

微结构高清容积成像对亚实性肺内病灶表型——效能关联图谱的诊断影响

李如友, 李丹

云南大学附属医院, 云南 昆明 650091

DOI:10.61369/MRP.2026070013

摘 要 : 评价微结构高清容积成像对于亚实性肺内病灶的诊断价值, 评估该病灶的表型-效能关联图谱。方法 2021年11月-2023年11月高校体检人数4110人, 筛选出亚实性肺内病灶461例, 以手术病理为准, 良性记作441例, 恶性记作20例, 均回顾性分析微结构高清容积成像结果, 评价其诊断效果。结果 良恶性的多个CT征象相比, 均是 $P < 0.05$ 。绘出ROC曲线, 可见CT征象均能检出恶性病变, 均为 $P < 0.05$ 。结论 为亚实性肺内病灶患者实行微结构高清容积成像诊断可明确检出良恶性的征象差异, 判断其表型-效能关联图谱, 而且各个征象对于良恶性的鉴别作用均较强。

关 键 词 : 微结构高清容积成像; 亚实性肺内病灶; 表型-效能关联图谱

Diagnostic Impact of High-Definition Volumetric Imaging with Microstructural Resolution on the Phenotype — Efficacy Correlation Map of Subsolid Pulmonary Lesions

Li Ruyou, Li Dan

University Hospital of Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091

Abstract : This study aims to evaluate the diagnostic value of high-definition volumetric imaging with microstructural resolution for subsolid pulmonary lesions and assess the phenotype-efficacy correlation map of these lesions. Methods: From November 2021 to November 2023, among 4,110 individuals who underwent examinations at the university hospital, 461 cases of subsolid pulmonary lesions were identified. Based on surgical pathology, 441 cases were classified as benign and 20 cases as malignant. A retrospective analysis of the high-definition volumetric imaging with microstructural resolution results was conducted to evaluate its diagnostic efficacy. Results: Comparisons of multiple CT signs between benign and malignant lesions all showed $P < 0.05$. The ROC curves demonstrated that all CT signs could detect malignant lesions, with $P < 0.05$ for each. Conclusion: High-definition volumetric imaging with microstructural resolution can clearly identify differences in signs between benign and malignant subsolid pulmonary lesions, determine their phenotype-efficacy correlation map, and exhibits strong discriminatory power for differentiating between benign and malignant lesions based on various signs.

Keywords : high-definition volumetric imaging with microstructural resolution; subsolid pulmonary lesions; phenotype-efficacy correlation map

亚实性肺内病灶是影像学中的诊断表现之一, 属于特征性病灶, 即稍高密度影, 部分实性结节或细支气管内存在云絮状阴影, 其是多种肺病的影像学表现, 如肺炎、肺泡出血或超早期肺腺癌等, 需鉴别其良恶性, 进而合理选择治疗方案^[1]。微结构高清容积成像是该病的新型诊断方法, 可利用三维容积采集和重建系统全面观察病灶情况, 可灵活调整扫描方向或是角度, 进而提高病灶的显示度, 直观观察肺结节形态与功能特征。此外, 微结构高清容积成像对于病灶部位和周围血管的描绘清晰度高, 不易导致断层显像空隙, 因此空间分辨率高, 诊断效能优异。基于此, 本研究选择461例亚实性肺内病灶患者, 均在手术病理的前提下, 回顾性评价微结构高清容积成像的诊断效果。

一、资料与方法

（一）一般资料

选择2021年11月–2023年11月间入院的461例亚实性肺内病灶患者，结合手术病理结果，良恶性结节的基本数据如下：

表1 良恶性结节的基本数据对比 [n/%，±s]

结节性质	例数	性别		年龄（岁）
		男性	女性	
良性	441	294（66.67）	147（33.33）	55.32±5.18
恶性	20	12（60.00）	8（40.00）	55.71±5.24
χ^2/t		0.381		0.329
P		0.537		0.742

（二）方法

对所有患者实行CT平扫：要求患者摘取金属物件，保持仰卧位，上举双手至头顶。选择64层螺旋CT机，予以常规平扫。告知患者深呼吸后屏息，扫描起始点在胸廓处，扫至肺底区域。联合薄层容积螺旋扫描，电流设定250mA，电压设定120kV，矩阵设定510*510，重建层厚设定0.625mm。所有图像传至工作站，以专业软件实施最大密度投影处理（即为MIP）以及容积重建处理（即为VR）。2名医生实行双盲法阅片，针对不统一结果需协商后给出最终结果。

（三）观察指标

将手术病理作为基准，评价良恶性结节的疾病类型，并细致分析其CT征象。绘制出ROC曲线，判定不同征象的AUC数值等，评估其诊断效能。

（四）统计学分析

数据处理经由SPSS28.0软件完成，计量值经t值对比与检验，计数值经 χ^2 值对比与检验，存有统计学意义的标准为P值<0.05。

二、结果

（一）分析手术病理结果

手术病理的结果具体如下：

表2 分析手术病理结果

结节性质例数	疾病类型	例数（n）	占比（%）
良性 441	不典型腺瘤样增生	146	33.11
	炎性肉芽肿变	101	22.90
	真菌感染	110	24.94
	结核病（含陈旧性）	28	6.35
	局灶性纤维化	56	12.70
恶性 20	腺癌	9	45.00
	鳞癌	11	55.00

（二）良恶性结节的CT征象对比

良恶性结节的各个CT征象相比，均为P<0.05。

表3 良恶性结节的CT征象对比 [±s，n/%]

CT征象		良性 (n=441)	恶性 (n=20)	t/ χ^2	P
直径（cm）	光滑	1.52±0.48	2.23±0.74	6.293	0.000
	粗糙	88（19.95）	9（45.00）	7.224	0.007
边界	是	353（80.05）	11（55.00）		
	否	79（17.91）	8（40.00）	6.096	0.014
毛刺征	是	362（82.09）	12（60.00）		
	否	57（12.93）	8（40.00）	11.580	0.001
分叶征	是	384（87.07）	12（60.00）		
	否	123（27.89）	12（60.00）	9.525	0.002
血管集束征	是	318（72.11）	8（40.00）		
	否	137（31.07）	14（70.00）	13.167	0.000
胸膜凹陷征	是	304（68.93）	6（30.00）		
	否	159（36.05）	13（65.00）	6.853	0.009
形态	不规则	282（63.95）	7（35.00）		
	圆形	160（36.28）	13（65.00）	6.731	0.010
支气管充气征	是	281（63.72）	7（35.00）		
	否	137（31.07）	12（60.00）	7.322	0.007
空泡征	是	304（68.93）	8（40.00）		
	否				

（三）不同CT征象的诊断效能分析

绘制ROC曲线，所有CT征象对于恶性结节的诊断效能均较佳，且边界光滑、分叶征和胸膜凹陷征算出的AUC数值最大，即为P<0.05。

表4 不同CT征象的诊断效能分析

CT征象	AUC	敏感度（%）	特异度（%）	P值
直径	0.681	56.66	77.61	0.004
边界	0.815	81.08	80.16	<0.001
毛刺征	0.684	52.95	85.62	0.005
分叶征	0.749	60.49	87.62	<0.001
血管集束征	0.655	60.48	87.61	0.011
胸膜凹陷征	0.718	71.81	70.14	0.003
形态	0.715	66.12	75.14	0.002
支气管充气征	0.668	66.17	65.01	0.006
空泡征	0.655	62.37	67.60	0.014

三、讨论

亚实性肺内病灶是发病频率比较高的肺部病变，即肺组织内部伴有高密度影，且呈现为磨玻璃样，肺纹理较为清晰。该类结节可发病于肺部炎性病变，也可见于肺腺癌等恶性肿瘤，多呈现为混合型磨玻璃结节影。亚实性肺内病灶是比较特殊的肺部影像学特征，通过对其影像学特征的全方位分析，能够初步鉴定肺部病变的具体类型。其良恶性鉴别难度比较大，可根据表型–效能关联图谱进行有效鉴别。

影像学检查是该病的主要诊断方法，其中X线的操作流程简单，诊断费用低廉，是肺部常见疾病的主要诊断形式^[2]。但其分辨率低，难以有效检出微小病灶或隐匿性结节，因此疾病的漏误诊率较高。相比较而言，CT诊断的分辨率与精准度更高，具有典型的诊断优势。微结构高清容积成像是无创而且高效的诊断方

法，其诊断速度比较快，可在短时间内出具诊断结果，即在数秒或短时间内完成对肺器官的全面扫查，且诊断结果受呼吸伪影的影响性比较小，不容易出现漏误诊情况。相比于16或32层CT，微结构高清容积成像的层厚明显更薄，图像清晰度显著提升，可根据诊断需求对切面图像进行多角度和实时性调整，因此可清晰检出微小结节，可行性较高。

结果显示，良恶性亚实性肺内病灶在多个CT征象上均呈现显著差异（ $P < 0.05$ ），从量化指标来看，恶性病灶的平均直径（ 2.23 ± 0.74 cm）明显大于良性病灶（ 1.52 ± 0.48 cm），与肿瘤细胞的异常增殖特性密切相关。恶性肿瘤细胞具有不受控制的生长能力，会不断侵蚀周围组织，导致病灶体积逐渐增大。相比之下，良性病灶通常生长较为缓慢，多由炎症、感染或局部组织异常增生引起，其生长速度相对稳定，因此直径较小。良性病灶中边界光滑的比例（19.95%）明显的低于恶性病灶（45.00%），而边界粗糙的比例（80.05%）则远高于恶性病灶（55.00%）。边界光滑的良性病灶通常是由于局部组织的良性增生或炎症修复过程中，组织生长较为规则，与周围正常组织分界清晰^[3]。相反，恶性病灶由于肿瘤细胞的侵袭性生长，会侵犯周围组织，导致边界模糊、粗糙，甚至出现毛刺状改变。毛刺征在恶性病灶中的出现比例（40.00%）相比于良性病灶（17.91%）高，此为恶性肿瘤的典型特征之一。毛刺的形成是由于肿瘤细胞向周围组织浸润生长，形成细小的纤维索条，这些索条在影像学上表现为从病灶边缘向外延伸的细长影。分叶征在恶性病灶中的比例（40.00%）也显著高于良性病灶（12.93%），分叶状外观是由于肿瘤细胞在不同方向上的生长速度不一致，导致病灶表面呈现出多个凹陷和隆起，形似树叶^[4]。以上征象的出现提示病灶具有较高的恶性风险，需要进一步深入检查和诊断。

血管集束征和胸膜凹陷征在恶性病灶中的表现也具有显著特征。血管集束征是指病灶周围的血管向病灶聚集，此现象在恶性病灶中的出现比例（60.00%）明显高于良性病灶（27.89%）。恶性肿瘤的生长需要大量的营养物质和氧气供应，因此会刺激周围血管生成，形成丰富的血管网络，并向病灶中心聚集，以满足肿瘤细胞的代谢需求^[5]。胸膜凹陷征是指病灶与胸膜之间出现牵拉，导致胸膜凹陷，其主要见于恶性病灶中（70.00%）。胸膜凹陷是由于肿瘤细胞侵犯胸膜，或病灶内部的纤维组织牵拉胸膜所致，是恶性肿瘤侵犯周围组织的重要表现之一。形态不规则和支气管充气征、空泡征在恶性病灶中的比例也相对较高，此征象进一步提示了恶性病灶的复杂性和侵袭性。

微结构高清容积成像技术最大的优势是能把肺里小病灶的细微特征进行清楚显示，类似于高清放大镜，可观察出病灶边缘是否光滑、有无小毛刺或是整体形状是否规则。医生借助此技术实施阅片时，可以清晰判断病灶是良性还是恶性，不容易看错或漏掉重要信息，能给患者制定更为合适的治疗方案。病灶的大小、边缘的具体光滑程度，是否存在着分叶状突起或是胸膜牵拉等特征被认为是区分良恶性病灶的高效方法，如果发现病灶边缘特别光滑，或者有明显的分叶状突起，病灶和胸膜之间有牵拉凹陷，则可以根据上述特征基本判断恶性病灶。

AUC值可简单理解为判断准确性的评分，数值越接近1，则表示着判断越准确。边缘光滑、分叶状突起和胸膜牵拉特征的AUC值都比较高，说明它们在判断恶性病灶时较为精准。特别是边缘光滑征，不仅帮医生发现恶性病灶的准确率较高（能识别出约81%的恶性病灶），而且不易把良性病灶误判为恶性（误判率约20%），医生发现病灶边缘较为光滑时，需要高度警惕其属于恶性结节，而对于比较明确的良性结节而言，无需过度担心其被误判成恶性，所以可指导临床决策。分叶征的敏感度为60.49%，特异度为87.62%，说明分叶征虽然不能识别出所有的恶性结节，但对于识别出的恶性结节具有较高的特异性，能够准确地判断其为恶性。胸膜凹陷征的敏感度为71.81%，特异度为70.14%，同样在恶性结节的诊断中具有重要的参考价值。直径、毛刺征、形态、支气管充气征和空泡征等其他CT征象也具有不同程度的诊断效能^[6]。直径的AUC为0.681，说明病灶直径的大小对于恶性结节的诊断有一定的提示作用，但不能作为单一的诊断依据。毛刺征的AUC为0.684，毛刺征的存在提示病灶可能为恶性，但需要结合其他征象进行综合判断。形态、支气管充气征和空泡征的AUC分别为0.715、0.668和0.655，上述征象也在一定程度上反映了恶性结节的特征，但诊断的准确性和可靠性相对较低。ROC曲线分析后，临床医生可以根据各个CT征象的AUC数值、敏感度和特异度，综合考虑多个征象，制定更加科学合理的诊断策略。对于疑似恶性结节的患者，应仔细观察其CT图像中的各个征象，尤其是边界光滑、分叶征和胸膜凹陷征等具有较高诊断效能的征象，结合患者的临床症状、病史等综合信息，做出准确的诊断^[10]。同时，对于一些诊断不明确的病例，可以进一步进行其他检查，如PET-CT、穿刺活检等，以提高诊断的准确性。

综上，微结构高清容积成像在亚实性肺内病灶的诊断中具有重要价值，能够精准识别良恶性征象差异，对各CT征象的诊断效能评估良好，为构建表型-效能关联图谱提供有力支持。

参考文献

- [1] 李晶晶, 谢兴武, 夏青. 不同CT重建参数在肺结节良恶性鉴别中的诊断价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2025, 36(07): 474-477.
- [2] 陈雷, 张泽华, 罗容, 等. 基于CT靶扫描的人工智能软件对肺结节良恶性鉴别及病理学类型预测的初步研究[J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(03): 258-263.
- [3] 朱红伟, 董晓雷, 马士华. 基于CT灌注成像与纹理分析技术建立孤立性肺结节良恶性预测模型[J]. 安徽医药, 2025, 29(07): 1427-1431+1498.
- [4] 欧泳, 陈美银, 张湘秀. 光谱CT联合超高分辨靶扫描成像技术在肺结节诊断中的应用价值[J]. 临床医学工程, 2025, 32(06): 662-666.
- [5] 陈晓雪, 李可峰, 韩海森, 等. CT能谱成像参数联合血清细胞角蛋白19片段抗原21-1水平对孤立性肺结节性质的鉴别诊断价值[J]. 实用心脑血管病杂志, 2024, 32(09): 95-98.
- [6] 张东升, 盛茂, 何家伟, 等. CT双能量成像参数对肺结节病变性质的鉴别价值研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2024, 35(06): 406-410.
- [7] 刘力榛, 黎川, 梁勇, 等. 双源CT增强多参数成像在肺结节诊断中的临床价值[J]. 西部医学, 2024, 36(05): 766-770.
- [8] 杨洁, 李秋实, 赵森. CT与磁共振成像在肺结节患者中的诊断价值[J]. 黑龙江医学, 2024, 48(06): 686-688.
- [9] 钟洁豪, 叶文卫, 郭天畅, 等. 双能量CT成像碘图参数鉴别良恶性孤立性肺结节的应用研究[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(05): 78-80.
- [10] 沈丹, 文兵, 傅飞先. 能谱CT定量参数在肺结节/肿块评估中的应用进展[J]. 中国医学创新, 2023, 20(36): 169-174.