

## 等渗低浓度对比剂肺动脉 CT 血管成像临床应用研究

马丽娅, 周文, 胡琼洁, 万维佳, 李震, 胡道予

**【摘要】** 目的: 评估等渗低浓度对比剂在肺动脉 CT 血管成像(CTPA)中应用的可行性。方法: 临床疑似肺动脉栓塞行 CTPA 检查的患者 60 例, 随机等分为低浓度组和对照组。低浓度组和对照组对比剂分别为碘克沙醇 40 mL (270 mg I/mL) 或碘普胺 40 mL (370 mg I/mL)。对两组的图像质量评分、平均 CT 值、噪声值、图像信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(DLP)进行正态分布检验, 符合正态分布则应用独立样本 t 检验, 不符合正态分布则使用秩和检验, 应用  $\chi^2$  检验比较两组间上腔静脉硬化伪影显示率和肺动脉栓塞诊断阳性率差异。结果: 低浓度组和对照组受试者的年龄、性别、身高、体重及 BMI 差异均无统计学意义。两组图像质量评分、腔静脉评分、肺动脉主干及左、右干平均 CT 值、噪声、SNR 及 CNR 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。低浓度组上腔静脉 CT 值低于对照组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。低浓度组的辐射剂量 CTDIvol 和 DLP 与对照组相比差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结论: 等渗低浓度对比剂 CTPA 图像质量满足诊断要求, 减少了患者碘负荷。

**【关键词】** 肺动脉; 对比剂; 血管成像; 体层摄影术, X 线计算机

**【中图分类号】** R814.42; R563.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2015)11-1102-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.11.010

**Clinical study of isotonic low concentration iodine contrast used in CT multi-slice spiral CT for pulmonary angiography** MA Li-ya, ZHOU Wen, HU Qiong-jie, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430030, P. R. China

**【Abstract】 Objective:** The aim of this study was to evaluate the feasibility of isotonic low concentration iodine contrast in computed tomography pulmonary angiography (CTPA) in clinical applications. **Methods:** Sixty patients with clinically suspected pulmonary embolism undergoing pulmonary CTA were randomly divided into two groups with different iodine concentrations for CT scan; low concentration with iodixanol (270mg I/mL) and regular concentration with Iolomide (370mg I/mL) as control. The administrated dose was 40mL for each patient in both groups. Parameters, such as scores of imaging quality, scores of the superior vena cava, the average CT value, SNR and CNR of pulmonary trunk, left and right pulmonary trunk, noise, SNR, CNR, CTDIvol and DLP were documented in terms of statistical evaluation. Kolmogorov-Smirnov test was used to check whether the data were normal distributed. If so, they were measured using independent-samples *t*-test. Otherwise Mann-Whitney U test was introduced. And the occurrence rate of iodine contrast artifacts of the superior vena cava sclerosis and the positive visualization rate of pulmonary embolism were compared between the two groups by using of Chi-square test. **Results:** There was no significant statistical difference found in sex, age, height, weight and body mass index (BMI) between the two groups ( $P > 0.05$ ). Neither was the positive rate of PE, imaging quality, the scores of superior vena cava, the average CT value, SNR and CNR of pulmonary trunk, left and right pulmonary trunk between the two groups ( $P > 0.05$ ). The average CT value of superior vena cava in low concentration group was lower than that in control group, showing statistical significance ( $P < 0.05$ ). The CTDIvol and DLP in both groups also had no significant difference ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** The imaging quality of CTPA using isotonic low concentration iodine contrast can be satisfied for diagnosing purposes and thus the iodine dosage can be reduced.

**【Key words】** Pulmonary artery; Contrast medium; Angiography; Tomography, X-ray computed

肺动脉栓塞(pulmonary embolism, PE)是临床常见胸部急危重症, 病死率较高。随着多排螺旋 CT 在临床上的广泛应用, 肺动脉 CT 血管成像(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)因其快速性、便利性及无创性目前已在世界范围内成为 PE

影像诊断的首选方法<sup>[1]</sup>。目前临床广泛应用的 CTPA 多应用高千伏(120 kV 为主, 兼有 120~140 kV)和大剂量(60~100 mL)高渗(370 mg I/mL 等)碘对比剂, 但这些方法辐射剂量及碘负荷较大, 对患者健康有潜在威胁。据研究报道<sup>[2]</sup>, 随着对比剂剂量的增加, 对比剂肾病的发生率不断上升。此外, 还可能造成心血管系统及其它全身性副作用。故本文在低对比剂剂量、低辐射的基础上, 探索适合临床常规应用的等渗、低浓度对比剂 CTPA 的可行性。

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 马丽娅(1987-), 女, 湖北京山人, 硕士, 住院医师, 主要从事 CT 血管影像研究及诊断工作。

通讯作者: 胡道予, E-mail: cjr.hudaoyu@vip.163.com

基金项目: 国家自然科学基金(811102073)

## 材料与方法

### 1. 病例选择

选择 2013 年 10 月—2015 年 5 月临床怀疑或为排除 PE、要求行 CTPA 检查的门诊或住院患者 60 例。男 38 例,女 22 例,年龄 24~72 岁,平均(52.5±12.9)岁。按照随机数字表法等分为低浓度组(采用低千伏和等渗低浓度对比剂)和对照组(采用低千伏和高渗对比剂)各 30 例。所有患者体质量指数(body mass index, BMI) < 28 kg/m<sup>2</sup> (排除肥胖患者)。临床症状主要表现为胸闷、胸痛(32 例)和下肢深静脉血栓形成(26 例)。两组间患者性别、年龄和 BMI 差异无统计学意义(表 1)。

表 1 两组患者基本资料比较

指标	低浓度组	对照组	检验值	P 值
例数	30	30		
性别(男/女)	17/13	20/10	0.635*	0.426
年龄(岁)	50.9±14.1	54.1±11.6	-0.972	0.335
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.3±3.7	23.3±3.6	0.002	0.998

注: \* 为卡方检验  $\chi^2$  值;  $P > 0.05$  为差异无统计学意义。

### 2. 扫描方案

采用 Toshiba Aquilion ONE 320 CT 扫描机,低浓度组采用等渗低浓度对比剂(270 mg I/mL, 碘克沙醇,通用电气药业上海有限公司)40 mL;对照组采用高渗对比剂(370 mg I/mL, 碘普胺,拜耳医药保健)40 mL。CTPA 扫描采用团状跟踪技术触发的方法。扫描范围为胸廓入口至肋弓下缘。使用双筒双流 MEDRAD 高压注射器,经肘静脉以 5.0 mL/s 流率注射预混液 20 mL(20%对比剂,80%生理盐水),然后不间断依次以 5.0 mL/s 流率注射 36 mL 对比剂及 30 mL 生理盐水。将 ROI 置于肺动脉主干,阈值设定为 120 HU,开始注射预混液时即启动扫描,每 1 秒扫描 1 次,自动触发后继续注射 36 mL 对比剂及 30 mL 生理盐水,同时将扫描点移至起点(胸廓入口,移床时间 5~5.5 s)并扫描,扫描时间 2~3 s。本研究患者图像 AIDR 迭代水平平均选择为 strong。低浓度组及对照组扫描参数:100 kV,400 mA。其他参数:层厚 0.5 mm,扫描速度 0.5 s/r,螺距 0.994。

### 3. 图像后处理及分析

所有图像均传至 Toshiba Aquilion 工作站,由两名有经验的 CT 诊断医师在工作站上运用容积再现(VR)、多平面重组(MPR)、最大密度投影(MIP)等后处理技术显示肺动脉及分支。由两名有 10 年以上 CT 阅片经验的放射科医师进行分析,用 5 分法目测评价图像质量,取平均值。评分标准:清晰显示第 6 级肺动脉分支 5 分,清晰显示第 5 级肺动脉分支 4 分,清晰显示第 4 级(亚段)肺动脉 3 分,清晰显示第 3 级肺

动脉分支 2 分,显示叶动脉、左右肺动脉干及肺动脉主干 1 分。3 分及以上为合格。观察每组出现上腔静脉周围条纹伪影的病例数并进行评分:无伪影 0 分,有伪影但不影响诊断(局限在上腔静脉周围)1 分,有伪影影响诊断(放射至右上叶肺动脉干)2 分,手动画出同层面的上腔静脉区并测定其平均 CT 值(均数±标准差)。当肺动脉主干及(或)分支内可见等密度充盈缺损时认为有肺动脉栓塞,由两名医师独立阅片诊断有否肺动脉栓塞,当意见不一致时,共同探讨给出一致意见。

测量非栓塞区域及栓塞近端区域的肺动脉干(ROI 面积 100 mm<sup>2</sup>)、左、右肺动脉(1 级,ROI 面积 100 mm<sup>2</sup>)CT 值,计算其平均 CT 值(均数±标准差)。在下肺静脉层面,胸前空气区左、中、右 3 个区域取 3 个面积为 100 mm<sup>2</sup> 的 ROI,分别测量标准差,取其均值作为背景噪声。分别测量双侧的脊柱旁肌的 CT 值,所得数据取算术平均值。上述测量由两名医师独立测量。计算图像信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)。SNR=肺动脉平均 CT 值/背景噪声, CNR=(肺动脉平均 CT 值-脊柱旁肌平均 CT 值)/背景噪声。辐射剂量:CT 机自动测定扫描的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(DLP)。

### 4. 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析,对两组的图像质量评分、上腔静脉 CT 值、肺动脉主干及左右肺动脉平均 CT 值、噪声值、SNR、CNR、CTDIvol、DLP 和上腔静脉伪影评分分别进行正态分布检验,如符合正态分布,两组则进行独立样本 *t* 检验,不符合正态分布则进行秩和检验;采用卡方检验比较两组间诊断肺栓塞阳性率的差异,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。两名医师图像质量评分一致性分析采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)。

## 结果

所有患者图像均能显示 4~6 级分支(图 1~2),两组间图像质量评分差异无统计学意义,且两名阅片者的评分具有良好的一致性(低浓度组 ICC=0.892,对照组 ICC=0.935,  $P$  值均 < 0.05)。低浓度组与对照组在上腔静脉对肺动脉的影响评分差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),但低浓度组上腔静脉 CT 值低于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。低浓度组中有 20 例上腔静脉评分为 0~1 分(图 1c),对肺动脉诊断不造成影响,10 例评分为 2 分,对右肺动脉干构成影响,而对照组中 18 例上腔静脉评分为 2 分(图 2c),12 例为 0~1 分。低浓度组与对照组在肺动脉主干及左、右

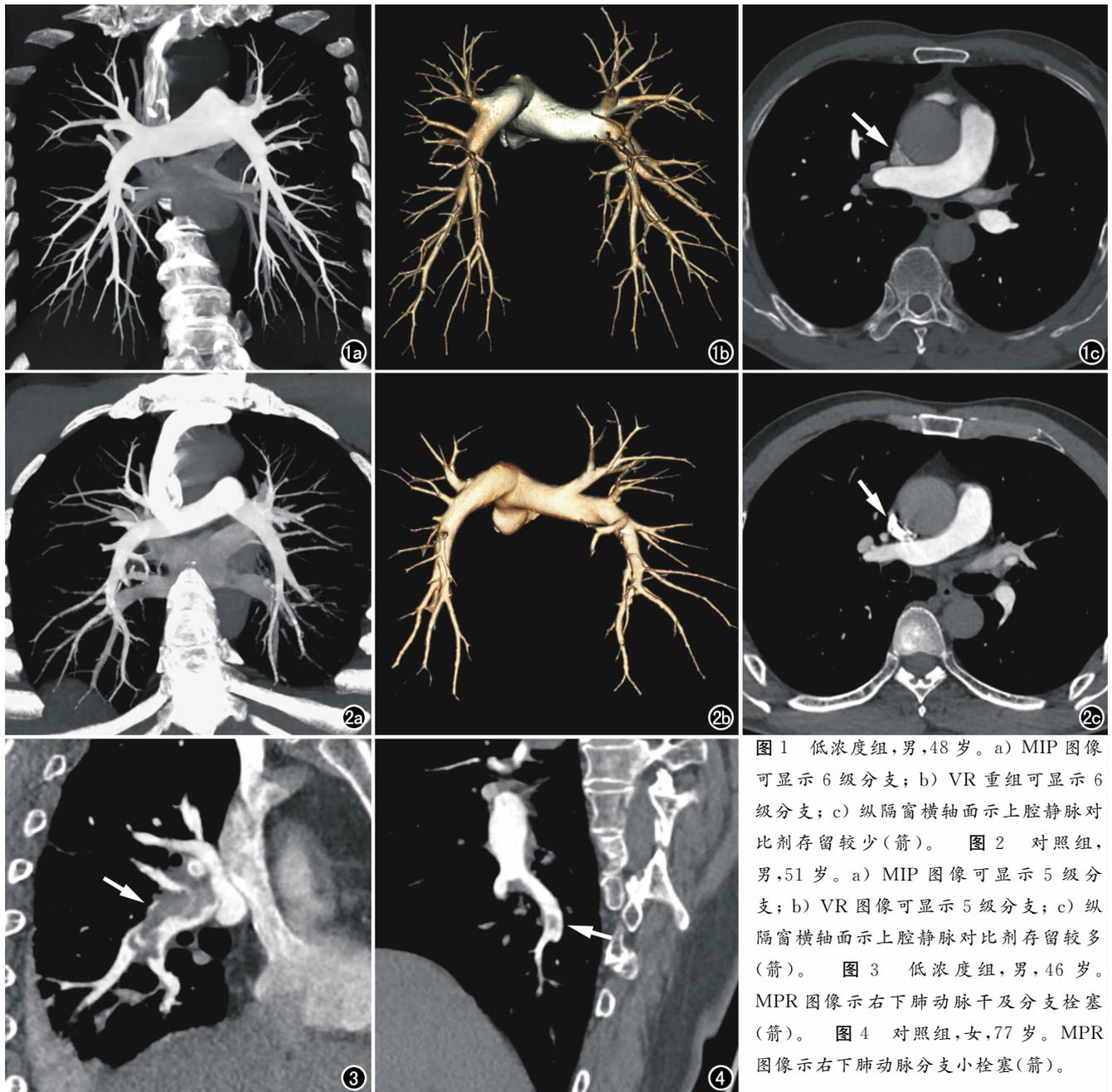


图 1 低浓度组,男,48 岁。a) MIP 图像可显示 6 级分支; b) VR 重组可显示 6 级分支; c) 纵隔窗横轴面示上腔静脉对比剂存留较少(箭)。

图 2 对照组,男,51 岁。a) MIP 图像可显示 5 级分支; b) VR 图像可显示 5 级分支; c) 纵隔窗横轴面示上腔静脉对比剂存留较多(箭)。

图 3 低浓度组,男,46 岁。MPR 图像示右下肺动脉干及分支栓塞(箭)。

图 4 对照组,女,77 岁。MPR 图像示右下肺动脉分支小栓塞(箭)。

干平均 CT 值、噪声、SNR 及 CNR 差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。低浓度组及对照组辐射剂量差异均无统计学意义(表 2、3)。

表 2 两组图像质量及辐射剂量比较

指标	低浓度组	对照组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
图像评分(分)	4.5±0.5	4.3±0.5	-1.281*	0.200
噪声	8.3±1.7	7.9±1.5	0.837	0.406
CTDIvol(mGy)	10.5±0.6	10.3±0.7	-1.423*	0.155
DLP(mGy·cm)	432.8±32.4	434.1±44.9	-0.105	0.908
上腔静脉 CT 值(HU)	778.7±478.3	1308.9±795.8	-3.127	0.003
上腔静脉评分(例)			-1.767*	0.077
0 分	3	3		
1 分	9	17		
2 分	18	10		

注: \* *Z* 值。

肺动脉栓塞阳性率:低浓度组中,CTPA 显示肺动脉无栓塞 18 例,有栓塞 12 例(图 3),其中 2 例累及 1

表 3 两组肺动脉主干、左干及右干图像质量比较

指标	低浓度组	对照组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
肺动脉主干				
CT 值(HU)	494.8±99.9	558.2±147.1	-1.953	0.056
SNR	62.5±20.2	74.2±27.6	-1.878	0.066
CNR	57.5±18.8	69.0±26.7	-1.935	0.058
肺动脉左干				
CT 值(HU)	472.8±117.1	522.5±149.0	-1.437	0.156
SNR	59.8±22.4	69.6±27.3	-1.513	0.136
CNR	54.8±20.8	64.4±26.4	-1.559	0.125
肺动脉右干				
CT 值(HU)	482.7±110.5	525.6±143.0	-1.298	0.200
SNR	61.3±22.8	69.8±26.4	-1.334	0.187
CNR	56.3±21.3	64.6±25.5	-1.369	0.176

级及以下分支,4 例累及 2 级及以下分支,6 例累及 3 级及以下分支,对照组中 CTPA 显示肺动脉无栓塞 15 例,有栓塞 15 例(图 4),其中 1 例累及 1 级及以下分

支,5 例累及 2 级及以下分支,9 例累及 3 级及以下分支。肺动脉栓塞影像征象主要表现为肺动脉主干及分支内软组织密度充盈缺损,部分管腔变窄或呈截断状。低浓度组阳性率为 40%,对照组为 50%,两组间无统计学差异( $\chi^2=0.606, P=0.436$ )。

## 讨 论

碘克沙醇(270 mg I/mL)是一种非离子型、等渗、二聚体对比剂,在血管内注射应用时有良好的耐受性,而且与其它单聚非离子型的对比剂相比,其副作用的发生率降低<sup>[3]</sup>。碘克沙醇(270 mg I/mL)注入血管后易于与血液混匀,能减少上腔静脉碘对比剂硬化伪影的产生。在以往研究中,行 CTPA 检查一般使用 80~150 mL 对比剂,其中有研究对比 30 mL 与 100 mL 碘克沙醇(320 mg I/mL)对比剂在 CTPA 的研究示两组不同剂量对临床诊断无明显差异<sup>[4]</sup>,从而为降低患者碘负荷提供了支持依据。而在冠脉 CT 血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)中,相对于 370 mg I/mL 浓度对比剂来说,使用 270 mg I/mL 对比剂不仅可以保障图像的质量,亦可降低碘负荷量及辐射剂量<sup>[5]</sup>。而在对血管扫描要求较高的患者,如 CABG(冠脉旁路移植)患者,270 mg I/mL 对比剂亦较 350 mg I/mL 对比剂有优势<sup>[6]</sup>。本研究中低浓度组碘负荷为 10.8 g,对照组碘负荷为 14.8 g,碘总量减少了 27%。在以 5.0 mL/s 的流率注射对比剂时,低浓度组为 1.35 g I/s,对照组组为 1.85 g I/s,前者低碘流率亦减少了肾脏的单位碘负荷。因此在其它因素不变的情况下,低浓度对比剂可大大减少进入患者血管的碘总量及碘流率。

本研究中低浓度组肺动脉主干、左干及右干 CT 值、SNR 及 CNR 均与对照组无明显统计学差异,在诊断肺动脉栓塞阳性率方面亦无统计学差异,由此可推断,与对照组应用的常规浓度对比剂相比,低浓度对比剂亦可常规应用于临床。

上腔静脉中剩余的高浓度对比剂会导致射束硬化伪影,进而对肺动脉栓塞的判断造成影响<sup>[7]</sup>。本研究显示,低浓度组上腔静脉评分(即对肺动脉成像诊断的影响程度)与对照组无统计学差异,但上腔静脉 CT 值较对照组低,差异有统计学意义,推断低浓度对比剂从某种程度上可能降低非目标血管内对比剂浓度,从而降低对目标血管的影响。

本研究在普通人群中统一使用 40 mL 对比剂,上腔静脉中存留较多对比剂,且每个个体的体重、BMI 有所差异,下一步研究可探究根据不同体重或 BMI 采用不同剂量的对比剂,在保证图像质量和诊断的同时减少患者碘负荷。

降低 CT 扫描辐射剂量可通过降低管电压和降低管电流实现。理论上,在保持其他条件不变的情况下, $E=kV^2$ , $k$  为其他参数、系数,辐射剂量  $E$  与管电压  $V$  的平方成正比,100 kV 所接受的辐射剂量较常规剂量 120 kV 可下降 30.6%,所以本研究一律采用 100 kV 扫描。本研究中应用自适应迭代剂量减轻技术(adaptive iterative dose reduction, AIDR)可以降低图像的噪声,当 AIDR 迭代水平为 strong 时,肺动脉血管图像质量最佳。

CTPA 中增强过渡延迟时间(即 ROI 到达所设阈值与正式扫描开始之间的时间)是保证图像诊断质量的重要参数。目前所用的方法主要有两种——团状跟踪触发技术(bolus-tracking)和小剂量团注测试(test bolus)。团状跟踪触发技术中自动触发到扫描有一定的延迟时间(一般 4~7 s),且每例患者肺循环时间不同,因此其成功率受到一定影响,有研究表明在常规团状跟踪技术中 CTPA 肺动脉图像质量较差<sup>[8]</sup>。另一研究表明团状跟踪触发技术和小剂量团注测试两种方法所获得的图像质量无统计学差异,但小剂量团注测试法会增加对比剂剂量及预扫描的辐射剂量<sup>[9]</sup>。本研究改进团状跟踪技术触发方法,在两名从事 CT 扫描工作 10 年以上的技术员的探索下,使用高压注射器注射软件预混对比剂 20 mL(对比剂 4 mL 和生理盐水 16 mL)注射,其后不间断注射 36 mL 对比剂及 30 mL 生理盐水,设定触发阈值为 120 HU,同时将扫描点移至胸廓入口处并进行扫描,此过程时间约 5~5.5 s,用预混对比剂代替常规团状跟踪触发技术中自动触发后延迟扫描期间注射的纯对比剂,从而减少了对比剂的总剂量。相对于应用上腔静脉或左锁骨下静脉等非肺动脉监测方法,本研究直接监测肺动脉干,可减少受肺循环的影响。与传统常规团状测试法相比,本研究方法减少了测试时的对比剂剂量和辐射剂量。不同的报道触发阈值设定不同,为 100~140 HU<sup>[9-11]</sup>,本研究综合文献及技术临床经验,设定 CT 值阈值为 120 HU,取得较为满意结果。

综上所述,等渗、低浓度对比剂增强 CTPA 图像质量能满足临床诊断要求,与常规对比剂相比,能够减少患者的碘总量,从而减少不良反应发生的可能性。

## 参考文献:

- [1] Bozlar U, Gaughen JR, Nambiar AP, et al. Imaging diagnosis of acute pulmonary embolism[J]. Expert Rev Cardiovasc Ther, 2007, 5(3): 519-529.
- [2] Golshahi J, Nasri H, Gharipour M. Contrast-induced nephropathy: a literature review[J]. J Nephropathol, 2014, 3(2): 51-56.
- [3] Palmers Y, Kuhn FP, Petersen D, et al. Comparison in myelography between iodixanol 270 and 320mg I/mL and iotrolan 300mg I/mL; a multicentre, randomised, parallel-group, double-blind, phase

- III trial[J]. Eur Radiol, 2002, 12(3): 686-691.
- [4] Wu CC, Lee EW, Suh RD, et al. Pulmonary 64-MDCT angiography with 30mL of IV contrast material: vascular enhancement and image quality[J]. AJR, 2012, 199(6): 1247-1251.
- 5 Sun G, Hou YB, Zhang B, et al. Application of low tube voltage coronary CT angiography with low-dose iodine contrast agent in patients with a BMI of 26~30kg/m<sup>2</sup>[J]. Clin Radiol, 2015, 70(2): 138-145.
- [6] Wang H, Xu L, Zhang N, et al. Coronary computed tomographic angiography in coronary artery bypass grafts: comparison between low-concentration Iodixanol 270 and Iohexol 350[J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(1): 112-118.
- [7] Kerl JM, Bauer RW, Renker M, et al. Triphasic contrast injection improves evaluation of dual energy lung perfusion in pulmonary CT angiography[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): 483-487.
- [8] 张文明, 陈彬, 胡吉波, 等. 比较团注对比剂跟踪技术和小剂量团注测试技术在双能量 CT 肺灌注扫描中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(10): 892-897.
- [9] Kerl JM, Lehnert T, Schell B, et al. Intravenous contrast material administration at high-pitch dual-source CT pulmonary angiography: test bolus versus bolus-tracking technique[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(10): 2887-2891.
- [10] Rodrigues JC, Mathias H, Negus IS, et al. Intravenous contrast medium administration at 128 multidetector row CT pulmonary angiography: bolus tracking versus test bolus and the implications for diagnostic quality and effective dose[J]. Clin Radiol, 2012, 67(11): 1053-1060.
- [11] 刘荣华, 徐宇崇, 万维佳. 64 排 CT 多期双流混合注射跟踪法在肺动脉成像中的应用[J]. 放射学实践, 2014, 29(12): 1478-1480.

(收稿日期: 2015-09-15)

## 本刊网站及远程稿件处理系统投入使用

本刊网站与远程稿件处理系统已开发测试完毕,已于 2008 年 3 月 1 号正式开通投入使用。

作者进行网上投稿及查稿具体步骤如下:请登录同济大学医学期刊网站(<http://www.fsxsj.net>)点击“放射学实践”进入本刊网站首页 → 点击“作者投稿” → 按提示注册(请务必按系统提示正确填写个人信息,同时记住用户名和密码,以便查询稿件处理进度) → 用新注册的用户名和密码登录 → 点击“作者投稿”进入稿件管理页面 → 点击“我要投稿” → 浏览文件 → 上传文件(浏览文件后请点击后面的“上传”按钮,只有系统提示“稿件上传成功”方可进行下一步录入操作,文章须以 WORD 格式上传,图表粘贴在文章中) → 录入稿件标题、关键词等 → 最后点击“确定”即可完成投稿。投稿后请速寄审稿费(100 元/篇)以使稿件迅速进入审稿处理。

作者自投稿之日起可不定期登录本刊网站查看稿件处理进度,不必打电话或发邮件查询,具体步骤如下:用注册过的用户名和密码登录 → 点击“作者查稿”进入稿件管理页面 → 点击左侧导航栏“我的稿件库” → “稿件状态”显示稿件处理进度 → 点击“查看” → 选择“当前信息”或“全部信息”查看稿件处理过程中的具体信息。稿件退修和催审稿费(版面费)的信息作者亦可在注册时填写的邮箱中看到,作者在邮箱看到相关信息后须进入本系统进行相应处理。

作者如从邮箱和邮局投稿(或网上投稿成功后又从邮箱或邮局再次投稿),本刊须花费大量精力将稿件录入系统中,部分稿件重复多次处理,这给我们的稿件统计及处理工作带来巨大困难。本刊作者需登录本刊网站投稿,如果通过邮箱或邮局投稿,本刊会通知您通过网上投稿。

由于准备时间仓促及经验不足,网站及远程稿件处理系统必然会存在一些缺点和不足之处,希望各位影像同仁不吝赐教,多提宝贵意见,予以指正。

如果您在投稿中遇到什么问题,或者对本系统及网站有好的意见和建议,请及时联系我们。

联系人:石鹤 明桥 联系电话:027-83662875