

## · 胸部影像学 ·

## 闭塞性与非闭塞性肺栓塞双源 CT 双能量肺灌注成像的初步研究

耿园园, 焦亚彬, 李培秀, 张玉, 张磊, 冯长明

**【摘要】** 目的:探讨急性肺栓塞(PE)患者双源 CT 肺动脉成像(CTPA)显示的闭塞性与非闭塞性栓子在双源 CT 双能量肺灌注成像(DEPI)的视觉分析法及半定量分析的初步研究。方法:搜集本院 2015 年 6 月—2017 年 1 月经 CTPA 及 DEPI 扫描确诊的 31 例急性 PE 患者的病例资料。分析 CTPA,记录 PE 栓子的数量、分布部位及栓塞类型。分析 DEPI,分别计算每个栓子栓塞区与对照区肺组织灌注 CT 值的差值( $\Delta$ CT 值)。结果:将 CTPA 所示栓子按其分布部位及栓塞程度分为四型:中央型闭塞型、中央型非闭塞型、周围型闭塞型、周围型非闭塞型。DEPI 视觉分析法:闭塞型组中,表现为灌注减低、灌注轻度减低、灌注不变的比例为 78.57%(99/126)、21.43%(27/126)、0.00%(0/126)。非闭塞组中,其比例分别为 19.70%(26/132)、34.09%(45/132)、46.21%(61/132)。中央型闭塞型、中央型非闭塞型、周围型闭塞型、周围型非闭塞型视觉阳性率分别为 100.00%(85/85)、66.11%(66/108)、100.00%(41/41)、20.83%(5/24)。DEPI 半定量分析:闭塞型与非闭塞型间差异具有统计学意义[(64.59±12.10)HU vs (33.12±9.72)HU,  $t=22.968, P<0.01$ ];中央型闭塞型与中央型非闭塞型、周围型闭塞型与周围型非闭塞型间差异均具有统计学意义[分别为(70.12±13.55)HU vs (36.23±7.87)HU,  $t=20.506, P<0.01$ ; (53.12±14.64)HU vs (19.12±5.77)HU,  $t=13.220, P<0.01$ ]。结论:闭塞型栓子往往引起灌注异常,而非闭塞型栓子,受多种因素影响,DEPI 呈现多样化。双源 CTPA 联合 DEPI 视觉分析及半定量分析能够对 PE 治疗前评估提供更加全面、客观的依据。

**【关键词】** 肺栓塞; 体层摄影术, X 线计算机; 肺动脉成像; 肺灌注成像

**【中图分类号】** R814.42; R563.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)11-1148-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.11.010

**Preliminary study on lung perfusion imaging in acute occlusive and non-occlusive pulmonary embolisms** GENG Yuan-yuan, JIAO Ya-bin, LI Pei-xiu, et al. Department of Radiology, China National Petroleum Corporation Central Hospital, Hebei 065000, China

**【Abstract】 Objective:** The purpose of this study was to investigate the visual analysis and semi-quantitative analysis of dual energy CT lung perfusion imaging (DEPI) in acute occlusive and non-occlusive pulmonary embolisms (PE). **Methods:** Consecutive 31 patients with acute PE diagnosed by CT pulmonary angiography (CTPA) and DEPI were recruited between June 2015 and January 2017. Radiologists visually evaluated the PE numbers, distribution locations (central or peripheral) and its nature (occlusive and non-occlusive) on CTPA. DEPI visual analysis and semi-quantitative analysis in different types of PE evaluated by CTPA were analyzed statistically. **Results:** Four types of PE (central occlusive PE, central non-occlusive PE, peripheral occlusive PE and peripheral non-occlusive PE) were classified. The visual analysis of DEPI representing perfusion defects, slightly perfusion reduction and perfusion preservation were 78.57% (99/126), 21.43% (27/126), and 0.00% (0/126) in the occlusive group, 19.70% (26/132), 34.09% (45/132), and 46.21% (61/132) in the non-occlusive group, respectively. Comparing with CTPA as a standard reference, the positive rates of DEPI visual analysis were 100.00% (85/85), 66.11% (66/108), 100.00% (41/41), and 20.83% (5/24) in four groups respectively. In the occlusive group and non-occlusive group, mean difference of CT values, with significant differences [(64.59±12.10)HU vs (33.12±9.72)HU,  $t=22.968, P<0.01$ ]. In the groups of central occlusive PE and central non-occlusive PE, peripheral occlusive PE and peripheral non-occlusive PE, the mean difference of CT values, also with significant differences [(70.12±13.55)HU vs (36.23±7.87)HU,  $t=20.506, P<0.01$ ; (53.12±14.64)HU vs (19.12±5.77)HU,  $t=13.220, P<0.01$ ]. **Conclusion:** Occlusive PE often manifest as perfusion defect, while non-occlusive PE varies, influenced by many factors. The combination of CTPA and DEPI can offer more comprehensive information in the PE therapeutic evaluation.

**【Key words】** Pulmonary embolism; Tomography, X-ray computed; Pulmonary angiography; Lung perfusion imaging

双源 CT 双能量肺灌注成像 (dual energy lung

perfusion imaging, DEPI) 已较广泛地应用于肺栓塞 (pulmonary embolism, PE)<sup>[1-3]</sup>。有国外文献报道 DEPI 肺血流量容积 (lung perfusion blood volume, lung PBV) 的定量分析可以为评估肺灌注情况提供客观依据<sup>[4]</sup>, 而目前罕有文献报道闭塞性与非闭塞性 PE

作者单位: 065000 河北, 中国石油天然气集团公司中心医院影像科

作者简介: 耿园园 (1984-), 女, 河北邯郸市人, 硕士, 主治医师, 主要从事心胸影像学诊断工作。

通讯作者: 李培秀, E-mail: lipeixiu@aliyun.com

的 DEPI 对比研究,本文旨在初步研究闭塞性与非闭塞性 PE 的 DEPI 视觉分析及半定量对比研究,并与双源 CT 肺动脉成像(computed tomography pulmonary angiography,CTPA)相结合。

## 材料与方 法

### 1. 一般资料

搜集本院 2015 年 6 月—2017 年 1 月经 CTPA 及 DEPI 扫描确诊的 PE 患者 31 例,其中男 19 例,女 12 例,年龄 35~76 岁,平均 55.6 岁。临床主要表现为咳嗽、胸闷、胸痛、呼吸困难等,其中 15 例患者合并下肢深静脉血栓形成。纳入标准:既往无 PE 病史,无碘对比剂过敏史、无肝肾功能不全、无溶栓及抗凝禁忌证。排除标准:临床诊断可疑的慢性 PE。

### 2. 检查方法

采用 Siemens Somatom Definition 双源螺旋 CT 机,分别行平扫及双能量扫描。CT 平扫:常规序列扫描,层厚 5 mm。双能量扫描:平扫完成后直接进行双能量扫描。球管 A:管电压 140 kV,管电流 55 mA,视野 550 mm×550 mm;球管 B:管电压 80 kV,管电流 210 mA,视野 260 mm×260 mm。准直器宽度为 64×1.2 mm;螺距 0.5;球管转速 0.33 s/r,厚度 0.75 mm。采用双筒高压注射器以约 4 mL/s 的流率注射对比剂碘比乐(370 mg I/mL)35~45 mL,随后以 4 mL/s 的流率注射生理盐水 30 mL。采用阈值触发法,将兴趣区(region of interest, ROI)设在上腔静脉,当其浓度达到 100 HU 时,再延迟 5 s 后扫描自动开始。扫描方向为头足方向,扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。平扫及双能量扫描均采用实时曝光剂量调节(Care Dose 4D)。双能量扫描后共重建出 3 组图像,分别为 140 kV、80 kV 及二者按 3:7 的比例融合的图像。

### 3. 图像后处理

分析 CTPA,记录 PE 栓子的分布部位、数量及栓塞类型。若栓子所对应区域合并一些影响肺灌注的因素,如伪影类(对比剂局部束硬化伪影、运动伪影)、一些肺内病变等<sup>[5]</sup>,则不将该栓子纳入研究组。DEPI:在工作站上打开 Syngo Dual Energy 软件,应用 lung PBV 计算出彩色碘分布图,即灌注图像。分别通过横轴面、冠状面、矢状面图像观察肺部灌注情况,并以 CTPA 为参照,利用勾画 ROI 法分别测量 CTPA 上所示每个栓子所对应区域(即栓塞区)及对侧或邻近正常肺野(即对照区)的肺组织灌注 CT 值(图 1)。测量遵循原则:在明确为 PE 引起灌注异常的区域勾画 ROI,尽量选择较均匀的肺野,ROI 直径约 0.2~1.0 cm,ROI 面积在 100 mm<sup>2</sup> 以内,以成功避开邻近小血管为宜<sup>[6]</sup>,每个栓塞区及对照区取 3 个 ROI 测量

后取平均值(图 1),分析 DEPI 时需与 CTPA 以及平扫对照。

### 4. 图像分析

按栓子分布部位分为:①中央型 PE,指发生于肺动脉干、左右肺动脉、叶肺动脉、段肺动脉的 PE。②周围型 PE,发生于亚段及其以下分支的 PE。如果栓子位于肺段并向亚段以下延伸,那将该栓子视为肺段。

按栓子栓塞程度分为:①闭塞型,即完全栓塞,表现为肺动脉完全截断,管腔内无对比剂充盈;②非闭塞型,部分栓塞。

DEPI 诊断标准:①视觉分析法,与对照区相比,栓塞区出现灌注减低即为阳性(+),否则视为阴性(-)。依据灌注减低不同程度分为:灌注不均匀或灌注轻度减低;灌注减低。②半定量分析法,计算不同类型 PE 栓子所示栓塞区与对照区肺组织灌注 CT 值的差值(即 $\Delta$ CT 值)。

### 5. 统计学处理

所有统计学处理均采用 SPSS 11.5 进行,计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示。组间 $\Delta$ CT 值比较采用独立样本 *t* 检验,以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 1. PE 的栓塞程度

31 例 PE 患者 CTPA 发现栓子共 258 个,闭塞型有 126 个,非闭塞型有 132 个。故按照部位及栓塞程度共分为四组:中央型 PE 闭塞型、中央型 PE 非闭塞型、周围型 PE 闭塞型、周围型 PE 非闭塞型。其对应的栓子数量分别为 85、108、41、24 个(表 1)。

表 1 CTPA 所示 PE 栓子部位、数目及栓塞类型

| 部位       | 数量<br>(n) | 栓塞类型 |      |
|----------|-----------|------|------|
|          |           | 闭塞型  | 非闭塞型 |
| 中央型 PE   |           |      |      |
| 肺动脉干     | 2         | 1    | 1    |
| 左右肺动脉    | 25        | 10   | 15   |
| 叶肺动脉     | 60        | 24   | 36   |
| 段肺动脉     | 106       | 50   | 56   |
| 周围型 PE   |           |      |      |
| 亚段及以下肺动脉 | 65        | 41   | 24   |
| 合计       | 258       | 126  | 132  |

### 2. DEPI 视觉分析法

在闭塞型组中,表现为灌注减低、灌注轻度减低、灌注不变的比例为 78.57%(99/126)、21.43%(27/126)、0.00%(0/126)。非闭塞型组中,其比例分别为 19.70%(26/132)、34.09%(45/132)、46.21%(61/132)。笔者发现:闭塞型组 DEPI 视觉阳性率达 100.00%(图 2~3),而非闭塞性栓子视觉阳性率仅为 53.79%,有 46.21%非闭塞性栓子对应 DEPI 灌注并无异常改变(图 4)。中央型 PE 闭塞型、中央型 PE 非

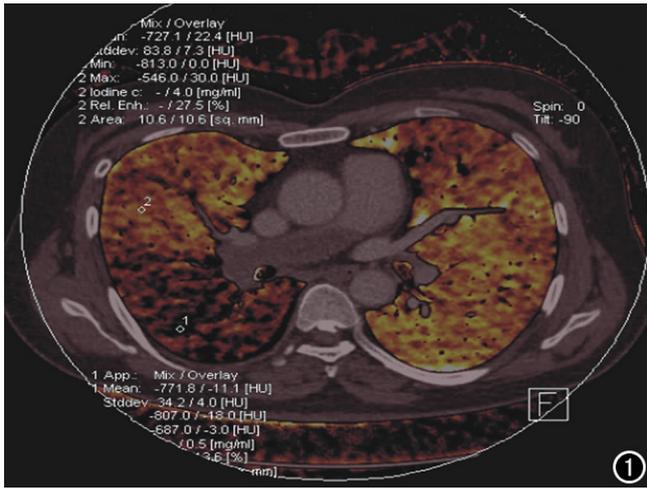


图 1 DEPI 图像后处理示意图。在 CTPA 所示每个栓子所对应的栓塞区勾画 ROI 测量 CT 值,在同一层面邻近正常肺野再次勾画 ROI,计算栓塞区与对照区的  $\Delta$ CT 值。

闭塞型、周围型 PE 闭塞型、周围型 PE 非闭塞型视觉阳性率分别为 100.00% (85/85)、66.11% (66/108)、100.00% (41/41)、20.83% (5/24),见表 2。

表 2 PE DEPI 视觉分析法结果

| 类型   | 视觉分析法   |        |      |
|------|---------|--------|------|
|      | 灌注减低或缺损 | 灌注轻度减低 | 灌注不变 |
| 中央型  |         |        |      |
| 闭塞型  | 67      | 18     | 0    |
| 非闭塞型 | 25      | 41     | 42   |
| 周围型  |         |        |      |
| 闭塞型  | 32      | 9      | 0    |
| 非闭塞型 | 1       | 4      | 19   |

### 3. DEPI 半定量分析

闭塞型与非闭塞型两组  $\Delta$ CT 值分别为  $(64.59 \pm 12.10)$  HU 和  $(33.12 \pm 9.72)$  HU,差异具有统计学意义 ( $t=22.968, P<0.01$ );中央型闭塞型  $(70.12 \pm 13.55)$  HU 与中央型非闭塞型  $(36.23 \pm 7.87)$  HU、周围型闭塞型  $(53.12 \pm 14.64)$  HU 与周围型非闭塞型  $(19.13 \pm 5.78)$  HU,两组间差异均具有统计学意义 (分别为  $t=20.506, P<0.01; t=13.220, P<0.01$ )。

### 讨论

CTPA 目前被公认为临床可疑 PE 的首选检查方

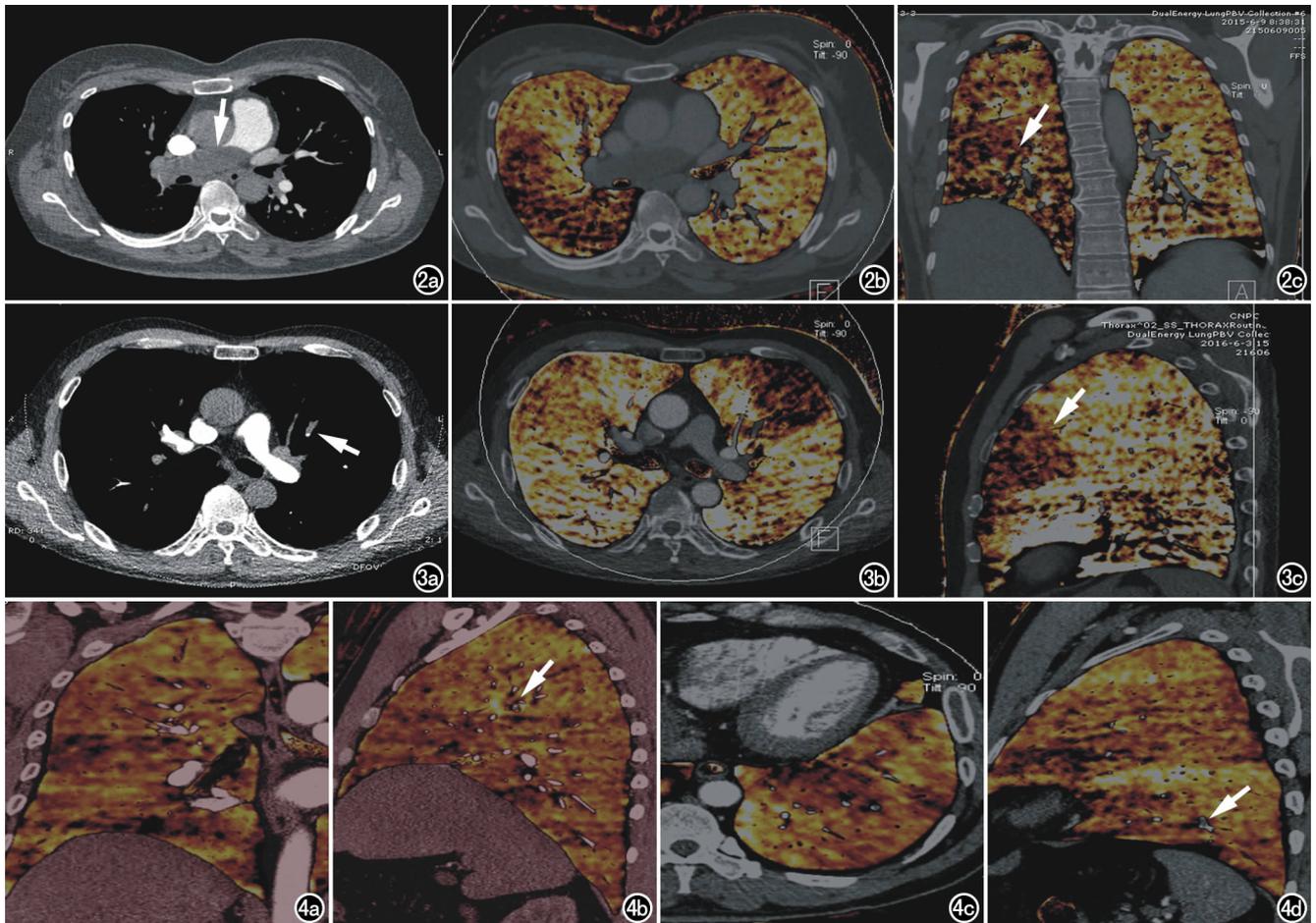


图 2 女,53 岁。a) 横轴面 CTPA 示右肺动脉干闭塞型栓子(箭); b) DEPI 横轴面; c) DEPI 冠状面示栓塞区灌注减低(箭)。  
图 3 男,50 岁。a) 横轴面 CTPA 示左上肺前段闭塞型栓子(箭); b) DEPI 横轴面; c) DEPI 矢状面示楔形灌注减低(箭)。  
图 4 男,44 岁。a) DEPI 冠状面; b) DEPI 矢状面示右上肺局限非闭塞型小栓子(箭),灌注未见异常; c) DEPI 横轴面; d) DEPI 矢状面示左下肺非闭塞型小栓子(箭),灌注无减低。

法<sup>[7-8]</sup>,CTPA 能够很好地显示血管以确定 PE 的位置及狭窄程度,但它不能提供肺实质的血流灌注分布状态,然而,PE 的形态学及功能学信息对病情的评估具有同样重要的作用<sup>[9]</sup>,已有不少文献报道双源 CTPA 联合 DEPI 两种技术在 PE 诊断中的价值要优于单纯 CTPA,但至今罕有文献报道闭塞性与非闭塞性 PE DEPI 的定量对比研究。本研究即是通过将 CTPA 及 DEPI 两种技术相结合的方法,应用视觉分析法、半定量分析法初步研究 CTPA 所示的闭塞性与非闭塞性栓子的肺灌注情况。

本研究中,闭塞性栓子均表现为灌注减低或灌注轻度减低(阳性率达 100.00%),非闭塞性栓子视觉阳性率仅为 53.79%。该研究初步得出相当一部分非闭塞性 PE 栓子对应 DEPI 灌注无异常改变,和之前 Thieme<sup>[10]</sup>等报道得出相似的视觉分析结果。本研究除视觉分析外,还进行了半定量分析。

本研究对肺灌注的定量分析中并未选取栓塞区间 CT 值的比较,而是选择栓塞区与对照区肺组织灌注 CT 值的差值来进行比较。结果表明,闭塞型与非闭塞型,中央闭塞型与中央非闭塞、周围闭塞型与周围非闭塞型间差异均具有统计学意义。这进一步证实,闭塞性栓子,无论是中央型,还是外周型,往往会出现灌注缺损。而非闭塞性栓子,由于受栓子本身所在部位、非闭塞的严重程度、有无血流灌注代偿<sup>[4]</sup>(如支气管动脉等)等多种因素影响,使得 DEPI 肺灌注图呈现多样化。有文献报道<sup>[6]</sup>,慢性 PE 常有血流灌注的代偿,如支气管动脉等,而本研究对象均为急性 PE,故可不用强调侧枝代偿对其影响。

本研究得出,外周肺动脉血管灌注并不能单纯靠 CTPA 上反映的栓子有无而反映出来。Clark 等<sup>[11]</sup>提示肺动脉床开放评估应纳入血栓负荷评分,作为其在评估 PE 严重性的指标之一。而本研究,提示 DEPI lung PBV,可以作为评估 PE 严重程度的指标之一。

已有一些文献报道 DEPI 联合 CTPA 对急性 PE 治疗前后评估能够提供更加全面、客观的依据。而临床上急性 PE 若未及时诊治,将会转化为慢性 PE。近年来,对慢性 PE 患者采取肺动脉内膜切除术和经皮腔内血管成形术(PTA)已取得不错疗效。而目前肺动脉内膜切除术和 PTA 的疗效主要是通过测量一些血流动力学的参数,如肺动脉压、肺血管阻力等,或许肺灌注可能会是另一有用的辅助指标,这有待于今后的进一步研究。

本研究存在以下局限性:①本研究为单中心研究,病例数目相对较少;②对 PE 栓子按部位不同仅大致分为两类(肺段及其以上、亚段及其以下),未根据具体部位再细分类,按栓子栓塞程度也仅分为闭塞型和非闭塞型;③在分析 DEPI 时存在一定主观性。

对闭塞型、非闭塞型 PE 栓塞区与对照区肺组织灌注 CT 值的差值进行半定量要比 CTPA 仅显示栓子更具临床评估意义,闭塞性栓子往往引起灌注异常,而非闭塞型栓子受多种因素影响,DEPI 呈现多样化。CTPA、DEPI 两种技术联合应用能够对 PE 治疗前疗效评估提供更加客观、全面的依据。

#### 参考文献:

- [1] Okada M, Kunihiro Y, Nakashima Y, et al. Added value of lung perfused blood volume images using dual-energy CT for assessment of acute pulmonary embolism[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(1): 172-177.
- [2] 刘晓斌, 龙森森, 葛夕洪, 等. 双源双能量 CT 肺灌注缺损指数和肺栓塞指数评价肺栓塞的一致性分析[J]. *实用放射学杂志*, 2014, 30(7): 1121-1124.
- [3] 杨静, 张龙江, 唐春香, 等. 双能量 CT 评估急性肺栓塞治疗疗效[J]. *放射学实践*, 2016, 31(9): 817-820.
- [4] Sueyoshi E, Tsutsui S, Hayashida T, et al. Quantification of lung perfusion blood volume (lung PBV) by dual-energy CT in patients with and without pulmonary embolism: preliminary results[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 80(3): 505-509.
- [5] 马延贺, 张洪, 杨雅朋, 等. 非肺栓塞灌注缺损的双能量 CT 肺灌注成像表现及病因分析[J]. *放射学实践*, 2015, 30(3): 240-244.
- [6] Ikeda Y, Yoshimura N, Hori Y, et al. Analysis of decrease in lung perfusion blood volume with occlusive and non-occlusive pulmonary embolisms[J]. *Eur J Radiol*, 2014, 83(12): 2260-2267.
- [7] 王燕林, 木合拜提·买合苏提, 刘文亚, 等. CT 肺动脉造影对大面积肺栓塞严重程度的评估[J]. *中国医学影像学杂志*, 2016, 24(1): 8-11.
- [8] 乔红艳, 王锡明, 程召平, 等. 双源 CT Flash 模式肺动脉成像技术中对比剂应用的优化方案研究[J]. *中国医学影像学杂志*, 2014, 22(8): 594-597.
- [9] 吴华伟, 程杰军, 李剑颖, 等. CT 能谱成像定量碘基物质图对肺栓塞的诊断价值[J]. *中华放射学杂志*, 2011, 45(8): 727-730.
- [10] Thieme SF, Johnson TR, Lee C, et al. Dual-energy CT for the assessment of contrast material distribution in the pulmonary parenchyma[J]. *AJR*, 2009, 193(1): 144-149.
- [11] Clark AR, Milne D, Wilsher M, et al. Lack of functional information explains the poor performance of 'clot load scores' at predicting outcome in acute pulmonary embolism[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2014, 190(1): 1-13.

(收稿日期:2017-06-27)