

肺结节影像学诊断研究进展

梁 坤

亳州市人民医院影像中心, 安徽 亳州

收稿日期: 2025年8月19日; 录用日期: 2025年9月13日; 发布日期: 2025年9月25日

摘 要

肺癌在中国是恶性肿瘤发病和死亡的主要原因, 肺癌早期常表现为肺结节, 肺结节常在计算机断层扫描(CT)成像中发现, 需要仔细地诊断评估和管理, 以诊断存在的恶性肿瘤, 并避免对良性病变进行不必要的活检。所以早期诊断肺结节的良恶性就显得尤为重要。

关键词

肺结节, 进展, 影像学

Advances in Imaging Diagnosis of Pulmonary Nodules

Shen Liang

Bozhou People's Hospital Video Center, Bozhou Anhui

Received: Aug. 19th, 2025; accepted: Sep. 13th, 2025; published: Sep. 25th, 2025

Abstract

Lung cancer is the main cause of malignant tumors and death in China, lung cancer often manifests as lung nodules in the early stage, and lung nodules are often found in computed tomography (CT) imaging, which requires careful diagnostic evaluation and management to diagnose the presence of malignant tumors and avoid unnecessary biopsies for benign lesions. Therefore, it is particularly important to diagnose the benign and malignant nature of lung nodules early.

Keywords

Pulmonary Nodules, Progress, Imaging



1. 基于临床与 CT 形态学的初步风险分层

1.1. 介绍

随着胸部计算机断层扫描(CT)成像检查的急剧增加,以及用于早期检测肺癌的低剂量 CT 筛查程序的出现,导致被诊断为肺结节越来越多,当检测到肺结节时,无论是偶然还是通过筛查,肺结节的良恶性是主要关注的问题,肺结节的病因可能多种多样,包括肉芽肿、错构瘤和动静脉畸形等多种良性病变,以及支气管癌、转移瘤和淋巴瘤等恶性病变。这种病因的多样性也可能增加一旦发现结节的评估方法的混乱。肺癌是世界范围内最致命的恶性肿瘤[1]。肺癌的明确诊断需要进行侵入性肺活检,但是会有手术成本和潜在的重大风险,包括呼吸衰竭、肺气肿、心肌梗死,甚至死亡。因此,恶性肿瘤风险分层是指导临床医生肺结节管理决策的基本第一步,临床医生寻求及时诊断癌症,同时避免对良性肺结节患者进行不必要的手术;恶性肺结节在影像学监测方面管理不当会延迟癌症的诊断,甚至可能剥夺患者治疗的机会。

1.2. 普通 CT

CT 上的肺结节是一种圆形或不规则的阴影,边界清晰或模糊,直径可达 3 厘米。肺结节的密度可以是实性或部分实性。实性肺结节具有软组织密度,完全掩盖了下面的肺实质。纯磨玻璃结节被定义为肺密度增加的局灶性结节区域,通过该区域可以看到正常的实质结构,如肺血管。部分实性结节是指存在磨玻璃和实性成分。部分实性结节恶性率高于实体结节[2]。组织学上,持续性部分实性结节代表了一系列外周腺癌或其前体,从非典型腺瘤增生(AAH)到浸润性腺癌,然而,并非所有部分实性结节都是恶性的。事实上,部分实性结节包括各种组织学背景,包括许多良性疾病,如局灶性间质纤维化、嗜酸性肺炎、胸部子宫内膜异位症和局灶性出血[3]。为了准确评估部分实性结节,精确测量病变直径并表征固体成分的存在和大小,需要连续的高分辨率薄层 CT 图像,切片厚度为 2.5 mm 或更小。

普通 CT 主要观察肺结节形态学改变,计算机断层扫描对肺结节的良恶性主要通过,大小、体积、生长速度等来鉴别的。恶性肿瘤的风险与结节大小密切相关;高达 80%的结节 >20 mm 是恶性的,而超过 90%的 20 mm < 结节是良性的[4]。在无癌症病史的患者中偶然发现直径 5 mm 或更小的肺结节中,<1%的患者在随后的 2 年内表现出恶性行为[4]。三维体积测量比单维测量更准确地评估肺结节大小的变化,由于结节生长是一个 3D 过程,因此体积评估在识别结节大小变化方面比测量更敏感,特别是对于不对称形状或结节生长。生长速度肺结节的生长速度对于确定恶性肿瘤的可能性至关重要。病灶的生长速度是通过计算“倍增时间”来确定的,“倍增时间”是病灶倍增所需的时间。一般来说,良性病变的倍增时间比恶性病变长。恶性结节的双斑时间在 30~400 日之间[5]。病变在 2 年内没有生长已被接受为良性的可靠标志。然而,一些恶性病变,尤其是腺癌谱,以前称为支气管肺泡细胞癌,可以生长非常缓慢。肺结节可以是多发性的或孤立的[6]。多发性肺结节有多种病因,如、结节病、淀粉样变性、类风湿性关节炎。肺部一个区域出现多个肺结节可能提示良性病因;然而,存在卫星病变较小的多位结节提示肺癌。在良性特征中,脂肪和特定的钙化可用于识别结节是否为良性,其他特征没有足够的特异性。轮廓和边距,包括光晕标志和反向光晕标志。一般来说,在评估单个结节是否恶性肿瘤时,结节形状和边缘特征既不够敏感也不够特异。多边形对良性具有高度特异性,对于胸膜下结节,多边形很可能代表肺内淋巴

结。由于恶性细胞的局部扩展，边缘不规则或尖状，高度怀疑支气管癌，但也可见感染和局灶性纤维化。

其中美国放射学会制定的 Lung-RADS 分级系统通过标准化评估，帮助医生和患者制定科学的随访及管理策略，减少医疗成本和不必要的反复筛查。1 类：阴性，无结节或良性特征(如钙化、含脂肪结节)，恶性概率 <1%，建议 12 个月后复查。2 类：良性，结节直径小或无变化，恶性概率 <1%，12 个月后复查。3 类：可能良性，结节直径 6~8 mm 或新发 4~6 mm，恶性概率 1%~2%，6 个月后复查。4A 类：可疑恶性，结节直径 8~15 mm 或增长 <8 mm，恶性概率 5%~15%，3 个月后复查或 PET-CT 检查。4B 类：高度可疑恶性，结节直径 ≥ 15 mm 或增长 ≥ 8 mm，恶性概率 >15%，需活检或手术[7]。

2. 利用功能成像进行深度定性

2.1. 光谱 CT

光谱双层探测器计算机断层扫描(SDCT)是一种很有前途的肿瘤识别技术。它在传统扫描中收集高能 and 低能数据，并提供同相、同步和同源信息，从而提高数据采集精度。SDCT 利用反相关噪声抑制来保持始终如一的低噪声水平。最近的研究表明，SDCT 衍生的多组和多模态定量参数，如有效原子序数(Z_{eff})、电子密度(ED)及标准化碘浓度(NIC)，可以显著提高纯磨玻璃结节的判别能力。 Z_{eff} 可以通过分析 X 射线的能谱并计算每个元素的质量分数和每个体素中相应的线性衰减系数来获得。这使得能够区分和定量分析不同的组织类型，例如肿瘤分化、血管成像和脂肪沉积。与 CT 相比，SDCT 在成像、材料分解和特征量化方面提供了改进放射组学从 CT 图像中提取许多成像特征，包括形态学和纹理特征，以分析这些特征与病理变化之间的相关性。

研究表明，NIC、NEF70keV 和 NEF40keV 分别是预测结节良恶性诊断的最佳 3 个参数，NIC、D70keV 和病灶大小是预测恶性结节的独立危险因素[7]。优于独立危险因素中诊断效率最高的 NIC (AUC = 0.869)。放射学图像特征反映了病变形态的宏观细节，而 SDCT 的定量参数反映了微观细节，例如血流和材料成分形态学特征和 SDCT 定量参数的结合可以更准确地揭示实体 SPN 的本质特征，从而进一步提高诊断效率[8]。

2.2. PET/CT

对于纯磨玻璃结节，正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(PET/CT)扫描的价值有限，它不能排除浸润性腺癌的可能性，也不能用于分期，因为纯 GGN 的淋巴结或远处转移的可能性很低。PET/CT 适用于持久性部分实性结节的情况，特别是固体成分长度为 10 mm 或更长的情况。PET/CT 的结合显著提高了肺结节的特征描述和管理能力，其对恶性肿瘤的敏感性和特异性分别为 96%和 88% [8]。通常，标准化摄取值(SUV)为 2.5 被用作恶性肿瘤的阈值。某些肺癌，特别是以前被归类为细支气管肺泡癌(BAC)的腺癌，即使在数厘米大小时也可能在 CT 上出现假阴性，而一些感染和炎症性疾病则可能导致 CT 假阳性。尽管阳性 CT 通常促使采取组织取样措施，但阴性 PET/CT 并不意味着可以完全忽略结节，而是需要进行低辐射剂量胸部 CT 随访检查，以观察间隔期是否有生长。

3. 放射组学与 AI 模型的辅助决策价值

在目前的实践中，CT 上发现的肺结节是根据广泛接受的指南进行管理的。结节管理背后的主要驱动因素是结节大小，因为肺癌的风险随着结节大小呈指数级增加。此外，还描述了许多可能预测恶性肿瘤的主观视觉特征。然而，最终大多数小结节需要监测，并且很难甚至不可能通过单次 CT 确定地预测恶性肿瘤的可能性。此外，基于结节评估在视觉形态学特征(例如平滑、不规则和推测)上，受到相当大变异性的影响，并且肺结节中视觉可识别的鉴别因子的数量有限。相比之下，在放射组学中，可提取结节特征

的数量要多得多，并且可以以更高的可重复性进行识别。

基于纹理的分析研究说明了可以从肺结节中提取的潜在大量放射组学纹理特征，他们在恶性原发性肺结节和良性结节的分类方面达到 82.7% 的准确率[4]。Lee 等人评估了 86 个部分实体结节的纹理特征。他们发现，低平均衰减、较低的 5 个百分位数 CT 数和较高的衰减正偏度是瞬时性结节和持久部分实体结节的重要区分因素。当纹理分析与临床和 CT 特征结合使用时，与单独使用临床和 CT 特征相比，鉴别能力显著增加；AUC 从 79% 上升到 92.9% [5]。在另一项针对 86 个部分固体毛玻璃结节的研究中，Chae 等人使用基于纹理的特征(曲线下面积, 0.981)的组合成功区分了浸润前病变和浸润性肺腺癌，较高的峰度和较小的质量是特别好的鉴别因素；在 NSCLC 中，已经为接受手术、放疗或靶向治疗的患者开发了预后模型[7]。

放射组学有可能彻底改变肺癌的诊断、监测和治疗计划，从而以非侵入性和具有成本效益的方式进行个性化管理。尽管初步证据很有希望，但在将其应用于临床实践之前，还需要做更多的工作来提高这些结果的有效性[9]。

4. 结论

肺结节的诊断和表征仍然是一个常见的临床管理问题。结合放射学特征、大小的时间变化和 PET-CT 代谢特征的方法有助于在适当的临床环境中做出诊断。

参考文献

- [1] Jiang, Z.F., Wang, M. and Xu, J.L. (2018) Thymidine Kinase 1 Combined with CEA, CYFRA21-1 and NSE Improved Its Diagnostic Value for Lung Cancer. *Life Sciences*, **194**, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2017.12.020>
- [2] Li, S., Wei, X., Wang, L., Zhang, G., Jiang, L., Zhou, X., et al. (2024) Dual-Source Dual-Energy CT and Deep Learning for Equivocal Lymph Nodes on CT Images for Thyroid Cancer. *European Radiology*, **34**, 7567-7579. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-10854-w>
- [3] Wang, Y., Chen, H., Chen, Y., Zhong, Z., Huang, H., Sun, P., et al. (2023) A Semiautomated Radiomics Model Based on Multimodal Dual-Layer Spectral CT for Preoperative Discrimination of the Invasiveness of Pulmonary Ground-Glass Nodules. *Journal of Thoracic Disease*, **15**, 2505-2516. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-1605>
- [4] Lee, K.S., Yi, C.A., Jeong, S.Y., et al. (2007) Solid or Partly Solid Solitary Pulmonary Nodules: Their Characterization Using Contrast Wash-In and Morphologic Features at Helical CT. *Chest*, **131**, 1516-1525.
- [5] 孟瑜, 陈爱华, 江龙, 等. Lung-RADS 分级、CT 对孤立性肺结节的定性诊断价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(9): 51-53+63.
- [6] 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 王少明, 李荔, 孙可欣, 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.
- [7] Johnson, T.R.C., Krauß, B., Sedlmair, M., Grasruck, M., Bruder, H., Morhard, D., et al. (2006) Material Differentiation by Dual Energy CT: Initial Experience. *European Radiology*, **17**, 1510-1517. <https://doi.org/10.1007/s00330-006-0517-6>
- [8] Wang, B., Gao, Z., Zou, Q. and Li, L. (2003) Quantitative Diagnosis of Fatty Liver with Dual-Energy CT: An Experimental Study in Rabbits. *Acta Radiologica*, **44**, 92-97. <https://doi.org/10.1258/rsmacta.44.1.92>
- [9] 苏书艳, 史家欣. Swensen 模型、Brock 模型及 PKUPH 模型预测孤立性肺结节性质的价值比较[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2024, 16(6): 588-592.