
[5] Ma W J ,Yuan X C ,Muhammad S , et al. Enhancing the prediction of KRAS mutation status in Asian lung adenocarcinoma: a comprehensive approach combining clinical, dual-energy spectral computed tomography, and radiomics features. [J]. *Translational lung cancer research*, 2024, 13 (12): 3566-3578.  
[6] 樊雅欣,张惠勇,苏奔,等. CT影像组学诊断与治疗肺结核:临床应用现状及前景 [J]. *中国医学影像技术*, 2024, 40 (12): 1957-1960.  
[7] Raptis S ,Ilioudis C ,Theodorou K . Uncovering the Diagnostic Power of Radiomic Feature Significance in Automated Lung Cancer Detection: An Integrative Analysis of Texture, Shape, and Intensity Contributions [J]. *BioMedInformatics*, 2024, 4 (4): 2400-2425.  
[8] 李姝霖,向之明. 双能量CT影像组学在肺癌诊疗中的研究进展 [J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43 (12): 2193-2196.  
[9] 张帅,韩鹏,张苏雅,等. CT影像组学在肺腺癌分化水平预测中的应用 [J]. *中国医疗器械杂志*, 2024, 48 (06): 591-594.  
[10] Borisov A ,Karelidze D ,Ivannikov M , et al. Application of Radiomics for Differentiating Lung Neuroendocrine Neoplasms [J]. *Diagnostics*, 2025, 15 (7): 874-874.  
[11] 徐婷,刘晓雯,陈亚曦,等. 基于CT影像组学列线图预测肺腺癌程序性细胞死亡受体配体1表达状态[J]. *中国医学影像学杂志*, 2025, 33(01): 33-40.  
[12] 刘嘉宁,齐琳琳,陈佳琪,等. CT影像组学对亚厘米实性肺结节良恶性鉴别的应用价值[J]. *中国辐射卫生*, 2024, 33(03): 340-345.  
[13] 胡翔宇,沈天赐,王洋洋,等. 基于机器学习探究临床联合增强CT影像组学特征对肺结节良恶性的鉴别诊断价值[J]. *湖北医药学院学报*, 2024, 43(01): 39-45.  
[14] 苏蕾,周牧野,李阳,等. 超声影像组学对乳腺BI-RADS3类及以上结节良恶性鉴别诊断的应用价值[J]. *蚌埠医学院学报*, 2023, 48(08): 1101-1104.  
[15] 米拉·也尔兰,张海见,胡峙珩,等. 超声影像组学对BI-RADS4a类不规则乳腺结节良恶性的鉴别价值[J]. *分子影像学杂志*, 2023, 46 (01): 12-20.  
[16] 王晓瑞,苏晓华,周全红,等. CT影像组学鉴别良恶性孤立性肺结节的价值分析[J]. *北京医学*, 2022, 44(09): 804-808. DOI: 10.15932/j.0253-9713.2022.09.007.  
[17] 雷爱春,杨殿香,李光芒,等. CT影像纹理分析对肺磨玻璃样小结节良恶性的鉴别诊断[J]. *现代医学*, 2021, 49(09): 1075-1079.