

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2017.17.024

文章编号: 1005-8982(2017)17-0113-06

## 双能 CT 肺灌注成像评价肺栓塞栓子形态 与功能改变的相关性研究

柴华, 黄榕, 韩丹, 温勇坚, 单世航, 张荣顺, 刘灿, 彭明群

(云南省第三人民医院 放射医学影像科, 云南 昆明 650011)

**摘要:目的** 采用双源计算机体层摄影(DSCT)双能量肺灌注成像诊断肺动脉栓塞(PE),探讨栓塞部位及形态与双能量肺灌注的相关性。**方法** 收集临床怀疑 PE,行 DSCT 双能量肺灌注成像患者 120 例。①分析 PE 部位及分型;②分析 PE 部位及分型与双能量肺灌注灌注缺损类型的比较;③分析纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像诊断 PE 的吻合性,以及肺灌注图像与肺窗图像诊断 PE 肺内灌注改变的吻合性。**结果** ①从 PE 发生部位分析,右侧 PE 的比例高于左侧肺动脉,肺叶动脉较左、右肺动脉干多,双下肺动脉较双上肺动脉多;从形态上分析,以中心型和完全闭塞型居多,附壁型次之,不规则型及马鞍型较少;②在不同类型的肺动脉干 PE 中,完全型易发生于全肺或肺叶灌注缺损,附壁型或中心型常出现肺叶或段灌注缺损;若 PE 发生在肺叶或肺段,则完全型多出现肺叶或段灌注缺损,而附壁型或中心型多出现肺段或亚段灌注缺损或无灌注缺损;若 PE 发生在亚段,则多见亚段灌注缺损或无灌注缺损;③纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像诊断 PE 的吻合性好,肺灌注图像与肺窗图像诊断 PE 肺内灌注改变的吻合性差。**结论** 肺灌注成像与 PE 部位及形态具有一定的相关性,DSCT 双能量肺灌注成像能协助诊断 PE。

**关键词:** 双能量体层摄影术;肺动脉栓塞;肺灌注

**中图分类号:** R563.5;R816.4

**文献标识码:** A

## Evaluation of embolic morphology and functional changes in pulmonary embolism by dual source computed tomography pulmonary angiography

Hua Chai, Rong Huang, Dan Han, Yong-jian Wen, Shi-hang Shan,

Rong-shun Zhang, Can Liu, Ming-qun Peng

(Department of Radiology, the Third People's Hospital of Yunnan, Kunming, Yunnan 650011, China)

**Abstract: Objective** To diagnose pulmonary embolism (PE) with dual source CT (DSCT) dual energy perfusion imaging, and to explore the relationships of the positions and morphology of the pulmonary emboli with dual energy perfusion imaging. **Methods** DSCT dual energy perfusion imaging was performed in 120 cases suspected as PE. The pulmonary embolus position and types were analyzed and compared with the types of perfusion defects. The coincidence of pulmonary artery enhanced scanning in mediastinum window and pulmonary perfusion imaging in diagnoses of PE and PE pulmonary perfusion changes were analyzed. **Results** Firstly, a series of analysis of pulmonary embolus position revealed that the embolism rate of right pulmonary artery was higher than that of left pulmonary artery, the embolism rates of lobar arteries were higher than those of the left and right pulmonary trunks, the embolism rates of the pulmonary arteries in the lower lobes were higher than those of the pulmonary arteries in the upper lobes. The morphological assessment of pulmonary emboli showed that central type and complete occlusion type were in the majority,

收稿日期: 2016-07-01

[通信作者] 黄榕, E-mail: [hr1978@qq.com](mailto:hr1978@qq.com); Tel: 13629685630

followed by mural type, and irregular type and saddle type were in the minority. Secondly, among the types of pulmonary trunk emboli, the complete occlusion type frequently occurred in the whole lung or lobar perfusion defects, however, the central or mural type more often occurred in pulmonary lobar or segmental perfusion defects. If PE occurred in pulmonary lobe or segment, the complete occlusion type mostly appeared in pulmonary lobar or segmental perfusion defects, while the mural type or center type largely appeared in pulmonary segmental or subsegmental perfusion defects or the lungs without perfusion defect. If PE occurred in the subsegments of the lungs, there was usually subsegmental perfusion defect or no perfusion defect. Thirdly, the pulmonary enhanced scanning in mediastinum window and pulmonary perfusion imaging were in good coincidence for diagnosis of pulmonary embolism, but in bad coincidence for diagnosis of PE pulmonary perfusion changes. **Conclusions** Pulmonary perfusion imaging is related with the locations and shapes of pulmonary emboli. DSCT dual energy pulmonary perfusion imaging can be used to diagnose pulmonary embolism.

**Keywords:** dual energy computed tomography; pulmonary embolism; pulmonary perfusion

肺动脉栓塞(pulmonary embolism, PE)是指内源性或外源性栓子堵塞肺动脉其分支,引起的肺循环障碍的临床和病理生理综合征。近年来,随着生活方式改变,PE 逐渐成为较常见急危重病之一<sup>[1]</sup>,并且发病率逐年上升,占肺血管疾病的首位,占心血管病的 11%<sup>[2]</sup>,寻找一种简便、快速、无创而有效的诊断方法一直医学界的奋斗目标。双能量肺灌注成像通过碘对比剂的分布显示 PE 所致的肺血流灌注缺损<sup>[3]</sup>,不仅可以显示血管栓塞的情况,而且可以了解栓塞后肺血流灌注功能的改变,极大提高 CT 对 PE 的诊断水平,对指导临床治疗有重大的突破和推动。因此,本研究采用双源计算机体层摄影(dual source computed tomography pulmonary angiography, DSCT)双能量肺灌注成像诊断 PE,探讨栓塞部位及形态与双能量肺灌注的相关性。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

选取 2014 年 3 月 -2016 年 2 月云南省第三人民医院临床拟诊断为 PE,并行双能量计算机体层摄影肺血管成像(dual energy computed tomography pulmonary angiography, DECTPA)的患者 120 例。其中,男性 82 例,年龄 27 ~ 79 岁,平均(69.88 ± 13.76)岁;女性 58 例,年龄 24 ~ 78 岁,平均(65.12 ±

15.32)岁。

### 1.2 仪器设备及造影剂

CT 扫描机:德国 Siemens 公司 Somatom Definition Flash CT。CT 后处理工作站:德国 Siemens 公司配套 Multi Modality Work Place (MMWP) 工作站。CT 增强注射器:美国 Medrad 公司双筒高压注射器(型号:SCT211),18 ~ 20 G 套管针。对比剂:德国拜耳医药公司碘普罗胺(碘 370 mg/ml)注射液。

### 1.3 方法

记录被检者的体重,向被检者讲述整个的扫描过程并指导其练习闭气。其中,计算机体层摄影肺血管成像(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)采用常规单源模式扫描;而 DECTPA 扫描启用双源模式,如双期扫描,则从肺尖至双肺底重复双能量扫描 1 次。见表 1。

### 1.4 图像及结果处理

1.4.1 横断面分析 在横断面薄层中间的基础上进行一系列的后期处理,在一定程度上协助 PE 的诊断。

1.4.2 图像重建 目前图像重建方式主要包括多平面重组(multi planar reformation, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、容积再现技术(volume rendering technique, VRT)、CT 仿真内镜成像(CT virtual endoscopy CTVE)等。见图 1。

1.4.3 Lung PBV 的定性分析 在 MMWP 工作站

表 1 DECTPA 和 CTPA 的扫描参数

组别	电压 /kV	电流 /mA	旋转时间 /s	螺距	造影剂碘浓度 / (mg/ml)	造影剂 总量 /ml	生理盐水 容量/ml	注射流速 / (ml/s)
DECTPA	140/80	70/350	0.33	0.7	370	70 ~ 90	30	4.0
CTPA	120	110	0.5	1.0	370	60 ~ 80	30	4.0
组别	触发方式	触发位置	触发阈值 /HU	触发后延迟 /s	重建层厚 /mm	重建间隔 /mm	重建算法	
DECTPA	造影剂跟踪术	PA 主干	100	6	1.0	0.7	D30f	
CTPA	造影剂跟踪术	PA 主干	100	6	1.0	0.7	B30f medium	

上利用双能量肺灌注成像软件(Lung PBV)分析数据,得到肺灌注图像。见图 2A。

1.4.4 InSpace 4D 的融合分析 利用 In Space 4D

软件,将储存的 lung PBV 序列结果和 DECTPA 图像同时装载到 In Space 4D 中,以便观察两组融合效果。见图 2。

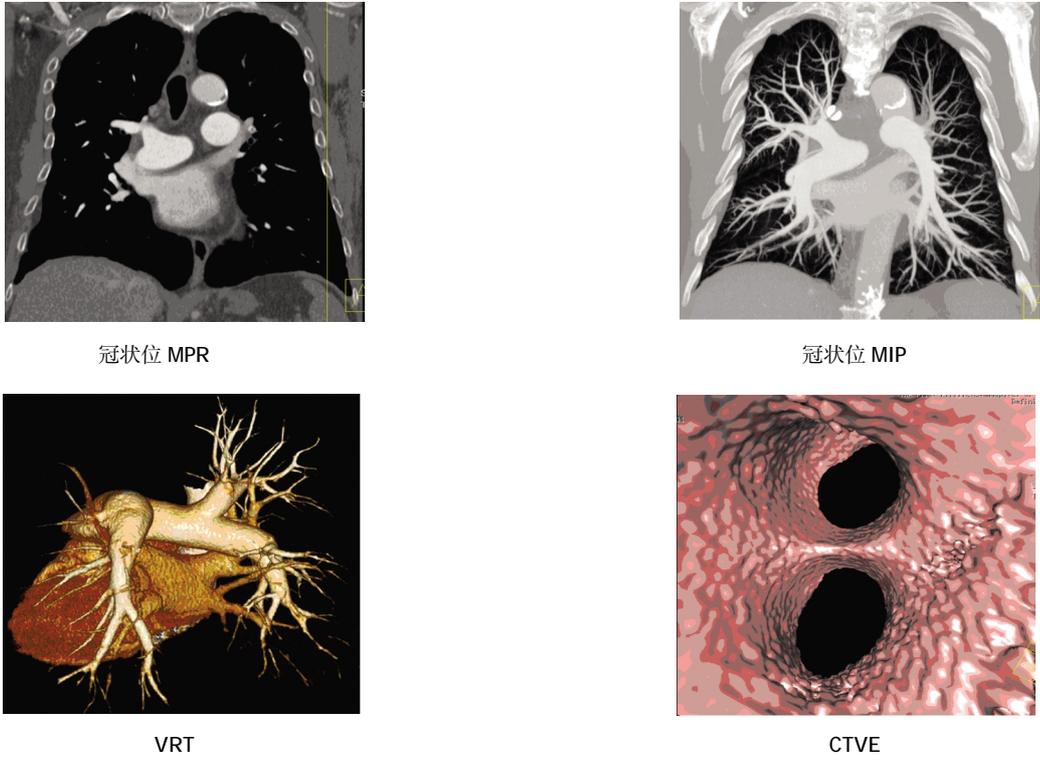
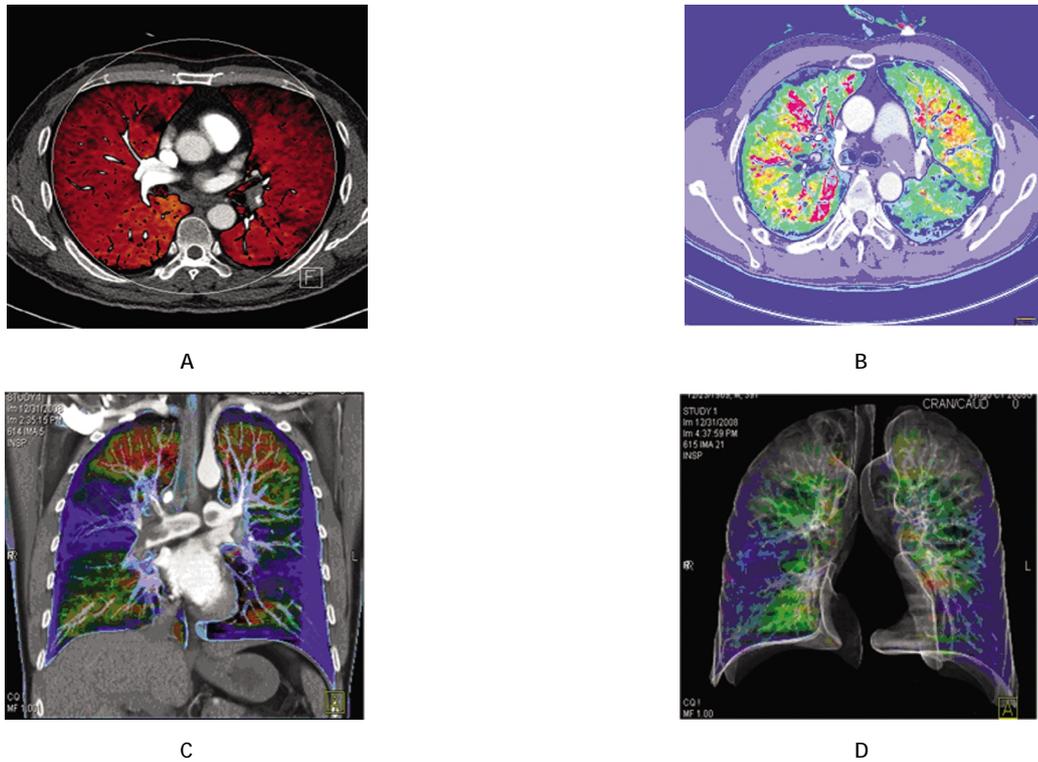


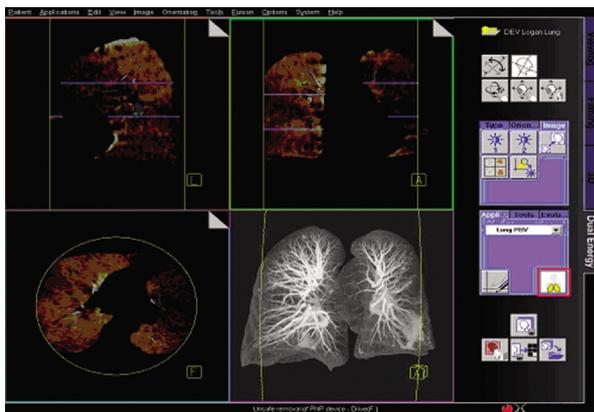
图 1 CTPA 多种重建方式图像



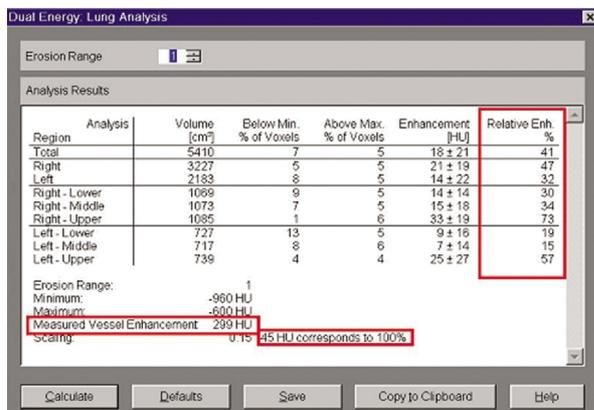
A:Lung PBV 肺灌注横断面图像,B,C:InSpace 4D 融合图像,D:三维立体显示整个肺灌注情况

图 2 Lung PBV 的定性及 InSpace 4D 融合分析

**1.4.5 Lung PBV 的定量分析** Lung PBV 不仅能用伪彩显示肺内灌注情况,而且能在肺剥离后将灌注图像转码为灌注数据,2 条蓝线将每侧肺野横断分为上野、中野及下野,然后计算得到每个区域灌注量及百分数,并以 Hu 和%为单位显示,右上红框内为两肺叶及各肺野肺灌注定量分析数值,用强化程度百分比表示;左下红框内为选定参照血管增强后 CT 值,以其为参照标准可更准确地计算肺内灌注定量数值。见图 3。



A



B

A: 肺灌注定量分析,箭头示肺灌注定量分析功能键,点击该键即得 B; B: 肺灌注分区域定量分析百分比数值

图 3 Lung PBV 定量分析软件

**1.5 统计学方法**

数据分析采用 SPSS 22.0 统计软件,计数资料以率表示,用  $\chi^2$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 DECTPA 检出的 PE 部位及分型**

141 例患者中检出 90 例 PE, 累计栓塞 365 例, 其中完全闭塞型所占比例最高, 占 40.270%。不同栓

塞部位的栓塞类型构成比比较,经  $\chi^2$  检验,差异有统计学意义 ( $\chi^2=46.972, P=0.000$ ), 不同栓塞部位的栓塞类型构成比不全相同。见表 2。

表 2 DECTPA 检出 PE 的部位及分型 例

栓塞部位	中心型	完全闭塞型	钝角附壁型	锐角附壁型	不规则型	马鞍型	合计
右肺动脉干	6	5	8	6	2	1	28
右肺上叶	20	17	5	4	2	3	51
右肺中叶	14	20	5	2	2	0	43
右肺下叶	21	52	8	4	3	4	92
左肺动脉干	2	8	6	5	1	2	24
左肺上叶	18	22	5	4	2	1	52
左肺下叶	34	23	8	3	3	4	75
合计	115	147	45	28	15	15	365

**2.2 DECTPA 检出的 PE 部位及分型与双能量肺灌注图像灌注缺损类型的分析**

DECTPA 检出的 90 例 PE 患者中,结合肺窗图像与临床资料排除肺内基础疾病较严重者 49 例,其余 41 例应用 Lung PBV 软件分析双能量肺灌注图像 (dual energy lung perfusion imaging, DEPI) 的灌注类型与 PE 部位的关系。不同栓塞部位的灌注缺损类型构成比比较,经  $\chi^2$  检验,差异有统计学意义 ( $\chi^2=54.062, P=0.000$ ), 不同的栓塞部位的灌注缺损类型构成比不全相同。见表 3。

**2.3 纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像及肺窗图像诊断 PE 的吻合性分析**

分析纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像诊断

表 3 DECTPAPE 检出的 PE 部位及分型与灌注缺损类型对照 例

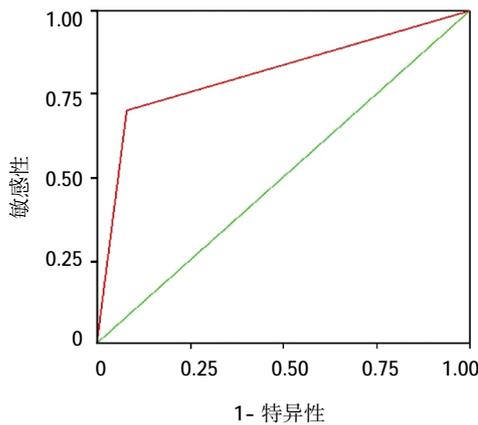
栓塞部位	栓塞类型	无灌注缺损	全肺灌注缺损	叶灌注缺损	段灌注缺损	亚段灌注缺损	合计
肺动脉干	完全型	0	2	3	0	0	5
	附壁型	0	3	4	3	0	10
	中心型	0	0	1	2	1	4
叶动脉	完全型	1	5	12	2	0	20
	附壁型	2	1	2	3	1	9
	中心型	2	0	1	3	4	10
段动脉	完全型	1	1	2	6	7	17
	附壁型	2	0	1	3	2	8
	中心型	3	1	1	5	3	13
亚段动脉	完全型	5	0	1	7	8	21
	附壁型	1	0	0	2	1	4
	中心型	13	0	1	2	4	20
合计	-	30	13	29	38	31	141

PE 的吻合性,以及肺灌注图像与肺窗图像诊断 PE 肺内灌注改变的吻合性。41 例患者,每位患者 5 个肺叶,共 205 个肺叶进行分析。纵隔窗增强图像显示发生在肺叶的 PE 65 个,灌注图像显示发生在肺叶的 PE 60 个,应用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC)对 2 种图像诊断 PE 的吻合性进行分析,结果显示,ROC 曲线面积为 0.816,说明两组间具有较好的吻合性。吻合性分析差异有统计学意义( $\chi^2=4.629, P=0.033$ )。见表 4 和图 4。

对 41 例 DECTPA 检出的每位 PE 患者的 5 个肺叶进行灌注图像分析。结果显示,发生在肺叶动脉栓塞的各型肺灌注缺损 49 个,肺窗上出现肺内血管改变或梗死 22 个,应用 ROC 曲线对两种图像显示 PE 引起肺内灌注改变吻合性进行分析,结果显示,灌注图像 ROC 曲线面积为 0.583,说明两组间吻合性较差。吻合性分析差异有统计学意义( $\chi^2=4.947, P=0.029$ )。见表 5 和图 5。

表 4 纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像诊断 PE 的吻合性分析 例

组别	右上叶	右中叶	右下叶	左上叶	左下叶	合计
纵隔窗	9	14	18	9	15	65
灌注图像	12	13	15	8	12	60

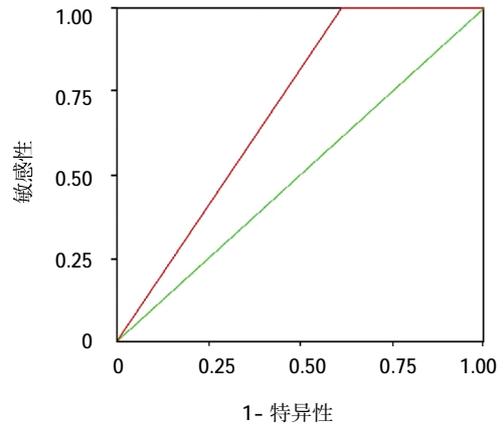


红色线条为纵隔窗;绿色线条为灌注图像

图 4 纵隔窗肺动脉增强图像与肺灌注图像 PE 的吻合性分析

表 5 灌注图像及与肺窗显示 PE 引起肺灌注改变的吻合性分析 例

组别	右上叶	右中叶	右下叶	左上叶	左下叶	合计
灌注图像	6	11	14	6	12	49
肺窗	3	5	7	2	5	22



红色线条为灌注图像;绿色线条为肺窗

图 5 灌注图像与肺窗显示 PE 引起肺灌注改变的吻合性分析

### 3 讨论

#### 3.1 双源CT 双能量成像在肺灌注成像中的应用

CT 肺灌注成像不仅能观察到 PE 所引起的形态学变化,还可以显示栓塞后肺组织微循环改变<sup>[4]</sup>。随着对碘对比剂研究的深入,发现碘对比剂在低光子能量时具有高 X 线衰减特性<sup>[5]</sup>。根据这一特性,碘对比剂在双能显影得到广泛引用<sup>[6]</sup>。目前 DSCT 双能量的应用已经主要集中在以下几个方面:①评价组织血流灌注;②鉴别组织成分;③去除骨骼及钙化<sup>[7]</sup>。

DSCT 双能量肺灌注成像的原理:注入增强剂后,肺组织内主要包括气体、软组织及对比剂。根据光电吸收及康普顿散射效应,低能 X 线下碘衰减系数最大,高能 X 线下,碘衰减系数下降一半,而空气与软组织的衰减系数与 X 线的能量高低几乎无关<sup>[8]</sup>。2 种能量状态下肺实质内碘对比剂的分布差异反映出肺实质的灌注情况,因而利用双能量成像技术和碘造影剂可以同时研究 PE 患者肺灌注情况和肺动脉成像,从而实现一次双能量增强扫描,同时完成肺动脉成像和全肺灌注成像 2 项结果,高效且损害小<sup>[9]</sup>。在 DSCT 纵隔窗中,血管增强图像能清晰显示各级肺动脉内的栓子,但无法评价栓塞后肺组织的血流改变<sup>[9]</sup>。而在 DSCT 肺灌注图像中,不仅能清晰显示肺动脉干及叶肺动脉内的栓子,还能分析相应区域的灌注缺损<sup>[11-13]</sup>。更值得人们注意的是,DSCT 辐射剂量与单源 CT 相当。本研究虽然采用低对比剂用量,但上腔静脉内的高浓度对比剂仍是产生伪影的主要原因<sup>[14]</sup>,不仅给影像医师提供更多的信息,而且给临床医生的诊疗提供更直观的资料,降低患者的风险。

### 3.2 DSCT 双能量肺灌注成像诊断的价值与优势

本研究在 90 例 PE 患者中,共检出栓塞肺动脉 365 个,其中包括完全闭塞型 147 个,中心型 115 个,钝角附壁型为 45 个,锐角附壁型为 28 个,不规则型及马鞍型各 15 个;右肺下叶动脉 92 个,左肺下叶动脉 75 个,左肺上叶动脉检出 52 个,右肺上叶动脉检出 51 个,右肺中叶动脉检出 43 个,右肺动脉干检出 28 个及左动脉干 24 个。根据上述结果,从 PE 发生部位分析,右侧肺动脉栓塞的比例高于左侧肺动脉,肺叶动脉较左、右肺动脉干多,双下肺动脉较双上肺动脉多;从形态上分析,以中心型和完全闭塞型居多,附壁型次之,不规则型及马鞍型较少。同时在 DECTPA 检出 41 例患者中,发现完全型、附壁型和中心型 PE 194 个,叶肺动脉 62 个,左、亚段肺动脉 58 个,段肺动脉 51 个,右肺动脉干 23 个;共发生各部位灌注缺损 141 个。在不同类型的肺动脉干 PE 中,完全型易发生全肺或肺叶灌注缺损,附壁型或中心型常出现肺叶或段灌注缺损;若 PE 发生在肺叶或肺段,则完全型多出现肺叶或段灌注缺损,而附壁型或中心型多出现肺段或亚段灌注缺损或无灌注缺损;若 PE 发生在亚段,则多见亚段灌注缺损或无灌注缺损。

通过上述研究可以得出,DSCT 双能量肺灌注成像不仅显示肺动脉内的栓子情况,而且可以观察相应区域的灌注缺损。本研究中,分析 PE 的发生部位、分型及肺内灌注后发现大部分 PE 的发生部位、分型及肺内灌注情况关系密切,但亦有少数肺段灌注缺损但血管图像未显示栓塞,究其原因可能是由于该区域肺通气阻力增加所致,即使肺动脉内没有栓子,也引起该区域肺血流减少。虽然肺灌注图像与纵膈窗增强图像在诊断 PE 上无差异,但是两者结合起来既清晰显示肺动脉内的栓子,还能评价相应区域的灌注缺损,更全面地指导 PE 的临床诊疗。

总之,随着 CT 扫描技术的不断发展,医师可以得到更高质量的图像和更多的信息,为疾病的诊断和治疗提供更全面、准确的辅助资料,但是降低辐射剂量的问题仍是全球放射界研究的热点,值得笔者

在日常工作和研究中进一步探究。

#### 参 考 文 献:

- [1] YOO H H, QUELUZ T H, ELDIB R. Anticoagulant treatment for subsegmental pulmonary embolism [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014, 28(4): 1-10.
- [2] 王晓芳. 肺栓塞诊断和治疗进展 [J]. *中国医药指南*, 2012, 10(7): 67-69.
- [3] MAYO J, THAKUR Y. Acute pulmonary embolism: from morphology to function [J]. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*, 2014, 35: 41-49.
- [4] 卓娜, 马延贺, 张洪. 双能 CT 肺灌注成像在诊断肺栓塞中的价值 [J]. *天津医科大学学报*, 2016, 22(1): 45-47.
- [5] THIEME S F, MEINEL F G, GRAEF A, et al. Dual-energy CT pulmonary angiography in patients with suspected pulmonary embolism: value for the detection and quantification of pulmonary venous congestion [J]. *Br J Radiol*, 2014, 87(1039): 79-80.
- [6] 毛锡金, 王山山, 张林. 双源 CT 肺栓塞探测软件及能量灌注成像对外周型肺栓塞的诊断价值 [J]. *实用放射学杂志*, 2016, 32(4): 527-530.
- [7] JOHNSON T R, KRAUSS B, SEDLMAIR M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience [J]. *Eur Radiol*, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [8] LEE C W, SEO J B, SONG J W, et al. Evaluation of computer-aided detection in dual energy soft ware in detecting peripheral pulmonary embolism on dual-energy pulmonary CT angiography [J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(2): 54-62.
- [9] BRIDGFORD L. Pulmonary embolism: assessment and imaging [J]. *Aust Fam Physician*, 2014, 43(5): 247.
- [10] 王荣品, 唐雷, 刘昌杰. 双源 CT 肺动脉造影对外周肺动脉栓塞的诊断 [J]. *实用放射学杂志*, 2012, 28(10): 1525-1529.
- [11] 沈起钧, 彭志毅, 单嫣娜. 双源 CT 双能量肺动脉成像结合灌注血容积技术评价急性肺栓塞的初步研究 [J]. *临床放射学杂志*, 2014, 33(1): 34-38.
- [12] THIEME S F, BECKER C R, HACKER M, et al. Dual energy CT for the assessment of lung perfusion correlation to scintigraphy [J]. *Eur J Radiol*, 2008, 68(3): 369-374.
- [13] ZHANG L J, WANG Z J, ZHOU C S. Evaluation of pulmonary embolism in pediatric patients with nephrotic syndrome with dual energy CT pulmonary angiography [J]. *Acad Radiol*, 2012, 19(3): 341-348.
- [14] 周运锋, 史河水, 崔立明, 等. 双源 CT 双能量肺灌注成像对肺栓塞的诊断和临床应用价值 [J]. *放射学实践*, 2012, 27(1): 36.

(童颖丹 编辑)