

## 小剂量造影剂联合不同电压对CT肺动脉造影图像质量的影响

尹晓霞,张振明,董险峰,李立强,曾凡学,杜小蕊,王海滨  
滦州市人民医院影像科,河北 滦州 063700

**【摘要】目的:**观察小剂量造影剂联合不同电压对CT肺动脉造影(CTPA)图像质量的影响。**方法:**选取2016年1月至2018年5月在滦州市人民医院就诊高度怀疑为肺动脉栓塞患者90例,拟行CTPA明确诊断,以随机数字表法分为A、B、C组,造影剂、电压不同。A组电压为120 kV,造影剂剂量为50 mL;B组电压为100 kV,造影剂剂量为50 mL;C组电压为80 kV,造影剂剂量为30 mL。3组均基于自动管电流调制技术设置管电流,其他参数一致。对比各组图像质量及辐射剂量。**结果:**B、C组肺动脉主干、左右肺动脉、肺段动脉CT值均明显高于A组,信噪比与对比噪声比均明显低于A组( $P<0.05$ )。3组患者的图像质量主观评分均能达到3~6分,且评分未见统计学差异( $P>0.05$ )。B、C组扫描后实际容积CT剂量指数、扫描长度与剂量长度之积及有效剂量明显低于A组( $P<0.05$ )。**结论:**与传统扫描条件比较,小剂量造影剂联合低管电压(80 kV)扫描条件下行CTPA检查可在明显降低造影剂剂量的同时保证图像质量,有效减少辐射剂量。

**【关键词】**肺动脉栓塞;CT肺动脉造影;造影剂;管电压

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)11-1389-05

## Effects of low-dose contrast agent combined with different voltage on image quality of CT pulmonary angiography

YIN Xiaoxia, ZHANG Zhenming, DONG Xianfeng, LI Liqiang, ZENG Fanxue, DU Xiaorui, WANG Haibin

Department of Medical Imaging, Luanzhou People's Hospital, Luanzhou 063700, China

**Abstract: Objective** To observe effects of low-dose contrast agent combined with different voltage on image quality of CT pulmonary angiography (CTPA). **Methods** 90 suspected cases of pulmonary embolism in Luanzhou People's Hospital from January 2016 to May 2018 were sampled and conducted CTPA to confirm the diagnosis. The sample was divided into group A, B and C by random number table method. Group A was given 120 kV voltage and 50 mL contrast agent, group B 100 kV voltage and 50 mL contrast agent, and group C 80 kV voltage and 30 mL contrast agent. The automatic tube current modulation technique was applied to set different tube currents for the three groups, and the other parameters are invariant. The different image qualities and radiation doses were finally identified in the three groups. **Results** CT values of pulmonary artery trunk, left & right pulmonary artery, and pulmonary artery segment in group B and C were significantly higher than those in group A, while signal noise ratio and contrast noise ratio were significantly lower than those in group A ( $P<0.05$ ). All the three groups' subjective scores of image quality have reached 3 to 6 points, and there was no statistically significant difference ( $P>0.05$ ). After scan, actual volume CT dose index and dose-length product and effective dose in group B and group C were significantly lower than those in group A ( $P<0.05$ ). **Conclusion** Compared with traditional scan conditions, CTPA of low-dose contrast agent combined with low-tube voltage (80 kV) can ensure the image quality and reduce the radiation dose with a significant reduction of contrast agent dose.

**Keywords:** pulmonary embolism; CT pulmonary angiography; contrast agent; tube voltage

### 前言

肺动脉栓塞(Pulmonary Embolism, PE)即肺动脉被诸多因素导致的内源性或外源性栓子栓塞而诱发的肺循环障碍综合征,其误、漏诊率及病死率极高<sup>[1]</sup>。现阶段,PE的影像学诊断手段中,CT肺动脉造影(CT Pulmonary Angiography, CTPA)已成为重要选择。与常规血管造影术相比,CTPA诊断PE具有较高的准确度、灵敏度<sup>[2]</sup>。然而,近年来由CTPA等检

**【收稿日期】**2020-03-13

**【基金项目】**河北省医学科学研究重点课题(20181378)

**【作者简介】**尹晓霞,研究方向:医学影像,E-mail: wenttyyy@163.com

**【通信作者】**张振明,硕士,副主任医师,研究方向:医学影像,E-mail: 21682367@qq.com

查所致的对比剂肾病(Contrast-Induced Nephropathy, CIN)发病率居高不下,其已成为医源性肾功能不全的最常见病因之一<sup>[3]</sup>。对于PE患者尤其是急性患者常常需要多次复查,且间隔时间较短,导致所接受的辐射剂量、造影剂剂量较高,继而易发生CIN,这一问题引起了临床广泛关注<sup>[4]</sup>。通常降低辐射剂量主要通过降低管电流或管电压来实现。本研究尝试在能够满足临床诊断的基础上降低管电压,配合小剂量造影剂完成CTPA检查,现将结果报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准:(1)男女不限,年龄≥20岁;(2)具有PE高危因素(如高龄,创伤或手术,出现呼吸困难、咳嗽、胸痛、低血压等症状,合并静脉曲张、凝血功能异

常,有肾病、肺炎性疾病、血栓栓塞史等),高度怀疑PE,拟行CTPA检查明确诊断;(3)体质量≤80 kg,体质量指数(BMI)<28 kg/m<sup>2</sup>;(4)签署知情同意书。排除标准:(1)已行常规血管造影术获得明确诊断;(2)伴有心、脑、肝、肾等重要脏器功能障碍及甲状腺功能异常;(3)有碘过敏史;(4)扫描野有金属植入物;(5)因临床症状危重无法屏住呼吸;(6)孕妇。

1.2 临床资料

选取2016年1月至2018年5月在滦州市人民医院就诊并高度怀疑为PE的患者90例,其中男58例、女32例,年龄28~78岁,平均(58.40±4.52)岁。以随机数字表法分为A、B、C组,3组造影剂、电压不同,且性别、年龄、BMI及扫描长度等比较未见统计学差异( $P>0.05$ ,表1)。本研究通过医院伦理委员会批准。

表1 3组一般资料和扫描参数  
Tab.1 General data and scanning parameters of the three groups

组别	<i>n</i>	男/女	年龄/岁	BMI/kg·m <sup>-2</sup>	扫描长度/cm	管电压/kV	造影剂剂量/mL
A组	30	19/11	57.79±4.82	25.22±3.10	23.86±3.05	120	50
B组	30	18/12	58.66±5.34	24.80±3.08	24.09±3.12	100	40
C组	30	21/9	58.41±5.72	24.95±3.13	24.16±2.88	80	30
χ <sup>2</sup> 或 <i>F</i> 值	-	0.679	0.214	0.141	0.081	-	-
<i>P</i> 值	-	0.712	0.808	0.869	0.922	-	-

1.3 检查方法

检查所用设备均为GE 64 LightSpeed VCT,所有检查均由同一资深影像医师完成。A组电压为120 kV,造影剂剂量为50 mL;B组电压为100 kV,造影剂剂量为50 mL;C组电压为80 kV,造影剂剂量为30 mL。3组均基于自动管电流调制技术设置管电流,A、B组追加生理盐水20 mL,C组生理盐水40 mL。扫描前先以造影剂10 mL和生理盐水20 mL完成团注实验,条件120 kV、30 mA、间隔1 s(20次重复),感兴趣区为肺动脉主干,获得时间-密度曲线(根据峰值确定扫描时间),造影剂用量采用递减法。其他扫描参数:探测器准直64 mm×0.625 mm,单圈转速0.5 s,螺距1.171。常规自胸廓入口至肋膈角以下进行扫描,从足侧至头侧方向。造影剂均为非离子型碘普罗胺Ultravist 370(370 mgI/mL),均经右上肢肘静脉注射。扫描结束后将图像(重建层厚、层距均为0.625 mm)传至ADW 4.5后处理工作站进行容积再现(VR)、多平面重组(MPR)、最大密度投影(MIP)二维、三维重建。

1.4 观察指标

(1)图像质量评价:包括主观、客观评价两方面,前者由2名资深影像医师以双盲法独立对所有的图像进行评价(有争议时讨论达成一致结果),以5分法目测评价图像质量,即能够清晰显示第6级肺动脉分支、第5级肺动脉分支、第4级(亚段)肺动脉分别记5、4、3分,均认为符合诊断要求;能够显示第3级(段)肺动脉分支、叶动脉和肺动脉干的情况分别记2、1分,认为不能满足诊断需求<sup>[5]</sup>。后者主要通过客观指标评价,涵盖主肺动脉、左右肺动脉干、左右上叶肺动脉、左右下叶肺动脉、右肺中叶动脉的CT值(强化程度,取3次测量的平均值,感兴趣区面积>血管管腔面积的50%),信噪比(Signal Noise Ratio, SNR)及对比噪声比(Contrast Noise Ratio, CNR),其中SNR为肺动脉平均CT值与背景噪声之比,CNR为肺动脉、脊柱旁肌平均CT值之差与背景噪声之比,而噪声可通过感兴趣区图像标准差测量结果表示。(2)辐射剂量:记录扫描后实际容积CT剂量指数(Volume CT Dose Index, CTDIvol)、扫描长度与剂量长度之积

(Dose Length Product, DLP), 并以 DLP 统计有效剂量(Effective Dose, ED),  $ED=k \times DLP$ ,  $k$  值为欧盟委员会推荐的数值, 即 0.017<sup>[6]</sup>。

1.5 统计学方法

数据分析以 SPSS 19.0 统计学软件进行处理, 计数资料采取率(%)描述, 组间性别分布比较采用  $\chi^2$  检验; 本研究以计量资料为主, 采取均数±标准差描述, 多组间年龄、BMI、图像质量主观评分、客观指标及辐射剂量指标等对比进行方差分析, 两两比较进行

LSD- $t$  检验, 以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3组图像质量比较

B、C组肺动脉主干、左右肺动脉、肺段动脉CT值均明显高于A组, SNR、CNR均明显低于A组( $P<0.05$ )。3组患者的图像质量主观评分均能达到3~6分, 且评分未见统计学差异( $P>0.05$ )。见表2、表3和图1。

表2 3组肺动脉CT值比较( $\bar{x} \pm s$ , HU)  
Tab.2 Comparison of CT values of pulmonary arteries among the three groups (Mean±SD, HU)

组别	<i>n</i>	肺动脉主干	左肺动脉	右肺动脉	肺段动脉
A组	30	402.59±93.34	386.62±98.30	395.61±95.67	408.83±99.41
B组	30	494.62±103.50*	475.06±99.54*	488.43±98.59*	494.46±108.24*
C组	30	508.56±112.88*	490.44±113.69*	490.70±105.72*	512.73±117.38*
<i>F</i> 值	-	9.277	8.695	8.817	7.828
<i>P</i> 值	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

\*表示与A组比较,  $P<0.05$

表3 3组图像质量主观评分及SNR、CNR比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.3 Comparison of subjective scores of image quality, SNR and CNR among the three groups (Mean±SD)

组别	<i>n</i>	主观评分	SNR	CNR
A组	30	4.65±0.81	51.99±10.56	40.44±8.35
B组	30	4.43±0.67*	42.60±9.81*	24.60±6.81*
C组	30	4.14±0.62*	39.54±8.79*	21.54±5.79*
<i>F</i> 值	-	2.554	13.291	61.904
<i>P</i> 值	-	0.084	0.000	0.000

\*表示与A组比较,  $P<0.05$

2.2 3组辐射剂量比较

B、C组CTDIvol、DLP、ED明显低于A组( $P<0.05$ ), 见表4。

3 讨论

CTPA 检查时间相对较短, 图像受血管重叠或外围栓子的影响小, 空间分辨率高, 基于快速成像与多种重建技术, 对PE的诊断敏感度和特异性越来越高, 并发症少, 已经成为诊断PE的主要影像学检查工具<sup>[7]</sup>。现阶段临床应用的造影剂首选非离子型低渗

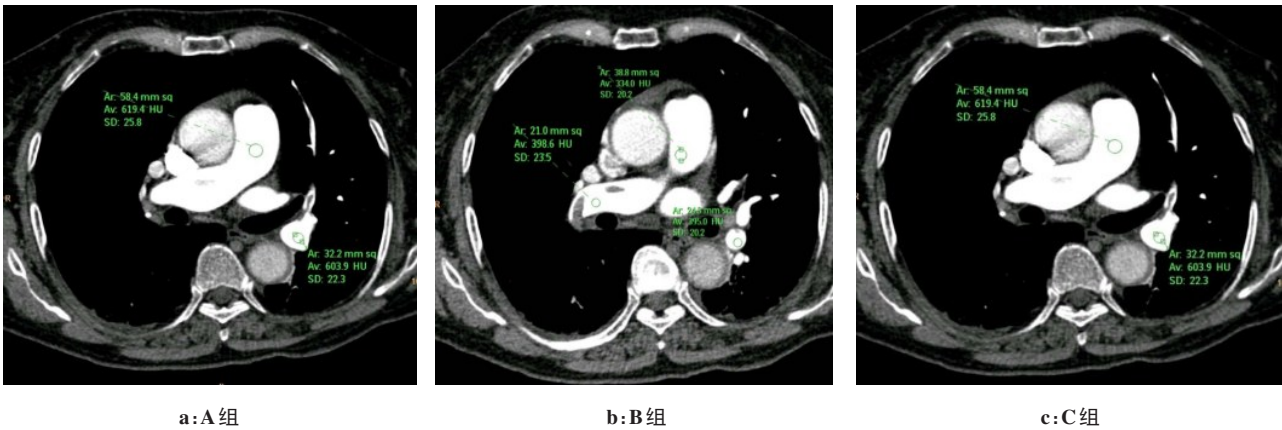


图1 3组CTPA轴位图像表现  
Fig.1 The axial image of CT pulmonary angiography

均显示肺动脉干及其分支强化明显, 无噪声, 图1a、图1b、图1c的图像质量主观评分分别为6、5、5分



表4 3组辐射剂量比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.4 Comparison of radiation doses among the three groups

(Mean±SD)

组别	n	CTDIvol/mGy	DLP/mGy·cm	ED/mSv
A组	30	12.36±1.91	427.39±116.27	7.26±1.94
B组	30	8.05±1.86*	235.31±75.57*	4.04±1.27*
C组	30	7.13±1.77*	212.43±71.11*	3.60±0.75*
F值	-	68.515	51.650	60.509
P值	-	0.000	0.000	0.000

\*表示与A组比较,P<0.05

透性对比剂,虽然造影剂不良反应发生频次较以往大大减少,但大剂量团注造影剂仍可增加患者心、肾负担,从而存在过敏、发生CIN的可能<sup>[8]</sup>。人文关怀的医疗服务环境下,放射防护最优化原则要求放射科医师根据不同个体、病种及检查位置确定合理、优化的个性化扫描方法,并通过最低的辐射剂量实现明确诊断的目的<sup>[9]</sup>。如何在保证PE的临床诊断基础上,选择合理、简便可行的低辐射剂量、低造影剂扫描方式以减少辐射及造影剂毒副作用可能带来的伤害,是目前放射医师的责任之一。

单独降低管电压或管电流通常可有效降低辐射剂量,但单纯降低管电压极易导致出现造影剂硬化伪影,仅仅使管电流降低则可引起X线光子数量减少,继而产生较多的图像噪声,而噪声是衡量图像质量的核心因素,可直接干扰CT图像密度分辨率<sup>[10]</sup>。全冠民等<sup>[11]</sup>研究表明在降低管电压的同时联合使用低浓度造影剂可适当减少造影剂硬化伪影,同时应用迭代重建算法来减少由于管电流降低引起的量子噪声,可以在获得满意图像质量的同时降低辐射剂量与造影剂摄入量。田国英等<sup>[12]</sup>观察结果显示低管电压组肺动脉干SNR低于常规管电压组(11.41±3.10 vs 14.16±3.22),肺动脉干CNR组低于常规管电压组(9.99±2.98 vs 11.75±3.54),有效剂量显著低于常规管电压组(2.28±0.46 mSv vs 5.72±2.08 mSv),认为80 kV低管电压CTPA用于特定患者可有效减低辐射剂量、保持图像质量。戴丽娟等<sup>[13]</sup>报道观察组管电压80 kV,浓度300 mg/mL非离子型造影剂碘海醇60 mL,对照组管电压为120 kV,浓度370 mg/mL非离子型造影剂碘海醇60 mL;观察组CTDIvol(6.86±0.89 mGy vs 11.34±1.58 mGy)、DLP(219.05±1.88 mGy vs 362.76±2.38 mGy)、ED(3.06±0.54 mGy vs 5.07±1.12 mGy)显著低于对照组。本研究中3组图像质量均较为满意(主观评分均能达到3~6分),尤其值得关注的是,B、C组

肺动脉主干、左右肺动脉、肺段动脉CT值均明显高于A组,SNR与CNR均明显低于A组,CTDIvol、DLP及ED明显低于A组,表明小剂量造影剂(剂量30 mL)联合低管电压(80 kV)扫描条件下行CTPA检查可在明显降低造影剂剂量的同时保证图像质量,有效减少辐射剂量,与上述报道观点大体一致,但在具体管电压、造影剂剂量选择上存在一定差异。

造影剂从臂至肺循环的所需时间一般为4~8 s,现有的MSCT技术扫描速度快,完成全胸部扫描通常仅6~10 s,增强峰值时间通常仅需3~5 s,精准控制造影剂在肺循环内的首过时间是确保CTPA检查中选择小剂量造影剂扫描成功的重中之重<sup>[14]</sup>。当选择合适的造影剂注射流率使血管内密度达到峰值后,充足的造影剂是保持峰值持续的关键,故造影剂总量是维持压力、决定血管内密度峰值持续时间的重要因素<sup>[15]</sup>。因此,本研究将3组扫描时间以监测肺动脉阈值达到50 HU后即刻进行扫描,由于C组造影剂仅为30 mL,给予较慢的注射流速(3 mL/s)和适量生理盐水以维持碘浓度,并能够控制上腔静脉的硬化伪影。同时,CTPA检查中对于特定浓度的含碘造影剂,其CT值往往依赖于X线的光子能量,X线能量趋近碘的K缘33.2 keV时碘的CT值最高,此时的管电压为63 kV。现阶段普遍用于诊断的CTPA管电压为120~140 kV,其对应的X线能量约66~72 keV,而管电压80 kV所对应的能量仅约43.7 keV,与碘的K缘更为靠近,故而在CTPA检查时能够增加含碘造影剂的CT值<sup>[16]</sup>。当管电压由常规的120 kV降至80 kV,一定浓度的造影剂CT值可升高62%~65%<sup>[17-18]</sup>。因此本研究3组造影剂剂量的选择也采用顺序递减法。最终结果证实与传统扫描条件比较,小剂量造影剂联合低管电压扫描条件下行CTPA检查可有效减少辐射剂量,有望减轻造影剂对患者造成的心、肾负担,具有推荐价值,认为符合放射防护最优化原则,但其是否为最优选择还需深入探讨。

【参考文献】

[1] NAZERIAN P, VOLPICELLI G, GIGLI C, et al. Diagnostic performance of Wells score combined with point of care lung and venous ultrasound in suspected pulmonary embolism[J]. Acad Emerg Med, 2017, 24(3): 270-280.

[2] OSMAN A M, ABDELDAYEM E H. Value of CT pulmonary angiography to predict short-term outcome in patient with pulmonary embolism[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2018, 34(6): 975-983.

[3] 王警建, 李娜, 王龙龙, 等. 能谱CT鉴别肺部炎性病变和肺癌的临床价值[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(10): 54-58.

WANG J J, LI N, WANG L L, et al. Clinical value of energy spectrum CT for the differential diagnosis of pulmonary inflammatory lesion

- and lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(10): 54-58.
- [4] 赵永霞,左紫薇,吴艳民,等.低管电压联合不同噪声指数和低浓度对比剂对肺动脉CT成像质量和辐射剂量的影响[J].中华放射学杂志,2017,51(6): 451-455.
- ZHAO Y X, ZUO Z W, WU Y M, et al. CT pulmonary angiography using low tube voltage combination with different noise index, low concentration contrast agent: image quality and radiation dose[J]. Chinese Journal of Radiology, 2017, 51(6): 451-455.
- [5] 王爱敏,曹国全,潘克华,等.低浓度对比剂联合低管电压在CT肺动脉成像中的应用[J].中华放射医学与防护杂志,2016,36(9): 707-711.
- WANG A M, CAO G Q, PAN K H, et al. The application of low concentration of contrast agent combined with low tube voltage in CT pulmonary angiography[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2016, 36(9): 707-711.
- [6] HV B, LACHMUND J, LOOE H K, et al. 2007 recommendations of the ICRP change basis for estimation of the effective dose: what is the impact on radiation dose assessment of patient and personnel[J]. Rofo, 2008, 180(5): 391-395.
- [7] 崔英才,孔丽娟,王力泽.多层螺旋CT肺动脉成像在诊断急诊肺动脉栓塞中的临床价值[J].中国CT和MRI杂志,2017,15(4): 77-79.
- CUI Y C, KONG L J, WANG L Z. The clinical value of multi-slice spiral CT pulmonary angiography in the diagnosis of emergency pulmonary embolism[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2017, 15(4): 77-79.
- [8] CURTIS B R, COX M, POPLAWSKI M, et al. Low yield of ventilation and perfusion imaging for the evaluation of pulmonary embolism after indeterminate CT pulmonary angiography [J]. Emerg Radiol, 2017, 24(5): 1-6.
- [9] 孙潇,孔祥凌,郭笑寒,等.高低浓度造影剂不同注射速度的CT肺动脉造影图像质量分析[J].中国医学影像学杂志,2016,24(12): 943-947.
- SUN X, KONG X L, GUO X H, et al. Analysis on CTPA image quality by using high and low concentration contrast agent with various injected flow velocities[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2016, 24(12): 943-947.
- [10] HU X, MA L, ZHANG J, et al. Author correction: use of pulmonary CT angiography with low tube voltage and low-iodine-concentration contrast agent to diagnose pulmonary embolism[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 4646.
- [11] 全冠民,马晶晶,袁涛,等.管电压80 kVp时不同浓度对比剂CTPA图像质量的自身对照实验研究[J].实用放射学杂志,2017,33(6): 648-651.
- QUAN G M, MA J J, YUAN T, et al. Oneself comparison study of CTPA imaging quality with different iodine concentrations at tube voltage of 80 kVp[J]. Journal of Practical Radiology, 2017, 33(6): 648-651.
- [12] 田国英,包丽丽,郝粉娥.64层螺旋CT超低管电压肺动脉造影的临床研究[J].临床肺科杂志,2017,22(3): 434-438.
- TIAN G Y, BAO L L, HAO F E. Clinical research of 64-slice CT ultra-low tube voltage pulmonary arteriography[J]. Journal of Clinical Pulmonary Medicine, 2017, 22(3): 434-438.
- [13] 戴丽娟,王琦,杨丽,等.低管电压联合低浓度造影剂在肺动脉成像中的可行性[J].中国老年学杂志,2017,37(14): 3571-3573.
- DAI L J, WANG Q, YANG L, et al. Feasibility of low tube voltage combined with low-concentration contrast agent in pulmonary artery imaging[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2017, 37(14): 3571-3573.
- [14] 孙继全,陈文新,吴志强,等.低管电压在降低肺动脉CT成像对比剂量及辐射剂量的研究[J].实用放射学杂志,2016,32(3): 437-440.
- SUN J Q, CHEN W X, WU Z Q, et al. Study of low kV in reducing pulmonary CT imaging contrast dose and radiation dose[J]. Journal of Practical Radiology, 2016, 32(3): 437-440.
- [15] 李立,钱伟军,王亚军,等.低剂量、等渗低浓度造影剂在CTPA诊断PE患者中的应用价值[J].临床肺科杂志,2018,23(8): 49-52.
- LI L, QIAN W J, WANG Y J, et al. Application value of low dose and isotonic low contrast agents in the diagnosis of PE by CTPA[J]. Journal of Clinical Pulmonary Medicine, 2018, 23(8): 49-52.
- [16] MIHL C, KOK M, WILDBERGER J E, et al. Coronary CT angiography using low concentrated contrast media injected with high flow rates: feasible in clinical practice[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(11): 2155-2160.
- [17] 王甜,曹治婷,韩秋丽.低管电压联合低剂量对比剂在肺动脉CT成像中的应用[J].实用医学杂志,2016,32(15): 2532-2534.
- WANG T, CAO Z T, HAN Q L. Application of low tube voltage combined with low-dose contrast agent in pulmonary CT imaging[J]. The Journal of Practical Medicine, 2016, 32(15): 2532-2534.
- [18] 韩迎春,杨宏刚,李斌,等.联合使用低管电压及低剂量对比剂CT肺血管造影在肺动脉栓塞诊断中的应用[J].西部医学,2018,30(6): 919-921.
- HAN Y C, YANG H G, LI B, et al. Combined use of low-voltage, low-contrast CT pulmonary angiography in the diagnosis of pulmonary embolism[J]. Medical Journal of West China, 2018, 30(6): 919-921.

(编辑:黄开颜)