

论 著

能谱CT肺灌注成像在肺内肿块致肺组织血流灌注异常检查中的应用价值*

谭 娜² 张静怡¹ 周欣颜²
单海燕² 王丽娟² 马 韩¹
单世航¹ 柴 华^{1,*} 廖承德^{2,*}

1.云南省第三人民医院放射医学影像科
(云南 昆明 650011)

2.昆明医科大学附属延安医院放射科
(云南 昆明 650051)

【摘要】目的 探讨能谱CT肺灌注成像技术(CT lung perfusion imaging, CTLPI)在定量和定性分析肿块引起的肺灌注变化中的价值。**方法** 回顾性分析42例初诊为肺内肿块患者的CT灌注数据,观察常规扫描图像和体部灌注软件处理后的图像。记录肺肿块的形态特征及肺动脉受累情况,比较肺灌注缺损区与对侧相应肺实质区的血流灌注参数。分析可能影响肺灌注缺损的因素,研究肿块特征与肺动脉和肺组织灌注缺损的关系。**结果** 42例患者中,肺灌注缺损侧的灌注流量(PF值)为 (98.83 ± 48.41) mL/(100 mL·min),显著低于健侧,差异具有统计学意义($t=-3.26$, $P=0.003$)。灌注缺损的体积和程度与肺动脉受累分支的分级(主干、段、叶)密切相关($\rho=0.917$, $P<0.001$),与肺动脉狭窄程度显著相关($r=0.720$, $P<0.001$),但与肿块大小及其良恶性无显著相关性($P>0.05$)。**结论** 能谱CT肺灌注成像技术在推断肺功能和了解肺肿块引起的血流灌注异常方面具有重要意义。

【关键词】 肺肿块; 能谱CT;
血流灌注; 肺组织循环

【中图分类号】 R4

【文献标识码】 A

【基金项目】 云南省卫生健康委员会—医学学科带头人培养计划(D-2018009);
云南省“兴滇英才支持计划”(名医专项)培养计划(XDXY-MY-2022-0064)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.07.019

Assessing Lung Tissue Perfusion Abnormalities in Intrapulmonary Masses through Energy-spectrum CT Lung Perfusion Imaging*

TAN Na², ZHANG Jing-yi¹, ZHOU Xin-yan², SHAN Hai-yan², WANG Li-juan², MA Han¹,
SHAN Shi-hang¹, CHAI Hua^{1,*}, LIAO Cheng-de^{2,*}

1.Department of Radiology, The Third People's Hospital of Yunnan Province, Kunming 650011,
Yunnan Province, China

2.Department of Radiology, Yan'an Hospital Affiliated to Kunming Medical University,
Kunming 650051, Yunnan Province, China

ABSTRACT

Objective To evaluate the efficacy of CT Lung Perfusion Imaging (CTLPI) in characterizing and quantifying lung tissue perfusion changes caused by intrapulmonary masses. **Methods** We retrospectively analyzed CT perfusion scan data from 42 patients initially diagnosed with intrapulmonary masses. Conventional CT images and body perfusion software-processed images were assessed. Morphological features of intrapulmonary masses and their impacts on pulmonary arteries were recorded. Perfusion parameters were compared between lung regions with perfusion defects and corresponding parenchymal areas in the contralateral lung. Factors influencing lung perfusion defects were analyzed, and the relationship between mass characteristics and perfusion defects in the pulmonary artery and lung tissue was studied. **Results** The perfusion flow (PF) in areas with perfusion defects ((98.83 ± 48.41) mL/(100 mL·min)) was significantly lower compared to healthy contralateral lung tissue ((245.64 ± 261.01) mL/(100 mL·min); $t=-3.26$, $P=0.003$). Pseudo-color perfusion imaging demonstrated regions of reduced perfusion (depicted in blue) in the affected lung parenchyma. The extent and severity of perfusion defects correlated significantly with both the grading of pulmonary artery involvement (trunk, segment, lobe) ($\rho=0.917$, $P<0.001$) and the severity of pulmonary artery stenosis ($r=0.720$, $P<0.001$), but not with mass size or malignancy ($P>0.05$). **Conclusion** CTLPI provides detailed morphological information and effectively quantifies pulmonary perfusion changes, offering valuable insights for indirectly assessing lung function and characterizing perfusion abnormalities associated with intrapulmonary masses.

Keywords: Perfusion Imaging; Pulmonary Masses; Spectral CT Imaging; Lung Function; Pulmonary Artery

肺肿块是指通过影像评估直径大于3cm的肺内软组织病变,是常见的肺内占位性病变,可由肺癌等恶性病变或尘肺、慢性肺炎等良性病变引起^[1-2]。肺内发生肿瘤或肿瘤样病变后,会导致肺组织的通气和血流发生病理变化,可能影响肺功能。CT灌注成像(CT perfusion imaging, CTPI)是一种基于微动脉-毛细血管-微静脉流动效应的成像方法,能够观察局部组织的血液灌注^[3]。能谱CT肺灌注血容量(lung perfused blood volume, LPBV)图可以对肺组织的灌注状态进行定量分析,已广泛应用于肿瘤内部灌注缺损的研究^[3]。本研究旨在分析肿块引起的肺组织灌注缺损及影响这些灌注变化的因素。预期结果包括对与肺肿块相关的血流动力学变化的更深入理解,这有助于评估其对肺功能的潜在影响。此研究在提高肺肿块患者评估和管理方面具有重要价值,进一步推动了肺部影像学 and 肿瘤学领域的发展。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集云南省第三人民医院2021年7月至2023年5月初诊为肺内肿块性病变共42例患者的临床资料,所有患者均行能谱CT肺灌注扫描。其中男性37例,女性5例;年龄 (59.27 ± 10.8) 岁,中位年龄58岁。经病理活检确诊恶性肿块20例(鳞状细胞癌8例、腺癌7例、小细胞癌5例),良性肿块22例(尘肺15例、炎症5例、肺结节病2例)。

入组条件:(1)初诊患者,肺内肿块直径 ≥ 3 cm,且未接受过任何抗肿瘤治疗;(2)有明确的病理诊断;(3)灌注图像质量达到满意标准。(4)入选患者均临床资料完整并知情同意肺灌注检查。本研究取得医院伦理委员会批准且患者知情同意并签署同意书。排除标准:(1)既往确诊COPD;(2)慢性心功能不全等运动伪影较重。

1.2 设备与扫描参数 采用佳能医疗钨黄金640能谱CT进行容积灌注扫描,检查前对患者进行呼吸训练后屏气扫描,灌注扫描前,先进行胸部CT平扫定位,扫描方向为头先进,扫描范围为胸廓入口至双侧肋膈角平面。扫描参数:管电压100kV,管电流50mA,矩阵 512×512 ,转速 0.5 s/r,重建层厚 0.5 mm,探测器宽度 160 mm,可同时覆盖肺门水平上下范围内的肺内病灶(取决于肺内病灶位置),辐射剂量:15-20 mSv($k=0.014$)。增强扫描采用专用高压注射器经肘正中静脉注入非离子型对比剂碘海醇 370 mg/mL,剂量 40 mL,速率 5.0 mL/s,2s后行动态容积扫描,共14个容积,间隔2s,于30s内完成灌注扫描。

1.3 图像后处理及分析 扫描结束后将所有原始数据传至Vitrea工作站:采用体部灌注软件进行图像综合分析。行双入口重建,将胸主动脉、肺动脉干认定为输入动脉,以左心房内对比剂达峰峰值的时间点作为区分体循环与肺循环的界值,同时选取正常肺组织,

【第一作者】 谭 娜,女,在读硕士,主要研究方向:医学影像诊断、胸部影像学。E-mail: tan_na@qq.com

【通讯作者】 柴 华,女,副主任医师,主要研究方向:肺栓塞能谱CT肺灌注成像。E-mail: chh101606@126.com

廖承德,男,主任医师,主要研究方向:脑胶质瘤免疫治疗。E-mail: chengdeliao@qq.com

手工绘制感兴趣区(ROI)，产生4条时间-密度曲线(TDC)(图1 A)，用最大斜率法获得肺动脉血流量(pulmonary artery flow, PF)；行单入口重建，将胸主动脉作为输入动脉，同样选取正常肺组织，产生时间-密度曲线(TDC)(图1B)，用Patlak法获得等效血容量(equiv blood volume, E.BV)^[4]，并自动计算出肺组织各参数伪彩色血流灌注图像，通过冠状位、矢状位、轴状位观察肺部灌注情况。对图像的灌注缺损区域和非缺损区域肺组织进行ROI的勾画(图2A、2B)，确保勾画的层面及范围一致，重复测量3个连续层面，取测量结果的均值进行分析，并结合多平面重建(multi-planar reformation, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)等方法对薄层数据进行图像重建，综合分析并记录肺内肿块的位置、与肺动脉的关系、肺动脉受累程度以及肺灌注缺损位置(图2C、2D)，同时通过灌注软件计算全肺体积和灌注缺损体积及其比值(图2E、2F)。

1.4 诊断标准 影像学诊断及感兴趣区(ROI)勾画由两位高年资放射科医师阅片、判定结果，若意见不统一，可协商达成一致。对常规的重建图像及肺实质伪彩色血流灌注图像进行分析。肺动脉狭窄诊断标准：判断肿块所在位置，当肿块对肺动脉发生包绕、推移、侵犯等情况，则认为出现肺动脉狭窄。根据狭窄部位分为肺动脉主干、叶肺动脉、段肺动脉狭窄；肺动脉狭窄程度计算方法：结合MIP及MPR图，分别测量受累血管管腔最狭窄处管径(N)及健侧同名动脉的对应部位管径(D) [狭窄程度=(1-N/D)×100%]，并参照文献中对血管狭窄的分级标准将其分为3度：狭窄程度0%~19%为轻度20%~69%为中度70%以上为重度^[5]。

1.5 统计学分析 采用SPSS27.0统计软件进行数据分析。所有灌注参数数据采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示，计数资料以例数和百分比[n(%)]表示。两组间的连续变量采用独立样本t检验或Mann-Whitne U检验，分类变量采用卡方检验或Fisher精确检验。多组间的连续变量采用单因素方差分析(ANOVA)。连续变量间的相关性分析中，若满足正态分布且存在线性关系，采用Pearson相关分析；否则采用Spearman秩相关分析。所有检验均为双侧检验，P小于0.05为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 肺组织灌注缺损定量评估 42例肺内肿块患者均观察到肺组织灌注缺损，这些缺损区域在常规CT图像上未见局部纹理稀疏等结构性改变。缺损区域在双入口肺实质伪彩色血流灌注图像上表现为楔形或片状的色谱减低区域(图2)，主要为蓝绿色，与健侧差异明显。灌注缺损区域的PF值显著低于健侧肺组织(98.074±42.93 vs 224.38±26.46 mL/100 mL·min, t=3.753, P=0.001)，CT值与健侧差异无统计学意义(863.98±118.23 vs 865.54±33.41 HU, t=-1.243, P=0.223)。所有患者的灌注缺损位置与肿块位于同一侧，大部分(35例, 83.32%)灌注缺损位置与肺动脉受累位置一致，其余部分肺动脉受累区域及远端肺组织未见灌注缺损，但有5例(11.90%)患者出现肿块未累及区域的灌注缺损(≥2个不连续肺叶缺损)。

2.2 肺灌注缺损与肺肿块特征的相关性分析 肺灌注缺损区域的特征(容积、缺损程度、灌注参数PF、E.BV)与肿块体积无关(P值分别为0.26、0.92、0.35、0.59)，与肿块良恶性无关(P值分别为0.53、0.95、0.88、0.72)。主要与肺动脉狭窄情况有关，灌注缺损区域的容积、缺损程度、灌注参数PF与肺动脉受累位置(主干、叶、段)及肺动脉狭窄程度(表2)相关，其中与肺动脉狭窄程度的相关性最显著。

2.3 肿块累及肺动脉与所致肺灌注缺损的比较 42例患者存在肺动脉受累的情况，肿块侵犯(47.61%)、包绕(11.90%)、推移(33.33%)肺动脉，导致肺动脉不同程度的狭窄。1例患者肿块未累及肺动脉，但仍存在肺组织灌注缺损。不同受累方式所致的肺灌注缺损区域容积及缺损程度差异不明显(表2)，但不同受累方式导致的肺动脉狭窄程度(F=3.014, P=0.042)和肺灌注缺损区域E.BV值有显著差异(F=10.18, P<0.001)。良恶性肿块累及肺动脉的方式有显著差异(表1)，恶性肿块多以侵犯肺动脉为主，良性肿块多以推移和包绕肺动脉为主。良恶性肿块间，所致肺动脉狭窄

程度(66.43% vs 56.39%)和肺灌注缺损区域容积(326.83 mL vs 296.98 mL)差异不明显(表1)。

表1 良恶性肺内肿块的肿块特征及灌注缺损特征比较

	恶性肿瘤(n=20)	良性肿块(n=22)	t/ χ^2	P
年龄	56.50±11.25	62.10±9.66	-1.723	0.09
性别			0.093	0.93
女	3	2		
男	18	20		
肿块体积(cm ³)	92.08±128.94	45.85±36.40	1.548	0.14
肿块特征				
分叶征	15	15	0.239	0.63
毛刺征	15	8	6.313	0.012*
胸膜凹陷征	12	9	1.527	0.217
血管集束征	7	8	0.008	0.927
支气管充气征	5	8	0.633	0.426
肿块体积比	2.17%	1.08%	0.553	0.54
灌注缺损区域容积(mL)	298.89±100.23	275.79±134.76	0.625	0.54
灌注缺损容积比(灌注比)	7.49%	6.89%	0.837	0.41
灌注缺损区域CT值(HU)	-861.50±29.89	-866.45±22.42	0.502	0.62
对侧相应区域CT值(HU)	-850.40±36.21	-862.69±30.61	0.986	0.33
双入口灌注缺损区域PF [mL/(100 mL·min)]	76.72±44.64	77.12±38.98	-0.158	0.88
双入口对侧相应区域PF [mL/(100 mL·min)]	185.79±70.73	259.47±304.82	-1.054	0.298
灌注缺损程度	51.50%	52.26%	-0.058	0.954
单入口灌注缺损区域E.BV [mL/(100 mL·min)]	4.44±15.55	3.20±4.54	0.359	0.72
肺动脉受累方式			34.711	<0.001*
未受累	0	1		
A型*侵犯	20	2		
B型*包绕	0	5		
C型*推移	0	14		
肺动脉受累分支分级			2.984	0.39
段动脉	9	5		
叶动脉	7	10		
主干	4	6		
动脉受累后狭窄程度	66.43%	56.39%	4.031	0.133
轻度(管腔狭窄 0~19%)	0	4		
中度(管腔狭窄 20~69%)	7	6		
重度(管腔狭窄 >70%)	13	12		

表2 肺灌注缺损区域特征与肿块特征之间的相关性(Spearman/Pearson)及差异性(方差分析)

	肺动脉受累方式		肺动脉狭窄程度		肺动脉受累位置(主干、叶、段)	
	F 值	P	相关系数r	P	F 值	P
灌注缺损区域容积(mL)	1.029	0.39	0.526**	<0.001	13.398	<0.001
灌注缺损程度	0.12	0.95	-0.549**	0.002	-0.418*	0.02
双入口灌注缺损区域PF [mL/(100 mL·min)]	2.71	0.07	-0.312*	0.04	1.178	0.33
单入口灌注缺损区域E.BV [mL/(100 mL·min)]	10.18	<0.01	0.154	0.33	1.019	0.40

注: **在 0.01 级别(双尾), 相关性显著; *在 0.05 级别(双尾), 相关性显著。

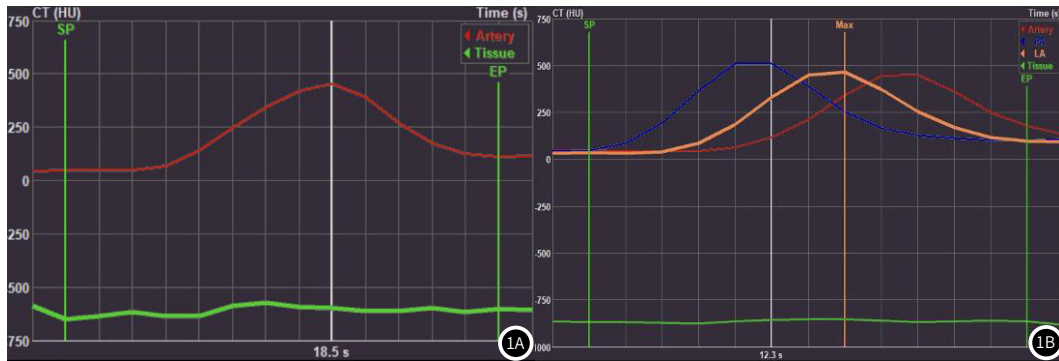


图1A-图1B 时间密度曲线图。1A: 双入口时间-密度曲线(TDC); 1B: 单入口时间-密度曲线(TDC)。

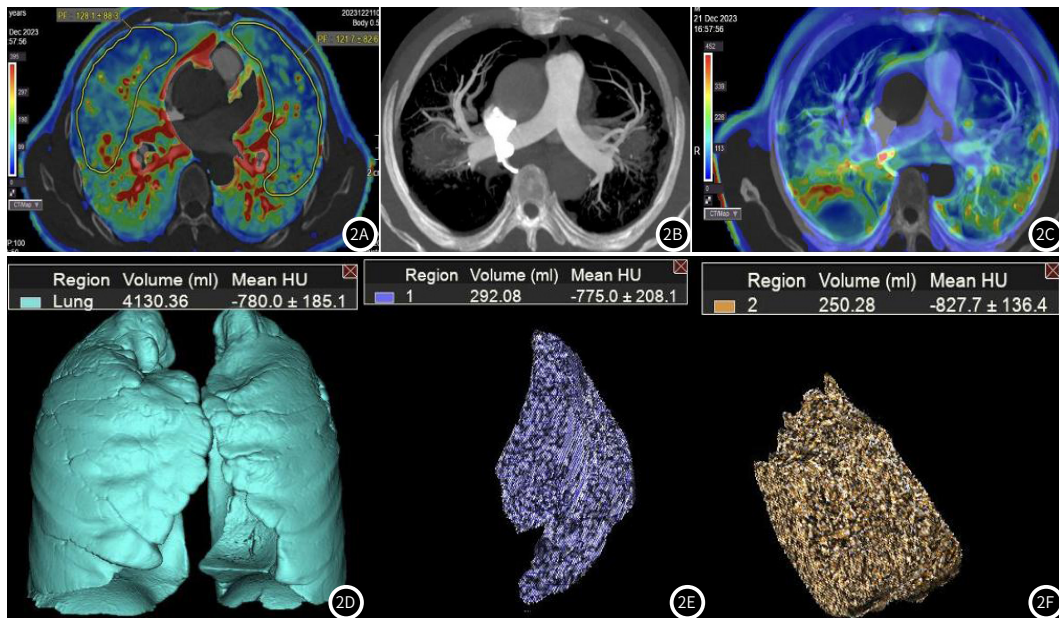


图2A-图2F 案例示意图。中老年男性, 反复出现咳嗽、胸闷3年余, 最终诊断为左侧中央型肺癌。2A: 双入口灌注肺实质伪彩色血流灌注图像像: 对比右肺上叶, 左肺上叶出现灌注减低区域, 左侧PF: $75.9 \pm 37.3 \text{ mL}/(100 \text{ mL} \cdot \text{min})$; 右侧PF: $179 \pm 93.93 \text{ mL}/(100 \text{ mL} \cdot \text{min})$; 2B: 单入口灌注肺实质伪彩色血流灌注图像: 左侧E.BV: $1.7 \pm 3.13 \text{ mL}/(100 \text{ mL} \cdot \text{min})$; 右侧E.BV: $1.3 \pm 4.83 \text{ mL}/(100 \text{ mL} \cdot \text{min})$; 2C: MIP重建图像上显示位于左侧肺门区的肿块侵犯左肺动脉干, 受累肺动脉呈重度狭窄; 2D: MIP与双入口灌注伪彩图融合图像; 2E: 运用灌注软件计算全肺容积; 2F: 左肺灌注缺损区域的肺组织重建及容积测量。

3 讨论

CT灌注成像是一种基于血液流动效应的成像方法, 能在毛细血管水平上反映组织代谢情况, 展示肺组织的微血管分布和血流灌注情况^[6-8]。本研究不再局限于瘤周的灌注情况, 而是利用灌注伪彩图清晰显示了不规则、片状的低灌注缺损区域, 进一步揭示了肺灌注减低的全肺情况。通过双入口灌注成像图像分析, 初步结果显示, 59.52%的患者肺灌注缺损容积约为肿块体积的5倍以上, 这一发现提示肺内肿块对肺组织的影响远超其直接累及的区

域。这些灌注改变在常规CT图像中尚未出现纹理稀疏等结构性变化或CT值减低等表现, 因此无法被观察到, 并且11.9%患者出现肿块未累及区域的灌注缺损(≥ 2 个不连续肺叶灌注缺损), 这些区域的灌注值显著低于健侧相应区域, 差异具有统计学意义。这些结果不仅展示了灌注成像技术在揭示肿块影响范围方面的能力, 也强调了肺内肿块可能引起的广泛血管功能改变。

近年来, 许多研究运用灌注成像技术从不同角度探索了肺

癌患者的肺灌注情况,大多数研究集中于肿瘤实质灌注情况^[7]。LI等^[9]采用能谱CT分析了肿瘤周围3cm范围内的肺组织灌注情况,揭示了肺癌周围(中心型和周围型)通常伴随的低灌注区域。这一发现与LIANG^[10-11]的研究结果相呼应,后者在对肿瘤周围约200mm²区域的定量分析中,进一步区分了小细胞肺癌与非小细胞肺癌之间的灌注差异。此外,CUI^[12-13]对周围型肺癌瘤周的纵膈侧和远侧肺组织进行了灌注分析,结果显示这些区域明显血流灌注减少,支持了肿瘤周围灌注缺损与治疗敏感性之间的潜在关联^[14-15]。这些研究表明,肿瘤的位置和类型对周围肺组织的血流影响显著,肺灌注缺损的严重程度可能影响治疗的反应性和预后。本研究在这些基础上进一步验证了灌注缺损的范围和肿瘤的关系,强调了综合运用灌注成像技术在临床评估和治疗计划制定中的重要性。

本研究进一步分析了灌注缺损情况与肺内肿块形态特征之间的关系^[16],发现灌注缺损的范围大小及严重程度与肿块的大小无相关性,与先前的研究结果一致^[9-11];不同于LI等^[9]的研究,我们未发现肿块的良恶性或实质灌注情况与灌注缺损的显著相关性,这可能是由于我们扩大了灌注缺损研究的范围,从而减少了恶性肿瘤瘤周微循环显著受抑的情况对结果的影响。此外,ZHANG等^[17]认为,肺内良恶性结节周围灌注无显著差异。我们的数据显示,灌注缺损主要与肺动脉受累情况显著相关。通过肺部MIP重建图分析,我们观察到肿块导致的肺动脉推移、包绕和侵犯可能引起肺动脉狭窄^[18]。狭窄程度越严重,灌注缺损区域的PF值越低,灌注缺损容积越大。当肿块累及肺动脉主干时,由于更容易发生严重狭窄,灌注缺损的容积相应最大,这与一些肺栓塞的肺灌注成像研究结果相符^[19]。肺实质主要由肺动脉供血,肺动脉狭窄导致的血流动力学变化可能引发肺循环和右心功能障碍^[20-21],进而影响肺内血液流动,增加无效腔和通气血流比例失调,最终可能导致广泛的肺换气功能障碍^[22-24],肿块因此可能造成大范围的肺换气功能障碍。能谱CT灌注成像技术的应用可以帮助临床医生更精确地评估这些变化,从而改善患者的诊断与治疗策略。

本研究存在一些局限性。首先,由于缺乏肺功能检查指标(如肺弥散功能测试)作为参考,我们难以详细评估肺灌注缺损与肺功能下降之间的直接关联。为了解决这一限制,未来的研究应包括综合的肺功能测试,以更精确地验证灌注缺损对肺功能的具体影响。其次,本研究的样本量相对较少,这可能影响了结果的统计功效和普遍性。未来研究应扩大样本量,可能包括多中心研究,以增强结果的可靠性和推广性。

综上所述,能谱CT灌注成像技术通过综合考量肺动脉受累位置及肺灌注血容量图,使我们能够全面评估由肿块引起的肺实质血流灌注改变。该技术为临床提供了一种无创性的评估手段,能够为手术治疗方案的选择提供更多客观的影像学依据。这不仅有助于提高外科手术的精确性,还可能改善患者的预后。

参考文献

[1] 谢培, 罗志坚, 饶驭, 等. 多层螺旋CT平扫及增强双期扫描鉴别诊断肺结节与肿块良恶性的临床价值研究[J]. 江西医药, 2023, 09: 1074-1076, 1079.

- [2] Oudkerk M, Liu SY, Heuvelmans MA, et al. Lung cancer LDCT screening and mortality reduction-evidence, pitfalls and future perspectives [J]. Nat Rev Clin Oncol, 2021, 18 (3): 135-151.
- [3] 张鹏, 张永林, 李鑫玉, 等. 肺癌致瘤周肺组织血流灌注异常的研究进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2018, 02: 209-212.
- [4] 冯再辉, 罗艳芬, 杨艳红, 等. 320排容积CT单入口、双入口联合模式全瘤灌注参数对肺内孤立性肿瘤的诊断价值[J]. 肿瘤影像学, 2020, 05: 500-505.
- [5] 白红利, 缪競陶, 何之彦, 等. 螺旋CT血管成像在肺癌侵犯中央肺动脉中的应用[J]. 中国肺癌杂志, 2000, 06: 445-448.
- [6] Yuan X, Zhang J, Ao G, et al. Lung cancer perfusion: can we measure pulmonary and bronchial circulation simultaneously? [J]. Eur Radiol, 2012, 22 (8): 1665-1671.
- [7] 方进, 毛家骧, 梁敏杰, 等. 320排动态容积CT对正常人肺实质不同区域灌注定量研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35 (10): 1593-1597.
- [8] 王岳, 高莉, 张晓东, 等. 双能量CT碘含量定量分析在肺实质血流灌注的初步研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16 (8): 43-45.
- [9] 李梦颖, 浦仁旺, 李智勇, 等. 能谱CT肺灌注血容量图对肺癌瘤周组织灌注的定量研究[J]. 中华瘤防治杂志, 2013, 20 (18): 1433-1435.
- [10] 梁远凤, 李琦, 马超豪, 等. 肺癌瘤周灌注的能谱CT定量研究[J]. 重庆医科大学学报, 2017, 42 (3): 357-360.
- [11] 梁远凤. 肺癌瘤周灌注的能谱CT初步研究[D]. 重庆医科大学, 2017.
- [12] 崔学武, 王西昌, 田兴仓, 等. CT灌注成像对周围型肺癌瘤周肺实质血流灌注的评价[J]. 宁夏医学杂志, 2018, 40 (12): 1072-1074.
- [13] 张东旭. 非小细胞肺癌患者肺CT灌注成像特点及其与病理参数的关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16 (12): 56-58, 109.
- [14] 王飞. 宝石能谱CT联合MSCT灌注成像在肺结节定性诊断中的应用[J]. 当代医学, 2022, 17: 149-152.
- [15] 周以明, 张伟. 能谱CT成像原理技术及其在肺癌诊治中的应用研究进展[J]. 临床合理用药杂志, 2020, 13 (33): 176-179.
- [16] 赵文云, 谢强. 64排螺旋CT动态增强扫描不同病理类型肺癌患者孤立性肺结节特点分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (7): 56-58.
- [17] 张庆华, 胡春洪, 顾光官, 等. 灶周CT灌注参数对孤立性肺部球形病变的诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2011, 30 (6): 813-816.
- [18] 李克伟, 刘凯, 段鹏飞, 等. 支架植入术治疗恶性肿瘤所致肺动脉狭窄2例[J]. 介入放射学杂志, 2016, 25 (10): 867-869.
- [19] 冯庆, 李涛, 李筱漾, 等. 双能量CT肺灌注在肺栓塞诊断及危险分层中的价值[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45 (3): 369-373.
- [20] 宋虎, 邹俊杰, 王凤, 等. 双能CT肺灌注成像在急性肺动脉栓塞检查中的应用价值[J]. 中国辐射卫生, 2023, 32 (5): 550-555.
- [21] 朱守敬, 连蕾, 苏震. MRI相位对比技术评估慢性阻塞性肺疾病合并肺动脉高压患者肺动脉形态的价值[J]. 中国实用医刊, 2021, 48 (2): 66-69.
- [22] Balzanelli MG, Distratis P, Lazzaro R, et al. The importance of arterial blood gas analysis as a systemic diagnosis approach in assessing and preventing chronic diseases, from emergency medicine to the daily practice[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2023, 27 (23): 11653-11663.
- [23] 魏睿. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期不同证型与实验室指标相关性研究进展[J]. 国际中医中药杂志, 2017, 11: 1044-1047.
- [24] 刘俊强. 慢性阻塞性肺疾病患者CT血管成像结果与肺功能参数、血气分析结果的相关性分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 03: 313-316.

(收稿日期: 2024-06-03)

(校对编辑: 赵望淇、江丽华)