

肺部 CTA 多期血管融合在肺部占位性病变定性诊断中的应用价值

杨冬梅,陈东,于英明,雷雪梅

(攀钢集团总医院·中国十九冶集团有限公司职工医院分院放射科,四川 攀枝花 617023)

【摘要】目的: 分析肺部计算机断层扫描血管造影(CTA)多期血管融合在肺部占位性病变定性诊断中的价值。**方法:** 选取 185 例具有病理结果的肺部占位性病变患者资料进行回顾性分析,所有患者术前均依次接受普通胸部 CT 增强扫描与胸部 CTA 扫描。以病理结果为金标准,比较两种检查方法的诊断效能。**结果:** 普通 CT 多期强化扫描的敏感度、特异度分别为 87.50%、84.62%,*Kappa* 值为 0.709,曲线下面积(AUC)为 0.861。CTA 多期血管图像融合诊断的敏感度、特异度分别为 95.83%、93.85%,*Kappa* 值为 0.893,AUC 为 0.948。Delong 检验显示,多期血管图像融合诊断良恶性的 AUC 大于普通 CT 多期强化扫描($P<0.05$)。**结论:** 肺部 CTA 多期血管融合能更全面显示病变血供特征,能提高良恶性鉴别诊断效能。

【关键词】 肺部占位性病变;CT 血管造影;多期血管融合技术;动脉期图像重建;定性诊断

【中图分类号】 R816.4 **【文献标志码】** A

Application value of multi-phase vascular fusion based on pulmonary CTA in qualitative diagnosis of pulmonary space-occupying lesions

YANG Dong-mei, CHEN Dong, YU Ying-ming, LEI Xue-mei

(Department of Radiology, Pangang Group General Hospital, Affiliated Hospital of China Metallurgical Group Corporation No. 19, Panzhihua 617023, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To analyze the value of multi-phase vascular fusion based on computed tomography angiography (CTA) in qualitative diagnosis of pulmonary space-occupying lesions. **Methods:** A retrospective analysis was performed on the data of 185 patients with pulmonary space-occupying lesions who had pathological results. All patients received conventional contrast-enhanced chest CT followed by chest CTA. Using pathological results as the reference standard, the diagnostic efficacy of the two examination methods was assessed. **Results:** The sensitivity and specificity of conventional multi-phase contrast-enhanced CT were 87.50% and 84.62% (*Kappa* value=0.709), and the area under the curve (AUC) was 0.861. The sensitivity and specificity of multi-phase vascular fusion based on CTA were 95.83% and 93.85% (*Kappa* value=0.893), and the AUC was 0.948. Delong's test showed that the AUC of multi-phase vascular fusion was greater than that of conventional multi-phase contrast-enhanced CT ($P<0.05$). **Conclusion:** Multi-phase vascular fusion based on pulmonary CTA can better display blood supply characteristics of lesions and improve the diagnostic efficacy for benign and malignant lesions.

【Key words】 Pulmonary space-occupying lesion; Computed tomography angiography; Multi-phase vascular fusion technique; Arterial phase image reconstruction; Qualitative diagnosis

肺部占位性病变病因复杂,良恶性鉴别至关重要,直接影响治疗决策与患者预后^[1-2]。计算机断层扫描(CT)因其极高的空间分辨率和密度分辨率,已成为肺部疾病首选的影像学检查方法^[3-4]。常规肺部多采用 CT 多期强化扫描,只能单一的从二维层面显示肺组织及相应组织的受累及与病灶的关系^[5]。且由于肺部病变血供模式复杂的病变,其动脉供血、静脉引流及微血管改变等关键特征在二维图像中难以全面捕捉^[6]。CT 血管造影(CT angiog-

raphy, CTA)技术利用三维后处理技术重建成像,能够无创、精准地评估肺部血管的形态学改变^[7]。近年来,多期相 CTA 扫描与图像融合技术快速发展,该技术可将动、静脉期信息融合于一幅图像,立体呈现病灶与肺血管树的关系^[8]。尽管已有少数研究探讨了 CTA 血管融合技术在肺部病变中的应用,但多为小样本或侧重于单一病种(如肺结节)的血供描述,尚缺乏与临床常规 CT 多期强化扫描进行大样本诊断效能比较的研究。因此,本研究回顾

性分析经病理证实的 185 例肺部占位性病变患者的影像资料,旨在系统比较普通 CT 多期强化与 CTA 多期血管图像融合对病变良恶性的诊断效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究回顾性分析 2020 年 6 月至 2025 年 8 月攀钢集团总医院收治的 185 例肺部占位性病变患者的临床资料。纳入标准:(1)影像学报告提示存在肺部占位性病变者;(2)于本院就诊并依次行常规胸部 CT 多期增强扫描与胸部 CTA 扫描,且两次检查间隔时间 ≤ 7 d 者;(3)所有患者均经过手术或活检获得的术后病理学诊断结果作为金标准;(4)临床病历资料完整可查者。排除标准:(1)CT 图像存在严重运动伪影、金属伪影或噪声过高,严重影响图像质量和评估者;(2)靶血管显影不佳者;(3)既往有同侧肺部手术史、放疗史或经皮穿刺消融等介入治疗史;(4)相关临床资料不完整者。本研究为回顾性研究,且经过本院医学伦理委员会审批。

1.2 研究方法

1.2.1 病理学检查及诊断 所有入选患者的肺部占位性病变标本均经由外科手术切除取得。术后标本立即用 10% 中性甲醛溶液固定,标本经脱水包埋后,制备为 4 μm 厚切片,随后进行苏木精-伊红染色。必要时,根据诊断需求增做免疫组织化学染色以辅助诊断和鉴别诊断。所有病理切片均由两名具有 10 年以上经验的副主任级别病理科医师在不知晓 CT 影像学结果的情况下进行独立阅片。两位医师根据世界卫生组织肺癌组织学分类标准进行病理诊断。若两位医师的诊断意见出现分歧,则通过共同阅片、讨论达成一致。最终病理诊断结果为本研究的金标准。

1.2.2 普通 CT 多期强化检查及处理 采用 Optima CT 660 多层螺旋 CT 扫描仪。患者取仰卧位,扫描范围自肺尖至肋膈角。先行常规平扫。增强扫描采用双期相:采用肘前静脉注射方式,以 2.5~3.0 mL/s 的流率推注碘帕醇(浓度 370 mg/mL),剂量按 1.2 mL/kg 体质量计算。采用固定延迟时间法,于注射开始后 25~30 s 进行动脉期扫描,60~70 s 进行静脉期扫描。扫描参数:管电压 120 kV,采用自动管电流调制技术,重建层厚 5.0 mm,矩阵 512 $\times$ 512。将常规增强扫描的动脉期、静脉期图像(层厚 5.0 mm)载入临床 PACS 系统。由两名副主任医师(胸部影像诊断经验均超过 10 年),在不知晓病理结果及 CTA 结果的情况下,采用标准肺窗(窗宽 1500 HU,窗位-600 HU)与纵隔窗(窗宽

350 HU,窗位 40 HU)对图像进行多平面(横断面、冠状面、矢状面)观察与分析。

1.2.3 CTA 检查 采用 OptimaCT 660 多层螺旋 CT 扫描仪,患者取仰卧位,扫描范围自肺尖至肋膈角。先行常规平扫。增强扫描采用双期相方案:经肘前静脉以 3.5 mL/s 的流率推注非离子型碘对比剂碘帕醇(浓度 370 mg/mL),剂量按 1.2 mL/kg 体质量计算。注射完毕后,以相同速率注射 20 mL 生理盐水冲刷。采用对比剂智能追踪技术,于肺动脉干层面设定兴趣区(ROI),当 CT 值达 50 HU 的预设阈值时,自动触发动脉期扫描;动脉期扫描结束后 30 s,自动执行静脉期扫描。主要扫描参数:管电压 120 kV,采用自动管电流调制技术,机架旋转速度 0.6 s/r,重建层厚 0.625 mm,矩阵 512 $\times$ 512。多期血管图像融合:首先原始薄层图像(层厚 0.625~1.0 mm)传入 OptimaCT 660 后处理工作站,利用工作站内置的非刚性配准算法对动脉期和静脉期两组图像数据进行自动配准,以校正因呼吸运动导致的细微位移。配准成功后将多期图像重建:采用多平面重组、最大密度投影及容积再现技术进行三维血管重建;再采用图像融合软件,将动脉期血管树(通常以红色伪彩显示)与静脉期血管树(通常以蓝色伪彩显示)进行融合叠加,生成一幅同时清晰显示肺动、静脉系统及病灶(根据临床需求有时候需要加上支气管)的融合三维图像。操作者可对融合图像进行任意旋转、缩放,并可通过滑动透明度条分别观察不同期相的血管信息。再由相同的两名副主任医师独立对图像进行分析。

1.2.4 质量控制 两位医师评估内容包括病灶的形态、密度、强化方式、与周围血管的关系(如血管集束征、供血血管、引流静脉等),并最终记录其对病变良恶性的诊断意见(恶性/良性)。诊断过程中的任何分歧通过协商达成一致。

1.3 统计学分析

运用 SPSS 25.0 软件进行数据分析。评估诊断效能的指标包括:敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、Kappa 系数及受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC),AUC 比较采用 DeLong 检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用独立样本 χ^2 检验;计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

本研究纳入 185 例病变患者,经病理学诊断,其中恶性病变 120 例,良性病变 65 例。患者男性 113

例、女性 72 例,年龄(61.26 ± 11.73)岁。两组患者一般资料比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 [$n(\%)$], $\bar{x} \pm s$

组别	年龄(岁)	性别	
		男	女
恶性病变($n=120$)	62.24 ± 10.71	79(65.83)	41(34.17)
良性病变($n=65$)	59.45 ± 12.44	34(52.31)	31(47.69)
χ^2/t 值	1.597	3.245	
P 值	0.112	0.072	

2.2 两种图像处理方式诊断结果比较

以术后病理结果为金标准。普通肺部 CT 多期强化扫描图像诊断结果显示,恶性病变 115 例,良性病变 70 例, $Kappa$ 值为 0.709。CTA 多期血管图像融合诊断显示恶性病变 119 例,良性病变 66 例, $Kappa$ 值为 0.893。见表 2。

表 2 两种图像处理方式诊断结果对比

处理方式	金标准(n)		敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性预测 值(%)	阴性预测 值(%)	$Kappa$ 值
	恶性	良性					
动脉期图像重建			87.50	84.62	91.30	78.57	0.709
恶性	105	10					
良性	15	55					
多期血管图像融合			95.83	93.85	96.64	92.42	0.893
恶性	115	4					
良性	5	61					

2.3 两组图像处理方式的 ROC 曲线比较

ROC 分析显示,普通肺部 CT 多期强化扫描图像诊断良恶性的 AUC 为 0.861,多期血管图像融合诊断良恶性的 AUC 为 0.948;Delong 检验显示,多期血管图像融合诊断良恶性的 AUC 大于普通肺部 CT 多期强化扫描诊断($P < 0.05$)。见表 3 及图 1。

表 3 两组图像处理方式的 ROC 曲线比较

方式	AUC 值	95%CI	约登指数	P 值
普通肺部 CT 多期强化	0.861	0.802—0.907	0.721	<0.001
多期血管图像融合	0.948	0.906—0.975	0.897	<0.001

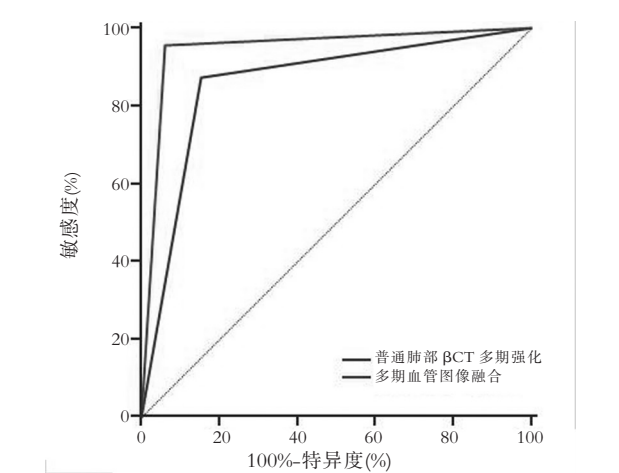


图 1 图像处理方式的 ROC 曲线

2.4 典型病例图像

典型病例图像见图 2。

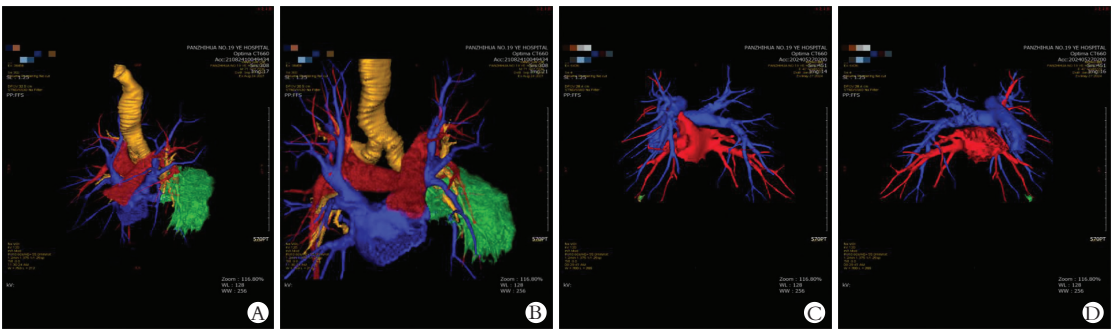


图 2 典型病例图像

A-B. 病例 1 CTA 多期血管融合图像;C-D. 病例 2 CTA 多期血管融合图像。

3 讨论

肺部占位性病变的精准定性是临床决策的基石,直接关系到治疗策略的选择与患者预后^[9]。CT 作为首选影像学方法,其增强扫描及 CTA 技术能有效评估病变的血供特征^[10]。多期相 CTA 图像融合技术是影像后处理领域的重要进展,它通过集成动、静脉双期信息,实现了对肺血管树及病变血供模式的“一站式”立体可视化,该技术在神经、肝胆等领域的血管评估中已展现出独特优势^[11]。本研究显示,其在肺部病变,特别是良恶性鉴别诊断中同样具

有系统应用与价值。

肺部占位性病变中,部分血供不丰富的微浸润腺癌或肺泡壁贴壁生长病灶,在常规 CT 多期强化扫描中常因征象不明显而被误判为良性^[12]。本研究证实,CTA 多期血管融合技术在肺部占位性病变更定性诊断中全面优于常规多期强化扫描。在病灶识别能力方面,该技术将诊断敏感度从 87.50% 提升至 95.83%,其核心优势在于通过整合动、静脉期信息,可敏锐捕捉恶性肿瘤特征性血供模式,尤其对常规多期强化扫描中表现不典型但存在早期静脉引流或微血管异常的病变,降低了漏诊风险^[13]。在特异

性诊断方面,多期融合的特异度达 93.85%,较常规多期强化扫描的 84.62%有明显提高,有效减少了假阳性误诊。临床中,机化性肺炎、结核球等良性病变在动脉期常表现为明显强化,易模仿恶性肿瘤的富血供特征,这是常规检查误诊的主要原因^[14]。而多期血管融合技术通过同步评估供血动脉与引流静脉的形态学特征及血流动力学时序变化,可精准鉴别此类病变^[15]。两种方法与病理金标准的一致性亦存在差异:多期融合的 $Kappa$ 值高达 0.893(极好一致性),常规多期强化扫描则为 0.709(良好一致性)。这得益于该技术提供的影像学征象更客观明确,如动静脉分色显示使血管受累、异常交通瘘等特征直观可见,降低了诊断主观臆断,提升了不同观察者间的结果可重复性^[16]。ROC 曲线分析进一步证实其综合诊断效能: AUC 达 0.948,优于动脉期重建的 0.861($P<0.05$)。表明多期血管融合技术作为更先进的影像学手段,在区分肺部良恶性病变中具备更高综合判别能力,具有重要临床应用价值。该技术通过同步展示动静脉期信息,不仅提供引流静脉的形态与血流时序特征,还明确了血管树整体空间关系,在肺部占位性病变诊断中具有显著价值^[17-18]。

综上,肺部 CTA 多期血管融合技术通过整合动、静脉期的互补性诊断信息,克服了单一二维平面评估病灶的局限性,能够更全面、更清晰地揭示肺部占位性病变的血供本质及其与周围血管结构的复杂关系。另外考虑到腹部脏器(如肝脏、肾脏、胰腺等)肿瘤同样具有复杂多样的血供特点,其定性诊断也高度依赖于对动脉期、门静脉期及延迟期多时相血管信息的综合分析。

参考文献

- [1] 胡鑫,姜永杰,石伦光,等.基于多变量分析和机器学习的肺结节恶性风险预测模型的开发与验证[J].川北医学院学报,2025,40(6):686—692,712.
- [2] Hartley-Blossom ZJ, Digumarthy SR. Dual-energy computed tomography applications in lung cancer[J]. Radiologic Clinics of North America, 2023, 61(6): 987—994.
- [3] Schlarbaum KE. PET/CT imaging in lung cancer[J]. Journal of Nuclear Medicine Technology, 2024, 52(2): 91—101.
- [4] 孙天琦,彭楠.基于 CT 薄层影像特征的肺结节分级系统在肺结节筛查中的价值[J].保健医学研究与实践, 2023, 20(9): 105—108, 148.
- [5] Bian C, Fu C, Xue W, et al. Three-dimensional reconstruction for determining positional indications of pulmonary segmentectomy/subsegmentectomy for ground glass opacity-dominant clinical T1a-bN0 non-small cell lung cancer[J]. Translational Lung Cancer Research, 2024, 13(11): 2947—2957.
- [6] 来瑞鹤,耿羽智,何健,等. 18F-FDG PET/CT 多参数联合模型

在肺部病变良恶性鉴别中的价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(9): 525—529.

- [7] Abdulaal L, Maiter A, Dwivedi K, et al. Lung parenchymal and cardiac appearances on computed tomography pulmonary angiography impact survival in chronic thromboembolic pulmonary hypertension: results from the ASPIRE Registry[J]. ERJ Open Research, 2025, 11(3): 00732—02024.
- [8] Wang J, Tan D, Liu J, et al. Merging multiphase CTA images and training them simultaneously with a deep learning algorithm could improve the efficacy of AI models for lateral circulation assessment in ischemic stroke[J]. Diagnostics, 2022, 12(7): 1562.
- [9] Li H, Wang Y, Wang Y, et al. Application of explainable deep learning in differentiating benign from malignant Pulmonary space-occupying lesions and classifying pathological subtypes of lung cancer[J]. Chinese Journal of Lung Cancer, 2025, 28(10): 738—750.
- [10] Kiriki M, Koizumi M, Maeda K, et al. Development of the split-bolus pulmonary arteriovenous separating computed tomography angiography protocol based on time enhancement curve for lung cancer surgery[J]. Journal of Computer Assisted Tomography, 2024, 48(6): 914—920.
- [11] Hou X, Wu T, Li D, et al. Enhanced preoperative planning for intracranial aneurysms through multimodal image fusion of silent/time-of-magnetic resonance angiography and computed tomography using 3DSlicer: a comparative efficacy analysis with computed tomography angiography[J]. The Neurologist, 2024, 29(6): 343—350.
- [12] Xie D, Zhang L, He N, et al. Overdiagnosis of lung cancer due to the introduction of low-dose computed tomography in average-risk populations in the people's republic of China[J]. Journal of Thoracic Oncology, 2025, 20(7): 884—896.
- [13] Tan Y, Zhu JY, Li J, et al. Application of 3-dimensional visualization and image fusion technology in liver cancer with portal vein tumor thrombus surgery[J]. Medicine, 2024, 103(30): e38980.
- [14] Ajmire P, Deshpande V, Haseeb M, et al. Ultrasonography compared to computed tomography in pediatric complicated pneumonia: beyond radiation[J]. Cureus, 2025, 17(1): e77158.
- [15] 顾秀婷,尹笑笑,吴云江,等.基于非线性融合技术肺支气管血管成像在肺结节术前定位的应用[J].生物医学工程与临床, 2023, 27(4): 483—487.
- [16] Busto G, Morotti A, Carlesi E, et al. Pivotal role of multiphase computed tomography angiography for collateral assessment in patients with acute ischemic stroke[J]. La Radiologia Medica, 2023, 128(8): 944—959.
- [17] Yasaka K, Kanzawa J, Inui S, et al. Bronchiectasis and airspace enlargement surrounding the lung nodule in dual-energy CT pulmonary angiography: comparison between iodine map and monochromatic image[J]. Radiological Physics and Technology, 2025, 18(3): 707—716.
- [18] Bertani S, Forte GC, Andrade RGF, et al. Opportunistic lung cancer screening during coronary artery calcium scoring and CT angiography[J]. Radiology Cardiothoracic Imaging, 2025, 7(6): e250086.

(收稿日期: 2026—02—12

修回日期: 2026—04—12)