

• 临床研究 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.05.019

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250127.1318.018\(2025-02-05\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250127.1318.018(2025-02-05))

多排螺旋 CT 后处理技术对叶内型肺隔离症的术前诊断价值^{*}

程国飞, 窦允龙, 黄方方, 程留慧[△]

(河南中医药大学第一附属医院放射科, 郑州 450000)

[摘要] **目的** 探讨多排螺旋 CT 后处理技术对于叶内型肺隔离症(IPS)的术前诊断价值。**方法** 纳入该院收治的 54 例异常体动脉供血患者为研究对象,包括 43 例 IPS 患者(IPS 组)、11 例异常体动脉供血正常肺下叶(ASANLL)患者(ASANLL 组)。所有患者于术前行多排螺旋 CT 胸部平扫和增强扫描。采用 4 种 CT 后处理技术[多平面重组(MPR)、曲面重组(CPR)、最大密度投影(MIP)及虚拟现实(VR)]重建图像。分析并记录两组患者异常体动脉供血的位置、肺部其他改变、供血动脉及回流静脉特征。采用 Kappa 一致性检验评估两名医师阅片结果的一致性。采用 Spearman 相关性检验评估 4 种后处理技术诊断结果的相关性,使用受试者工作特征(ROC)曲线及 Delong 检验评估其分别独立诊断、联合诊断 IPS 的效能。**结果** 两名医师阅片结果的 Kappa 检验一致性系数 $r=0.872(P<0.05)$;4 种后处理技术诊断结果两两之间 Spearman 检验相关性系数分别为 0.876(MPR 与 CPR)、0.849(MPR 与 MIP)、0.876(MPR 与 VR)、0.738(CPR 与 MIP)、1.000(CPR 与 VR)、0.738(MIP 与 VR) ($P<0.05$)。MPR、CPR、MIP 及 VR 独立诊断的 AUC 值分别为 0.66、0.58、0.70、0.53,灵敏度分别为 95.35%、69.77%、76.74%、69.77%,特异度分别为 36.36%、45.45%、63.64%、36.36%,约登指数分别为 0.32、0.15、0.40、0.06,准确率分别为 88.37%、83.72%、90.70%、83.72%;联合诊断的 AUC 值、灵敏度、特异度、约登指数及准确率分别为 0.78、83.72%、72.73%、0.56 及 95.35%。**结论** 联合应用 CTA、MPR、VR、MIP 后处理技术对 IPS 的诊断效能最优,临床上可用于术前精准评估。

[关键词] 多排螺旋 CT;叶内型肺隔离症;异常体动脉供血正常肺下叶;CT 后处理技术;术前诊断

[中图法分类号] R816 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)05-1151-04

Preoperative diagnostic value of multi-detector CT post-processing technique for intralobar pulmonary sequestration^{*}

CHENG Guofei, DOU Yunlong, HUANG Fangfang, CHENG Lihui[△]

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou, Henan 450000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the preoperative diagnostic value of multi slice spiral CT post-processing technology for intralobar pulmonary sequestration. **Methods** A total of 54 patients with abnormal arterial blood supply admitted to the First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine were included retrospectively as the study subjects, including 43 patients with intralobar pulmonary isolation (study group) and 11 patients with normal inferior pulmonary lobe (control group). All patients underwent preoperative multi-slice spiral CT chest plain scan and enhanced scan. Four CT post-processing techniques (MPR, CPR, MIP, and VR) were used to reconstruct the images. The location of abnormal body artery blood supply, other changes in the lungs, and characteristics of blood supply arteries and reflux veins in two groups of patients were analyzed and recorded. Kappa consistency test was used to evaluate the consistency of the results of two physicians' readings. Spearman correlation test was used to evaluate the correlation between the diagnostic results of four post-processing techniques. ROC curve and Delong test were used to evaluate their independent and combined diagnostic efficacy for intrapulmonary sequestration. **Results** The Kappa test consistency coefficient of the two physicians' reading results was $r=0.872, P<0.05$. The Spearman test correlation coefficients between the diagnostic results of the four post-processing techniques were 0.876 (MPR and CPR), 0.849 (MPR and MIP), 0.876 (MPR and VR), 0.738 (CPR and MIP), 1.000 (CPR and VR), and 0.738 (MIP and VR), respectively, with $P<0.05$. The AUC values for independent diagnosis of MPR, CPR,

^{*} 基金项目:河南省中医药科学研究专项课题(Y201903129)。 [△] 通信作者, E-mail:2423248759@qq.com。

MIP, and VR were 0.66, 0.58, 0.70, and 0.53, respectively. The sensitivities were 95.35%, 69.77%, 76.74%, and 69.77%, respectively. The specificities were 36.36%, 45.45%, 63.64%, and 36.36%, respectively. The Youden indexes were 0.32, 0.15, 0.40, and 0.06, respectively. The accuracies were 88.37%, 83.72%, 90.70% and 83.72%, respectively. The AUC value, sensitivity, specificity, Youden index, and accuracy of joint diagnosis were 0.78, 83.72%, 72.73%, 0.56, and 95.35%, respectively. **Conclusion** The combined application of CTA, MPR, VR, and MIP post-processing techniques has the best diagnostic efficacy for intralobar pulmonary sequestration and can be used for precise preoperative evaluation in clinical practice.

[Key words] multi-detector CT; inner lobe pulmonary isolation; abnormal body artery supply normal lower lobe; CT post-management technique; preoperative diagnosis

肺隔离症 (bronchopulmonary sequestration, PS) 是一种先天性的血管畸形伴肺组织发育异常, 多见于儿童及青少年人群^[1]; 异常体动脉供血正常肺下叶 (anomalous systemic artery to normal lower lobe, ASANLL) 是一种罕见的血管畸形但不伴隔离肺组织的疾病^[2]。ASANLL 及 PS 均起源于体动脉异常供血, 患者常无特异性临床症状, 多于体检或出现类似肺炎症状就诊时发现, 且均多见于左肺下叶, 因此二者常难以鉴别^[3]。根据是否具有完整的脏层胸膜, PS 可被分为叶内型肺隔离症 (intralobar pulmonary sequestration, IPS) 和叶外型肺隔离症^[4], IPS 的发病率较高, 约达 75%^[5]。不同于 ASANLL, IPS 患者的病变肺组织与正常肺隔离, 且常不与正常支气管相通, 这会导致隔离肺组织的气体交换异常, 出现一系列肺部并发症, 从而严重影响患者的生命健康。临床上治疗 IPS 首选手术切除隔离肺叶^[6], 而 ASANLL 首选肺段切除或异常供血动脉介入栓塞术, 因此术前精准鉴别、评估累及肺组织及其周围血管结构至关重要。

数字剪影血管造影 (digital subtraction angiography, DSA) 被认为是诊断 PS 的金标准^[7], 但其属于有创性检查, 且无法细致地评价病变肺组织的内部结构, 因此临床应用受限。随着医学影像检查技术的飞速发展, 多排螺旋 CT (multi-detector computed tomography, MDCT) 以其较高的空间分辨率及强大的薄层重建后处理技术逐渐成为 PS 患者的首选辅助检查方法^[8-9]。本研究探讨 MDCT 的 4 种后处理技术对 IPS 患者影像诊断的价值, 旨在为 MDCT 辅助 PS 的术前诊断提供有力的影像学证据, 更好地满足临床需求。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性纳入 2018 年 6 月至 2024 年 6 月本院收治的 54 例异常体动脉供血患者作为研究对象, 男 29 例, 女 25 例; 年龄 1~49 岁。其中包括 43 例 IPS 患者 (IPS 组)、11 例 ASANLL 患者 (ASANLL 组)。所纳入的 43 例 IPS 患者均为叶内型, 其中 15 例于体检发现, 余 28 例因咳嗽、胸闷及咯血等临床症状就诊时发现。本研究 IPS 组中包含 24 例囊实性肿块、12 例囊性肿块及 7 例实性肿块; ASANLL 组中均无肺实质

病变。纳入标准: (1) 经手术或病理证实; (2) 术前 1 个月内行肺部双期增强检查; (3) 影像及临床资料完整; (4) 图像质量可满足评估与诊断。排除标准: (1) 肺叶或肺段术后患者; (2) 严重肺间质性炎症及纤维化患者; (3) 合并肺部原发或继发恶性肿瘤患者。本研究经河南中医药大学第一附属医院伦理委员会批准 (审批号: 2019HL-037), 并免除受试者知情同意。

1.2 扫描与后处理

采用 Siemens Somatom Definition 64 排 MDCT 设备进行扫描, 所有患者均行胸部平扫及双期增强检查。患者取仰卧位、足先进, 扫描范围为胸廓入口至肺底水平。先行肺部平扫, 然后行动脉期、静脉期双期增强扫描。采用阈值监测法, 阈值设为 80 HU, 将感兴趣区置于膈肌上方 2 cm 腹主动脉水平; 增强对比剂采用碘海醇 (150 mgI/mL), 剂量 70 mL, 流速 3.5~3.8 mL/s, 造影剂注射完成后追加 40 mL 生理盐水用于冲管。扫描参数: 管电压 120 kV, 自动管电流; 扫描层厚 5.0 mm, 重建层厚及层间距 1.0 mm; 螺距 0.6, 视场角 (field of views, FOV)=512×512。

扫描结束后将患者的纵隔窗及肺窗薄层图像传输至 syngo. via 西门子后处理工作站。评估指标包括: 病变位置、肺部其他改变、供血动脉及回流静脉。以手术或病理结果为金标准, 首先由两位不同年资 (5 年、7 年影像诊断经验) 的诊断医师对 MDCT 影像进行独立阅片, 随后由其中诊断准确率较高的医师分别采用多平面重组 (multi-planar reconstruction, MPR)、曲面重组 (curved planar reformation, CPR)、最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP)、虚拟现实 (virtual reality, VR) 及联合 4 种后处理技术对患者的薄层图像进行评估, 记录相应诊断结果。

1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0、Medcacle20.0 进行统计分析。计数资料采用例数和百分比表示。采用 Kappa 检验评估两位医师阅片结果的一致性; 采用 Spearman 检验分析一致性。绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线并计算曲线下面积 (area under curve, AUC), 采用 Delong 检验评估 4 种 CT 后处理技术分别独立诊断及联合诊断 PS 的效能。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 IPS 组、ASANLL 组的 CT 影像特征

IPS 组、ASANLL 组患者的 CT 影像特征,见表 1。

表 1 IPS 组、ASANLL 组患者的 CT 影像特征[n(%)]

项目	IPS 组 (n=43)	ASANLL 组 (n=11)
病变位置		
左肺下叶后基底段	37(86.05)	11(100.00)
右肺下页后基底段	6(13.95)	
肺部其他改变		
周围支气管扩张	16(37.21)	5(45.45)
支气管炎	3(6.98)	4(36.37)
胸腔积液	24(55.81)	2(18.18)
供血动脉		
胸主动脉	35(81.40)	10(90.91)
腹主动脉	3(6.98)	1(9.09)
双支动脉供血	5(11.62)	
回流静脉		
肺静脉	39(90.70)	11(100.00)
奇静脉	3(6.98)	
上腔静脉	1(2.32)	

2.2 两位医师对患者 MDCT 影像的阅片结果及其一致性分析

由两位医师分别独立阅片,分析其阅片结果发现,医师 2(7 年影像诊断经验)的诊断准确率略高于医师 1(5 年影像诊断经验)。经 Kappa 一致性检验显示,两位医师对 IPS 组及 ASANLL 组阅片结果的一致性相关系数分别为: $r_1=0.932(P<0.001)$, $r_2=0.792(P=0.007)$, $r_{总}=0.872$,表明一致性均较好,见表 2。

表 2 两位医师的阅片结果

项目	医师 1		医师 2	
	IPS 组	ASANLL 组	IPS 组	ASANLL 组
例数(n)	33	7	34	8
准确率(%)	76.74	63.64	79.07	72.73

2.3 医师基于不同 MDCT 后处理技术的诊断结果及其相关性分析

由诊断准确率略高的医师 2 采用 MPR、CPR、MIP 及 VR 后处理技术对 IPS 患者的 MDCT 图像进行分析,结果显示,其诊断准确率分别为 88.37%、83.72%、90.69%、83.72%。经 Spearman 相关性检验显示,MPR、CPR、MIP 及 VR 两两之间的相关性均较高,相关性系数分别为 0.876(MPR 与 CPR)、0.849(MPR 与 MIP)、0.876(MPR 与 VR)、0.738(CPR 与 MIP)、1.000(CPR 与 VR)、0.738(MIP 与

VR), $P<0.001$ 。

2.4 不同 CT 后处理技术辅助诊断 IPS 的 ROC 曲线分析

采用 ROC 曲线及 DeLong 检验分析 MPR、CPR、MIP 及 VR 分别单独诊断及联合诊断 IPS 的效能,结果显示,联合诊断的综合效能最高,准确率为 95.35%,明显高于其他 4 种后处理技术单独诊断的效能,见表 3、图 1。

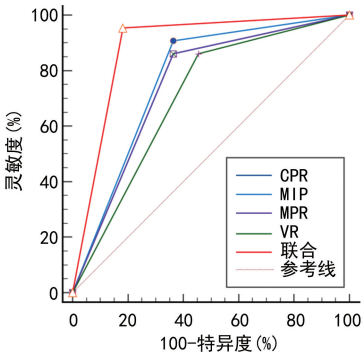


图 1 CT 后处理技术诊断 IPS 的 ROC 曲线

表 3 不同 CT 后处理技术诊断 IPS 的 ROC 曲线分析结果

指标	OR(95%CI)	灵敏度 (%)	特异度 (%)	约登指数	准确率 (%)
MPR	0.66(0.52~0.78)	95.35	36.36	0.32	88.37
CPR	0.58(0.43~0.71)	69.77	45.45	0.15	83.72
MIP	0.70(0.56~0.82)	76.74	63.64	0.40	90.70
VR	0.53(0.39~0.67)	69.77	36.36	0.06	83.72
联合	0.78(0.65~0.88)	83.72	72.73	0.56	95.35

3 讨 论

由于 IPS 和 ASANLL 均存在肺部的异常体动脉供血,既往有学者把 IPS 与 ASANLL 一同归属于肺部异常体循环动脉供血疾病,这一名称由 PRYCE 于 1946 年首次提出并沿用至今。IPS 和 ASANLL 病变结构的差别在于是否存在由体动脉供血的隔离肺组织,临床上 IPS 易被误诊为 ASANLL,但二者的病理生理机制并不完全相同^[10]。IPS 可由胸主动脉、腹主动脉及双支体动脉供血,通过肺静脉、下腔静脉及奇静脉等回流血液^[11];而 ASANLL 通常只由单支体动脉供血,通过肺静脉回流血液。ASANLL 患者的肺实质及支气管通常发育正常,一般可经手术治愈^[12],且术后无明显并发症;而 IPS 患者严重时可能因肺部感染或咯血等原因可引发呼吸衰竭^[13-14],严重威胁其生命安全,从而导致手术风险增大,术后并发症较多。因此,如若能在术前无创准确评估 IPS 的病变结构,对于明确此类患者的治疗方式、改善其预后等具有一定的临床实际意义。

在已有研究的基础上,本研究选择同期就诊的 11 例 ASANLL 患者作为对照组,分析 IPS 组和 ASANLL 组患者的 CT 影像特征发现,二者的病变位置均

以左肺下叶后基底段为主,这与临床实际情况相符合^[15]。典型 IPS 在 CT 影像上多伴囊性或实性病变肺实质是其不同于 ASANLL 之处。本研究 IPS 组中包含 24 例囊实性肿块、12 例囊性肿块及 7 例实性肿块,而 ASANLL 组中均无肺实质病变。因此,结合临床实践,本研究认为正是由于 IPS 肺实质病变的存在,基于 CT 横断面影像分析其异常体动脉的血管结构及诊断 IPS 存在一定的难度。

大量研究结果证实,MDCT 的强大后处理技术可用于立体、直观地显示 IPS 的病变肺组织、血管及支气管结构,目前已被作为诊断异常体动脉供血病变的可靠检查方法^[16-17]。本研究采用多种 CT 后处理技术如 MPR、CPR、MIP 及 VR 用于辅助医师评估 IPS 的 MDCT 三维影像特征。以金标准作为参考,研究结果显示,单独采用 MPR、CPR、MIP 及 VR 后处理技术时的诊断准确率分别为 88.37%、83.72%、90.70%、83.72%,均高于不采用任何后处理技术时医师 2 的诊断准确率(79.07%)。因此,本研究认为,MDCT 后处理技术辅助诊断有利于提高准确率,与既往研究^[18-19]结论相符。

郑巍等^[20]联合 MPR、MIP 及 VR 技术分析了 82 例 IPS 患者的 CT 影像,发现其联合应用的诊断价值颇高,具有一定的临床可推广性。本研究进一步联合这 4 种后处理技术后发现,MPR、CPR、MIP 及 VR 的联合应用于诊断 IPS,其准确率达 95.35%,明显高于任一技术单独诊断时的准确率。这一结果提示,在实际应用中不应局限于采用单一的 CT 后处理技术,联合应用对于提高诊断效能更具有临床价值^[21]。

为提高结果的可信度,本研究纳入两位高年资医师对 IPS 和 ASANLL 患者的 CT 横断面影像进行阅片,分析其 Kappa 检验结果发现,两位医师阅片结果之间的一致性较好,但影像诊断经验较高的医师的诊断准确率略高;进一步分别在 MPR、CPR、MIP 及 VR 后处理技术的辅助下基于 IPS 患者的重建影像再次进行阅片。本研究首先分析了 4 种 CT 后处理技术之间诊断结果两两之间的 Spearman 相关系数均较高,因此认为相关性较高,说明其对于影像诊断均有一定的积极作用,符合临床实际;其次联合 4 种 CT 后处理技术与单独诊断时的效能相比较,提高 IPS 诊断的 AUC 值、灵敏度、特异度、约登指数及准确率。此外,比较 4 种后处理技术单独诊断时的效能,以 MIP 综合诊断效能最高、VR 最低,分析其原因可能与其各自的重建原理相关。MIP 的优势即在于在投影线上清晰显示含有碘对比剂的高密度血管结构,可很大程度地保留不同组织的密度信息,从而更直观地用于评估 IPS 的动、静脉走行。由于 CT 后处理技术的显示效果受多种因素的影响,如图像质量、血管走行及直径等,尤其是对于直径较小的动脉血管,VR 的模糊处理这一特性可能导致显示效果欠佳。

本研究存在一定的局限性:首先,所纳入的样本量较小,研究结果可能存在偏倚,未来研究需增加样本量以提高结果的可信度;其次,检查均于同一型号的机器上进行,关于不同 CT 设备后处理技术之间的一致性有待进一步探讨。

综上所述,本研究结果表明 MDCT 后处理技术有助于无创性分析 IPS 的影像特征,其中以多种后处理技术联合应用的诊断效能最高,可作为 IPS 患者术前准确评估的一种有效、可推广的影像学方法。

参考文献

[1] 黄田田,孔德明,肖海艳,等.先天性肺气道畸形与支气管肺隔离症产前超声表现用于预测新生儿不良转归[J].中国医学影像技术,2024,40(7):1062-1066.

[2] 徐瑞娟,刘海潮,胡振红.异常体动脉供应正常肺下叶的诊疗现状[J].华南国防医学杂志,2018,32(11):810-813.

[3] 潘红利,侯唯姝,赵雪梅,等.异常体动脉供应正常下肺基底段的临床及 CT 表现分析[J].中国中西医结合影像学杂志,2024,22(3):342-345.

[4] 赵家宁,张欲翔,董倩,等.胸主动脉供血与腹主动脉供血肺隔离症的影像学表现对比分析[J].中国中西医结合影像学杂志,2021,19(5):429-431.

[5] PANDEY A,PANDEY A,KESHARI S,et al. Intralobar bronchopulmonary sequestration in an adult: a case report [J]. Ann Med Surg (Lond),2024,86(7):4143-4145.

[6] 贺锋,陈天瑞,周坤荣,等.单孔胸腔镜手术治疗肺隔离症的临床应用[J].中国微创外科杂志,2022,22(12):962-965.

[7] 王啸江,韩丹丹,段斌,等.多层螺旋 CT 增强扫描联合 CTA 血管重建技术在肺叶内型肺隔离症诊断中的应用价值[J].中国医学工程,2023,31(11):13-17.

[8] 王南薇,刁楠,韩小雨,等.多层螺旋 CT 及后处理技术对肺隔离症的诊断价值[J].临床放射学杂志,2020,39(7):1322-1326.

[9] 梁艳山. MSCT 血管成像对肺隔离症的诊断价值[J].中国中西医结合影像学杂志,2019,17(3):287-289.

[10] 杨宁,夏平,张佳,等.多层螺旋 CT 增强扫描对异常体动脉供血正常肺下叶与肺隔离症的鉴别诊断价值[J].徐州医科大学学报,2023,43(9):681-684.

[11] 顾小波,陈乾坤,万紫薇,等.成人肺隔离症 131 例诊治的回顾性分析[J].中国胸心血管外科临床杂志,2024,31(1):105-110. (下转第 1160 页)