

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.01.010

高分辨率 CT 联合薄层多平面重建对早期肺腺癌影像特征识别的价值

盛平方

(许昌市第二人民医院 放射科, 河南许昌 461000)

【摘要】目的 探讨高分辨率计算机断层扫描 (high-resolution computed tomography, HRCT) 联合薄层多平面重建 (MPR) 在早期肺腺癌影像特征识别中的价值。**方法** 回顾性分析 2023 年 1 月至 2024 年 12 月在许昌市第二人民医院经手术及病理证实的早期肺腺癌患者 96 例。所有患者术前均接受 HRCT 及 MPR 检查, 记录结节的密度类型、边缘特征、内部结构及其与周围组织关系, 并将 HRCT 单独判读与 HRCT+MPR 联合判读结果进行比较, 以病理结果为金标准, 评价其敏感度、特异度和准确率。**结果** 96 例结节中, 纯磨玻璃结节 (pure ground-glass nodules, pGGN) 42 例 (43.8%), 部分实性结节 (part-solid nodules, PSN) 39 例 (40.6%), 实性结节 (solid nodules, SN) 15 例 (15.6%); 毛刺征、分叶征及血管穿行征在浸润性腺癌 (solid nodules, SN) 中的检出率较高。MPR 对结节边界及内部结构的显示较 HRCT 更清晰, 对毛刺征、分叶征、空泡征、血管穿行及胸膜相关征象的检出率均有所提高。以术后病理结果为金标准, 单纯 HRCT 对早期肺腺癌影像特征的正确识别率为 81.3%, HRCT 联合 MPR 后的正确识别率提高至 91.7%, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论** HRCT 联合 MPR 在早期肺腺癌影像特征识别中较单纯 HRCT 具有更高的敏感性和诊断准确率, 能更直观地显示病灶边界及其与周围结构的空问关系, 有助于提高术前影像评估的质量。

【关键词】 高分辨率计算机断层扫描; 多平面重建; 早期肺腺癌; 影像学特征; 诊断价值

【中图分类号】 R734.2

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 01-0048-06

The value of high-resolution CT combined with thin-slice multi-planar reconstruction in identifying imaging features of early-stage lung adenocarcinoma

SHENG Pingfang

(Department of Radiology, The Second People's Hospital of Xuchang, Xuchang 461000, Henan, China)

【Abstract】Objective To evaluate the application value of high-resolution computed tomography (HRCT) combined with thin-slice multi-planar reconstruction (MPR) in the imaging feature recognition of early-stage lung adenocarcinoma. **Methods** Clinical data from 96 patients with early-stage lung adenocarcinoma confirmed by surgery and pathology in our hospital between January 2023 and December 2024 were reviewed retrospectively. All patients underwent preoperative HRCT and thin-slice MPR. Nodule density, margin characteristics, internal findings, and relationships with adjacent structures were assessed. Using postoperative pathology as the reference standard, the diagnostic performance of HRCT alone was compared with that of HRCT combined with MPR, and sensitivity, specificity, and accuracy were analyzed. **Results** Among the 96 nodules, 42 were pure ground-glass nodules (pGGN) (43.8%), 39 were part-solid nodules (PSN) (40.6%), and 15 were solid nodules (SN) (15.6%). Spiculation, lobulation, and vascular convergence were observed more often in invasive adenocarcinoma (IAC). Compared with HRCT alone, the addition of MPR made lesion margins and internal details easier to recognize and allowed clearer assessment of the relationships between nodules and adjacent vessels, bronchi, and pleura. The correct recognition rate increased from 81.3% with HRCT alone to 91.7% with HRCT plus MPR, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** HRCT combined with thin-slice MPR showed better overall performance than HRCT alone in the identification of imaging features of early-stage lung adenocarcinoma. It was more helpful for evaluating nodule morphology and adjacent structural relationships, and may improve preoperative imaging assessment.

【Key words】 High-resolution computed tomography; Multi-planar reconstruction; Early-stage lung adenocarcinoma; Imaging features; Diagnostic value

肺癌是全球范围内发病率和死亡率均居高不下的恶性肿瘤, 其中肺腺癌作为非小细胞肺癌

(non-small cell lung cancer, NSCLC) 的主要组织学类型, 占肺癌病例的 40%~50%^[1]。近年来, 随着体

收稿日期: 2025-03-25。

作者简介: 盛平方, 主治医师, 研究方向: 肺癌 CT 诊断。E-mail: 13569964867@126.com。

检普及及影像学技术的进步,早期肺腺癌的检出率显著提升。然而,早期肺腺癌患者的临床症状往往不典型,单纯依赖常规影像学难以准确识别病灶性质,其影像表现常与良性病变或不典型增生病灶相混淆,易导致部分患者错过最佳治疗时机^[2]。因此,如何通过先进的胸部影像学成像技术实现对早期肺腺癌的精准确识别与影像学特征分析,具有重要的临床价值。

高分辨率计算机断层扫描 (high-resolution computed tomography, HRCT) 凭借优越的空间分辨率,可清晰显示肺小结节的形态学特征,如磨玻璃影、毛刺征、胸膜牵拉征等,对于早期肺腺癌的检出与初步诊断具有不可替代的优势^[3]。薄层多平面重建 (multi-planar reconstruction, MPR) 可在传统轴位图像基础上提供冠状位、矢状位及斜位重建图像,有助于显示病灶形态、边界及其与周围组织的空间关系^[4]。对于部分微小肺结节,仅凭轴位图像难以全面判断其内部结构和邻近解剖关系,MPR 可提供一定补充。已有研究显示,HRCT 联合薄层 MPR 在肺部微小结节检出及良恶性鉴别中具有较好应用价值,在磨玻璃结节 (ground-glass nodules, GGN) 和微浸润性腺癌 (minimally invasive adenocarcinoma, MIA) 的影像评估中的作用尤为突出^[5]。但目前针对早期肺腺癌影像特征识别的相关研究仍较少,临床应用和评价也缺乏统一标准。

本研究选取 2023 年 1 月至 2024 年 12 月许昌市第二人民医院经手术病理证实的 96 例早期肺腺癌患者,分析 HRCT 联合薄层 MPR 在影像学特征识别中的作用。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性研究设计。纳入许昌市第二人民医院 2023 年 1 月至 2024 年 12 月经手术及病理确诊的早期肺腺癌患者 96 例,均于术前接受 HRCT 及 MPR 检查。其中男 41 例,女 55 例;年龄 32~75 岁,平均 (56.3±9.4) 岁。本研究方案经许昌市第二人民医院伦理委员会批准。

纳入标准:①经手术病理证实为肺腺癌,临床分期为早期 (IA~IB 期);②术前均接受 HRCT 及

薄层 MPR 扫描,图像质量良好;③单发或多发结节直径≤3 cm;④临床及影像学资料完整。排除标准:

①病理结果为鳞癌、小细胞肺癌或转移性肺肿瘤者;②合并严重肺部感染、间质性肺疾病等干扰影像学判读的肺部疾病者;③既往接受过胸部放疗、化疗或抗肿瘤靶向治疗者;④CT 图像质量欠佳或临床、影像学资料不全者。

1.2 检查方法

采用美国 GE 公司 LightSpeed 64 排螺旋 CT 机对所有患者均进行胸部 CT 检查,检查在患者安静呼吸状态下完成,必要时指导患者深吸气后屏气,以减少呼吸运动伪影。

(1) 扫描范围与体位:患者取仰卧位,双手上举,扫描范围自胸廓入口至膈顶,行全肺扫描。

(2) 扫描参数设置:管电压 120 kV,管电流 120~200 mA (自动调节以减少辐射剂量),层厚 1.0 mm,层间距 0.8 mm,矩阵 512×512,旋转时间 0.5 s,螺距 1.0~1.25,重建算法为高分辨率肺窗算法,辅以骨算法观察。

(3) 薄层数据采集与重建:扫描所得原始容积数据经工作站传输至 ADW 4.6 CT 后处理工作站进行处理,采用薄层重建,重建层厚 1.0 mm,层间距 0.8 mm,重建内核采用高频算法,以保证肺小结节边界、毛刺征及细微小结构的清晰显示。

(4) MPR 技术:基于原始薄层容积数据,利用工作站 MPR 功能,在冠状位、矢状位及斜位等多方向进行影像重组。必要时进行曲面重建 (curved planar reformation, CPR),以观察血管或支气管的走行情况。MPR 技术可从不同角度评估肺结节与支气管、肺血管、胸膜的关系,弥补 HRCT 单一轴位图像的观察不足。

(5) 图像分析:所有 CT 影像资料均由两名具有 10 年以上胸部影像学诊断经验的副主任医师独立阅片。阅片过程中,按照统一标准记录肺结节的影像学特征,包括结节大小、形态、密度、内部结构特征及其与周围组织的关系等。

(6) 阅片流程与盲法控制:两名阅片医师首先对所有病例的 HRCT 原始图像进行独立判读,间隔 4 周后,再次对所有病例的 HRCT+MPR 重建图像进

行独立联合判读。两次判读间的 4 周间隔为洗脱期 (washout period), 此期间阅片医师无法接触本研究的病例名单及原始 CT 影像, 以最大限度减少记忆偏倚。阅片医师在判读时对病例的病理结果、临床资料及其他影像信息均采用盲法, 仅依据 HRCT 或

HRCT+MPR 影像特征进行判断。阅片结果由第三位具有胸部影像学诊断经验的主任医师进行核对, 对分歧结果组织讨论, 最终诊断结果以两位阅片医师的一致意见为准。见图 1、图 2。

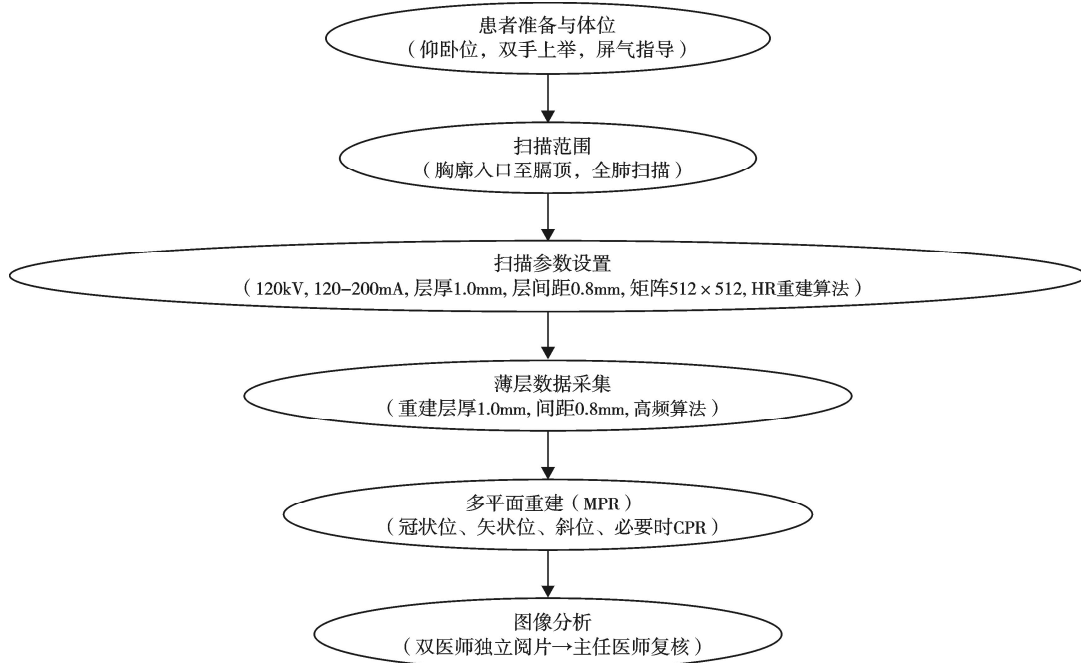


图 1 检查流程示意图

注: MPR 为多平面重建; CPR 为曲面重建。

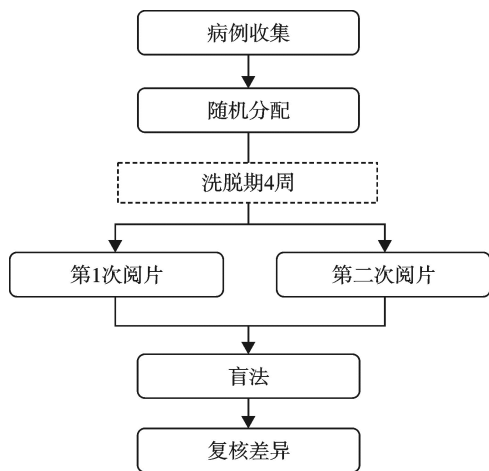


图 2 阅片流程示意图

1.3 观察指标

本研究重点观察并记录以下影像学特征: ①病灶形态学表现: 包括结节大小、形态 (类圆形、不规则)、边缘情况 (边界清楚/模糊、毛刺征、分叶征等); ②密度特征: 纯磨玻璃结节 (pure ground-glass

nodules, pGGN)、部分实性结节 (part-solid nodules, PSN) 及实性结节 (solid nodules, SN) 的构成比例; ③内部结构: 是否存在空泡征、血管穿行征、支气管充气征; ④与周围结构的关系: 是否伴胸膜牵拉、胸膜凹陷征; ⑤HRCT 与 MPR 联合诊断价值: 比较单纯 HRCT 与 HRCT 联合 MPR 在影像学特征识别中的差异。

1.4 统计学方法

所有数据均采用 SPSS 26.0 统计软件进行分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用 *t* 检验; 计数资料以例 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。由于本研究中 HRCT 与 HRCT+MPR 的诊断结果均基于同一批患者, 属于配对设计, 因此采用 McNemar 检验比较 2 种方法的识别效能。本研究报告曲线下面积 (area under the curve, AUC) 及其 95% 置信区间 (95% confidence interval, 95%CI)。敏感度、特异度、阳性预测值 (positive

predictive value, PPV) 及阴性预测值 (negative predictive value, NPV) 的计算公式: 敏感度 = 真阳性 / (真阳性 + 假阴性); 特异度 = 真阴性 / (真阴性 + 假阳性); PPV = 真阳性 / (真阳性 + 假阳性); NPV = 真阴性 / (真阴性 + 假阴性)。检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料比较

根据影像学判读方式不同, 将病例分为单纯 HRCT 组与 HRCT+MPR 联合组, 两组患者在性别、年龄、肺结节大小及肺结节分布等基线资料方面差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$) (表 1)。

表 1 2 组患者基线资料比较 (例, $\bar{x} \pm s$)

项目	HRCT 组 (n=48)	HRCT+MPR 组 (n=48)	t/χ^2	P
性别 (男/女)	20/28	21/27	0.043	0.837
年龄 (岁)	56.7±9.1	55.9±9.7	0.417	0.678
结节直径 (cm)	1.52±0.43	1.49±0.47	0.326	0.745
结节部位 (上/中/下叶)	22/11/15	21/12/15	0.067	0.967

注: HRCT 为高分辨率计算机断层扫描; MPR 为多平面重建。

2.2 HRCT 与 MPR 影像学特征表现

在 96 例早期肺腺癌患者中, HRCT 显示病灶以 pGGN 和 PSN 为主, 常见特征为不规则形、毛刺征、分叶征, 部分伴有空泡征、血管穿行征、支气管充气征及胸膜相关征象。MPR 进一步提高了对病灶边界及其内部结构的显示率, 对上述影像学征象的检出显示更为清晰 (表 2)。

表 2 HRCT 与 MPR 影像学特征比较 [n=96, 例 (%)]

影像学特征	HRCT 显示	MPR 显示
结节密度类型	pGGN	42 (43.8)
	PSN	39 (40.6)
	SN	15 (15.6)
结节形态学特征	毛刺征	33 (34.4)
	分叶征	29 (30.2)
	空泡征	17 (17.7)
内部结构特征	血管穿行征	26 (27.1)
	支气管充气征	19 (19.8)
	胸膜牵拉征	21 (21.9)
与周围结构关系	胸膜牵拉征	25 (26.0)
	胸膜凹陷征	14 (14.6)

注: HRCT 为高分辨率计算机断层扫描; MPR 为多平面重建; pGGN 为纯磨玻璃结节; PSN 为部分实性结节; SN 为实性结节。

2.3 HRCT 与 MPR 联合应用的识别效能比较

以术后病理结果为金标准, 单纯 HRCT 对早期肺腺癌影像学特征的正确识别率为 81.3% (78/96,

95%CI: 72.3%~87.8%); HRCT 联合 MPR 后, 正确识别率提高至 91.7% (88/96, 95%CI: 84.4%~95.7%)。基于本研究同一批研究对象的配对结果进行 McNemar 检验, 结果显示两种方法的识别结果存在显著差异 ($\chi^2=4.50$, $P=0.034$)。两位阅片医师的诊断一致性 Kappa (κ) 值为 0.85, 表明诊断一致性良好 (表 3, 表 4)。

表 3 HRCT 与 HRCT+MPR 在早期肺腺癌影像学特征识别中的效能比较 (n=96)

组别	正确识别例数 [n (%)]	95%CI (Wilson)
HRCT	78 (81.3)	72.3%~87.8%
HRCT+MPR	88 (91.7)	84.4%~95.7%
χ^2	4.50	—
P	0.034	—

注: HRCT 为高分辨率计算机断层扫描; MPR 为多平面重建。

表 4 HRCT 与 HRCT+MPR 诊断早期肺腺癌的效能比较

方法	灵敏度	特异度	PPV	NPV	AUC (95%CI)	DeLong 检验 P
HRCT	85.5% (67/78)	76.2% (14/18)	92.6% (67/72)	52.4% (14/26)	0.865 (0.818~0.912)	—
HRCT+MPR	93.2% (82/88)	90.4% (16/18)	94.3% (82/87)	64.7% (16/24)	0.944 (0.912~0.976)	0.039

注: HRCT 为高分辨率计算机断层扫描; MPR 为多平面重建; PPV 为阳性预测值; NPV 为阴性预测值; AUC 为曲线下面积; 95%CI 为 95%置信区间。

2.4 病理对照结果与典型病例

96 例早期肺腺癌患者均经手术病理证实, 其中原位腺癌 (adenocarcinoma in situ, AIS) 28 例, MIA 35 例, 浸润性腺癌 (invasive adenocarcinoma, IAC) 33 例, 其影像学表现与病理类型具有明显的相关性 (表 5)。

表 5 不同影像学特征与病理类型的对应关系 (n=96)

影像学特征	AIS (n=28)	MIA (n=35)	IAC (n=33)
pGGN	21	14	7
PSN	6	18	15
SN	1	3	11
毛刺征	2	12	19
分叶征	1	10	18
胸膜牵拉/凹陷征	0	4	12

注: AIS 为原位腺癌; MIA 为微浸润性腺癌; IAC 为浸润性腺癌; pGGN 为纯磨玻璃结节; PSN 为部分实性结节; SN 为实性结节。

图 3 为右肺上叶 GGN 患者的 CT 影像, 其病理诊断为 MIA。大体所见: 送检标本为右肺上叶切除的肺组织 (16 cm×10 cm×3 cm), 距支气管断面 3 cm 处、紧邻肺被膜的肺切面见一灰白质硬结节,

大小为 2.8 cm×1.8 cm×1.5 cm。送检肺门及纵隔多枚淋巴结（直径 0.8~1.5 cm），病理诊断显示：（右肺上叶）MIA，病理亚型以贴壁型为主（占 60%）、伴腺泡型（20%）、乳头型（10%）及实体型（10%）。癌组织距脏层胸膜最近距离约 0.05 mm，未见明确脉管、神经及被膜受累、支气管切缘、血管切缘未见癌组织累及，送检淋巴结未见癌转移。

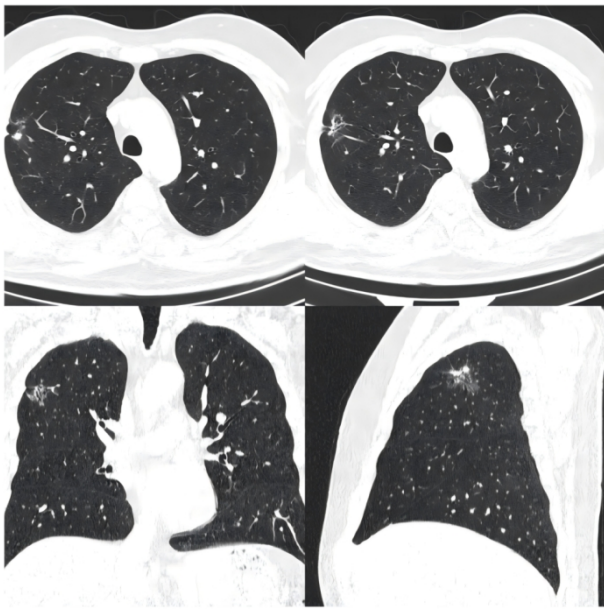


图 3 典型病例：右肺上叶 GGN 影像图

注：GGN 为磨玻璃结节。

3 讨论

肺腺癌是 NSCLC 中最常见的类型，早期能否识别，直接关系到后续治疗选择和预后判断。近几年，HRCT 已成为肺结节评估的主要影像方法，MPR 则在此基础上补充了多角度观察信息^[6]。前者优势在于显示密度和细微形态，后者更便于观察病灶边界、内部结构及与周围组织的空间关系^[7-8]。两者结合后，影像诊断不再局限于单一轴位图像，这也是本研究关注的重点。

本研究中，早期肺腺癌以 pGGN 和 PSN 更为常见。pGGN 多见于 AIS 和 MIA，PSN 提示病灶内已出现一定浸润成分，SN 则更多见于 IAC。这一分布与肺腺癌由非浸润向浸润发展的影像演变过程基本一致。也就是说，结节密度并不只是外在表现，在一定程度上也反映了病理进展的差异。除密度外，边缘和内部征象同样值得重视。毛刺、分叶、血管

穿行及支气管充气等表现，在浸润性病灶中检出更多，提示这些影像改变与间质反应、纤维化以及局部浸润有关。从判读过程来看，MPR 的作用主要体现在“看得更完整”。单纯依赖 HRCT 轴位图像时，一些结节的边界、邻近血管走行以及与胸膜、支气管的关系并不容易判断，尤其是体积较小、形态不规则或位置较特殊的病灶。加入 MPR 后，这些细节显示得更直接，病灶的空间形态也更容易把握。本研究中，MPR 对毛刺、分叶及病灶与血管、支气管、胸膜关系的显示更清晰，这并不只是影像层面的“看得更清”，实际上会影响对病灶性质的判断。对临床判读而言，很多时候决定诊断倾向的，并不是某一个单独征象，而是多个细节能否被同时看清。以术后病理为标准，单纯 HRCT 的正确识别率为 81.3%，联合 MPR 后提高至 91.7%，差异有统计学意义（McNemar 检验 $\chi^2=4.50$, $P=0.034$ ）。进一步看判读转换情况，原先 HRCT 未能正确识别的 14 例，在联合 MPR 后得到纠正，而由正确转为错误的仅 4 例，净增加 10 例正确诊断。这个结果说明，MPR 并不是简单重复 HRCT 已有信息，而是在部分关键病例中确实改变了判读结果。对肺微小结节、边界欠清或邻近结构复杂的病灶，这种补充尤其有意义。

本研究提示，影像征象与病理类型之间存在较明确的对应关系。IAC 中毛刺征、分叶征、血管穿行征、支气管充气征以及胸膜相关征象的检出率更高，说明这些表现更常见于浸润成分较明显的病灶。这与病理上肿瘤细胞向周围肺组织浸润、间质增生及纤维化反应相符。MPR 在显示胸膜牵拉、血管走行和局部空间毗邻方面更有优势，因此在判断病灶浸润倾向时更容易提供补充信息。需要指出的是，部分征象虽未达到统计学差异，但在 MPR 下整体检出率有所上升。对影像诊断来说，这类信息未必都要依赖统计学显著性才能体现价值，因为实际阅片过程中，细节越充分，判断通常越稳妥。

本研究也有一定局限性：首先，本研究为单中心回顾性分析，样本量有限，结果仍需在更大样本中进一步验证。其次，本研究重点放在影像特征识别及病理对照，尚未结合长期随访结果评价其对预后判断的实际作用。后续可在扩大样本的基础上，

结合影像分型、手术方式及预后资料作进一步分析。

综上,HRCT联合薄层MPR较单纯HRCT更有利于早期肺腺癌影像特征的识别。其优势主要体现在病灶边界、内部结构及周围关系的显示更充分,也更便于判断病灶的浸润倾向和病理类型。

参考文献

- [1] SUCCONY L, RASSL D M, BARKER A P, *et al.* Adenocarcinoma spectrum lesions of the lung: Detection, pathology and treatment strategies[J]. *Cancer Treat Rev*, 2021, 99:102237.
- [2] 朱北川, 史芸芳, 李丽香. 高分辨率CT靶扫描在早期肺腺癌诊断中的应用价值[J]. *影像研究与医学应用*, 2020, 4(22): 70-72.
- [3] 周章兵, 田青. 直径<3 cm非贴壁型与贴壁型肺腺癌患者HRCT影像学特征分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20(7): 46-47, 72.
- [4] 王善军, 严金岗, 王兆宇, 等. 多层螺旋CT多平面重建诊断肺原位腺癌的价值[J]. *医学影像学杂志*, 2015, 25(3): 445-447.
- [5] 杨帆, 李永霞, 田丽, 等. 多层螺旋CT结合靶区HRCT及多种重建技术对新发现SPN良恶性的诊断价值探讨[J]. *山东医药*, 2014, 54(4): 49-51.
- [6] 陈颖, 胡春洪, 林盪, 等. 多排螺旋CT薄层重组和高分辨率CT靶扫对肺微小结节的价值比较[J]. *临床放射学杂志*, 2017, 36(11): 1617-1622.
- [7] REN H, LIU F, XU L, *et al.* Predicting the histological invasiveness of pulmonary adenocarcinoma manifesting as persistent pure ground-glass nodules by ultra-high-resolution CT target scanning in the lateral or oblique body position[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(9):4042-4055.
- [8] 陈琦, 朱全新, 顾佳伟, 等. 生理通气辅助下HRCT靶扫描与薄层CT靶重建在肺磨玻璃样小结节诊断中的价值对比[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2023, 29(1): 26-31.