

## 不同心率下体质量对双源 CT 冠状动脉 造影强化效果的影响

陈传智, 王轶彬, 梁松涛, 代 顺, 何 苗, 张 蕾

(同济大学附属东方医院医学影像科, 上海 200120)

**【摘要】目的** 探讨不同心率下体质量对双源冠状动脉 CT 血管造影强化效果的影响。**方法** 前瞻性纳入射血分数(ejection fraction, EF)正常(EF 为 50%~70%)的患者 136 例,根据心率分为 4 组,A 组: 50~59 次/min;B 组: 60~69 次/min;C 组: 70~79 次/min;D 组: 80~89 次/min。对比剂的剂量根据体质量进行调整(230 mgI/kg),注射速率 5 mL/s,随后以相同速率追加 30 mL 生理盐水。计算 4 组中左主干(left main, LM)的平均 CT 值。先整体评估所有患者的体质量和心率与 LM 的 CT 值的相关性,再于每一组内评估体质量与 LM 的 CT 值的相关性。**结果** 整体评估所有患者,显示 LM 的 CT 值与心率呈负相关( $r=-0.211, P<0.05$ ),与体质量呈负相关( $r=-0.250, P<0.05$ )。组内分析,显示 A 组和 B 组中 LM 的 CT 值与体质量呈负相关(A 组:  $r=-0.561, P<0.05$ ;B 组:  $r=-0.380, P<0.05$ )。C 组和 D 组中 LM 的 CT 值与体质量无明显相关性(C 组:  $r=-0.075, P=0.650$ ;D 组:  $r=-0.073, P=0.766$ )。**结论** 在根据体质量调整对比剂量的注射方案中,心率较低的患者组,冠状动脉的强化效果与体质量呈负相关;心率较高的患者组,体质量不同的患者冠状动脉强化均一性好。

**【关键词】** CT; 冠状动脉造影; 心率; 体质量; 对比剂; 注射方案

**【中图分类号】** R445.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1008-0392(2018)06-0108-05

### Effect of body weight on arterial enhancement with deferent heart rate in coronary dual-source CT angiography

CHEN Chuan-zhi, WANG Yi-bin, LIANG Song-tao, DAI Shun, HE Miao, ZHANG Lei

(Dept. of Radiology, East Hospital, Tongji University, Shanghai 200120, China)

**【Abstract】Objective** To study the effect of body weight(BW) on the arterial enhancement among the patients with different HR(heart rate) in coronary CT angiography. **Methods** One hundred thirty six patients with normal EF(ejection fraction)(50%~70%) were enrolled and assigned to four groups by HR,(group A: HR 50-59 bpm, group B: HR 60-69 bpm, group C: HR 70-79 bpm; group D: HR 80-89 bpm). The dose of contrast media(CM) was tailored to BW(230 mgI/kg), followed by a chaser bolus of 30 mL saline at the same rate(5 mL/s). The mean attenuation of the left main coronary artery(LM) was calculated in four groups. The correlations of BW and HR with the attenuation of LM were evaluated in all patients, and the correlation between body weight and the attenuation of LM was also evaluated in each group. **Results** The overall evaluation showed that the attenuation of LM was negatively correlated with HR( $r=-0.211, P<0.05$ ) and BW( $r=-0.250, P<0.05$ ). For each group,

收稿日期: 2018-02-07

基金项目: 上海市科学技术委员会科研项目(17411968600)

作者简介: 陈传智(1990—),男,硕士.E-mail: chenchuanzhi5452@163.com

通信作者: 张 蕾.E-mail: zhanglei4302@hotmail.com

the attenuation of LM was negatively correlated with BW in group A ( $r = -0.561, P < 0.05$ ) and in group B (LM:  $r = -0.380, P < 0.05$ ); there were no significant correlations with BW in group C (LM:  $r = -0.075, P = 0.650$ ) and in group D (LM:  $r = -0.073, P = 0.766$ ). **Conclusion** When the contrast dose is tailored to BW, the attenuation of coronary artery is negatively correlated with BW in patient with lower HR; however, for patient with higher HR, the coronary artery enhancement is similar among patients with different BW.

**【Key words】** CT; coronary angiography; heart rate; body weight; contrast media; injection protocol

随着计算机断层扫描(computed tomography, CT)设备性能的提升,无创性的冠状动脉CT血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)对于冠状动脉狭窄的诊断准确性几乎与X线冠状动脉造影一致,CCTA具有很高的阴性预测值<sup>[1-2]</sup>。CCTA的应用越来越广泛,CCTA的不良反应包括CT的辐射危害及对比剂(contrast medium, CM)可能引起的不良反应,受到越来越多的关注。

辐射剂量和管电压的平方呈正比,降低管电压可明显降低辐射剂量,低管电压产生的X线的平均光子能量更接近33 keV的碘K吸收边缘<sup>[3-4]</sup>,可产生更高的对比度,因此降低对比剂的用量可达到相同对比强化效果。在低剂量扫描和受检者存在个体差异的情况下,个性化对比剂注射方案的研究对于对比剂的合理应用有重要意义。

在扫描条件和造影剂注射方案相同的情况下,影响受检者CCTA动脉强化程度的主要个体因素包括体质量(body weight, BW)、心输出量(cardiac output, CO)和心率(heart rate, HR)<sup>[5]</sup>。研究<sup>[6-7]</sup>表明冠状动脉的强化效果与BW、HR均呈负相关,根据体质量进行简单的调整对比剂量是当前应用较为广泛的注射方案。本研究根据心率进行分组,分析体质量对于射血功能正常的CCTA受检者的冠状动脉强化效果的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本前瞻性研究已通过同济大学附属东方医院临床研究伦理委员会批准,参加研究患者均已签署书面知情同意书。2016年3月至2016年10月,共纳入136例患者。男女比例58:78;年龄24~89岁,平均(58.6±11.2)岁;体质量40~100 kg,平均(68.9 kg±10.6)kg;心率50~89次/min,平均(68.8±9.2)次/

min。136例患者按心率分为4组,根据心率分为4组,A组:50~59次/min;B组:60~69次/min;C组:70~79次/min;D组:80~89次/min。

排除标准如下:(1)孕妇或哺乳期妇女;(2)严重器官衰竭;(3)EF异常:<50%或>70%;(4)中度至重度肾功能损害(5)起搏器,心脏瓣膜和冠状动脉搭桥患者;(6)有对比剂或碘过敏禁忌证;(7)严重的心律不齐。

### 1.2 CT扫描参数

所有CCTA均采用双源CT系统(Somatom Definition Flash,德国西门子公司)进行扫描,准直度为64×2×0.625 mm,管电压为100 kV。使用CareDose 4D自动曝光控制,管电流自动适应体质量。在扫描之前,扫描系统自动设置螺距。

在CCTA之前进行平扫钙化积分扫描。感兴趣区(region of interest, ROI)放置在升主动脉,使用Bolus tracking技术,在达到阈值120 HU(hounsfield unit)5 s后自动开始图像采集。使用前瞻性心电门控,在收缩末期或舒张中期采集CT图像,可将管电流减少到回顾性心电门控全心动周期采集的20%。所有CCTA均采用单扇区重建,时间分辨率为75 ms,层厚为0.625 mm,层间隔为0.5 mm,重建算法B26f。

### 1.3 造影剂注射方案

碘克沙醇(Visipaque 270, 270 mg/mL,英国GE公司)是一种非离子等渗对比剂。使用自动压力监测的双筒高压注射器(美国Meorao公司),根据体质量以230 mg/kg调整对比剂的剂量,随后以相同速率追加30 mL生理盐水,CM和生理盐水的注射速率均为5 mL/s。

### 1.4 CTA数据分析

为了更好地分析CT冠状动脉造影数据,根据美国心脏协会的指南对冠状动脉进行分割<sup>[8]</sup>。右冠状动脉(right coronary artery, RCA)包括1~3节,

后降支 (posterior descending artery, PDA) 为节段 4, 左主干 (left main, LM) 和左前降支 (left anterior descending, LAD) 包括 5~10 节, 左回旋支 (left circumflex artery, LCX) 包括 11~15 节。如果存在中间支动脉定义为节段 16。用电子卡尺工具进行直径测量, 所有分析的冠状动脉节段直径至少为 1.5 mm, 排除远端闭塞血管段。

### 1.5 图像质量评价

所有的图像由两位资深的诊断医师, 使用轴位原始图像, 多平面重建 (multiplanar reconstruction, MPR) 和薄层最大密度投影 (maximum intensity projection, MIP) 在每个冠状动脉节段对图像质量独立进行评估。两位医师根据公布的四分法评估每个冠状动脉节段的图像质量<sup>[9]</sup>。1 分: 优 (无伪影); 2 分: 好 (伪影小, 诊断质量好); 3 分: 足够的 (中等伪影, 仍然可以接受和诊断); 4 分: 不可评估 (严重的伪影, 无法准确的评估)。观察者是通过动脉壁钙化, 运动伪影或其他因素来判断图像质量。运动伪影被定义为由于血管运动导致的图像质量的降低, 导致血管轮廓模糊。其他原因

包括血管的 CT 值低, 信噪比低以及相邻结构干扰 (如被强化的心脏静脉)。

### 1.6 感兴趣区 ROI

所有病例的均由两名具有 5 年以上的 CCTA 诊断经验的放射科医师在工作站上, 对主动脉根部 (aorta root, Ao)、LM、LCX、RCA、PDA 血管进行 CT 值的测量。

### 1.7 统计学处理

采用 SPSS 20.0 进行统计分析。先采用 Pearson 相关分析, 整体评估 HR 和 BW 与 LM 的 CT 值的相关性。然后在 4 组组内评估 BW 和 LM 的 CT 值的相关性。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结 果

所有的检查均未存在任何技术问题, 图像质量足以用于所有情况下的数据分析。

### 2.1 动脉强化效果

在四组所有血管中发现冠状动脉充分强化, 没有任何血管 CT 值  $< 200$  HU, 约 50% 血管 CT 值  $> 500$  HU, 见表 1。

表 1 受检者分组及各组冠状动脉 CT 值及体质量均值情况表  
Tab.1 The mean CT value of coronary arteries and body weight of patients in each group

组别	HR/(次·min <sup>-1</sup> )	Ao/HU	LM/HU	RCA/HU	PDA/HU	BW/kg
A 组 (n=22)	50~59	538.70±96.60	524.32±114.02	533.64±98.50	472.09±116.78	69.14±10.29
B 组 (n=56)	60~69	534.18±77.89	511.68±89.78	508.16±83.75	463.25±101.97	67.87±11.14
C 组 (n=39)	70~79	473.21±87.55	480.44±98.68	466.28±106.16	414.08±120.71	69.77±10.61
D 组 (n=19)	80~89	483.11±66.85	474.53±84.41	439.42±92.78	423.74±118.48	69.92±9.65

### 2.2 整体分析心率和体质量与 LM 强化效果的相关性

对比剂剂量根据体质量线性调整, 固定碘流率, LM 的强化效果与心率呈负相关 ( $r = -0.211, P < 0.05$ ), 说明随着心率的增加, 冠状动脉的 CT 值降低。LM 的强化效果与体质量呈负相关 ( $r = -0.250, P < 0.05$ )。

### 2.3 组内分析体质量与 LM 的强化效果的相关性

为降低在分析体质量的影响时心率的影响, 根据心率进行分组, 分析每组在心率相近的前提下, 体质量与 LM 的 CT 值的相关性, 相关系数列于表 2。在 A 组和 B 组之中, BW 和 LM 的强化效果呈明显

的负相关 (A 组:  $r = -0.561, P = 0.007$ ; B 组:  $r = -0.380, P = 0.004$ ); 在 C 组和 D 组中, BW 与 LM 的强化效果无明显相关性 (C 组:  $r = 0.075, P = 0.650$ ; D 组:  $r = -0.073, P = 0.766$ ), 见图 1。

表 2 每组 LM 的 CT 值与体质量的相关系数  
Tab.2 Correlation coefficients between the CT value of LM and body weight in each group

组别	r	P
A 组	-0.561	0.007
B 组	-0.380	0.004
C 组	0.075	0.650
D 组	-0.073	0.766

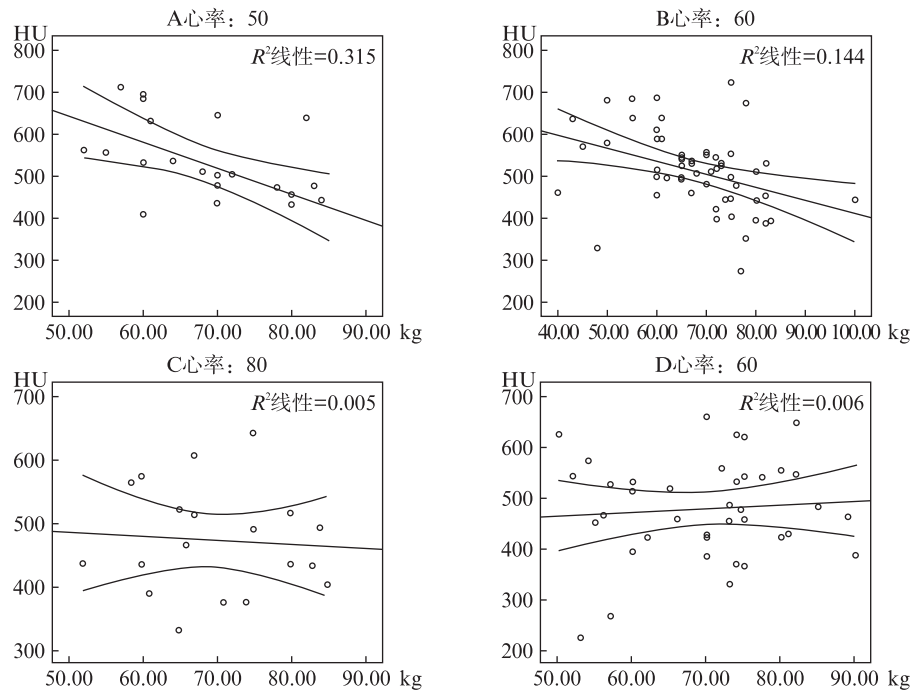


图1 各组LM的CT值与体质量的散点图及拟合曲线

Fig.1 Scatter diagram and fitting curve between the attenuation of LM and BW in each group

### 3 讨论

随着CT技术的发展,尤其是CT的单扇区时间分辨率的提高和低辐射剂量技术的使用,对比剂注射方案的优化面临着新的挑战。放射科技师在进行CCTA操作时,有必要根据研究进展对对比剂注射方案进行优化。影响受检者CCTA动脉的CT值的主要因素包括BW、CO、HR<sup>[6]</sup>。在本研究中,所有受检者的心功能均正常(EF为50%~70%),为了降低辐射剂量,所有受检者的CCTA均采用前瞻性心电门控,非全心动周期采集的图像无法分析得到患者检查实时的CO,而体质量和心率可以分别通过测量和心电门控精确获得。本研究表明LM的强化效果与心率呈负相关。本研究结果亦印证了以往研究的结论,即双源CT冠状动脉造影的冠状动脉强化效果随着心率的增加而下降<sup>[5,10]</sup>。亦有研究<sup>[11-12]</sup>显示,冠状动脉动脉强化与心输出量存在显著的负相关。所有受试者的射血功能均正常,正常情况下心率的增加引起心输出量增加。BAE等<sup>[13]</sup>认为心输出量与动脉强化的程度呈负相关,特别是在首过强化时。对比剂注射速率不变,心输出量增加时,相当于对比剂以相同速率注入更大的血流量,从而使动脉的CT值降低<sup>[12]</sup>。因此,心输出量高的患者

LM的强化较低,反之亦然。当心输出量降低时,循环减慢,对比剂到达延迟,动脉强化峰延迟<sup>[14]</sup>。在本研究中,对比剂的剂量根据体质量线性调整,对比剂注射速率固定为5 mL/s,但是LM的强化效果和体质量仍存在负相关关系。原因为:当以一定的速率注射对比剂时,碘对比剂流入血流量的相对量决定了实时碘浓度,从而决定其CT值。血容量大小与体质量呈正比,对比剂以相同的速率注射不同大小的血容量,被稀释程度不同,体质量轻者稀释程度低,CT值高,反之亦然。

本研究根据心率将受试者分为4组(间隔为10次/min),分析了体质量与冠状动脉强化效果的相关性,结果表明:A组和B组中LM的强化效果与体质量呈明显负相关,而C组和D组中LM的强化效果与体质量无明显相关性。对比剂在注入人体后,与血液混合后被稀释,主要被血流量和血容量稀释。血流量稀释,对比剂由上腔静脉的属支注入,进入心肺循环后,会同时受到上、下腔静脉回心血量的混合稀释,直至经左心室搏出。对比剂被血容量的稀释主要发生在注入静脉至上腔静脉段、右心、肺循环、左心。作为最重要的环节,在动脉首过强化时,左心室的舒张末期容积和射血分数是重要影响因素。Cao等<sup>[12]</sup>发现EDV和体质量存在显著的线性相关( $r=0.450$ ,

$P=0.001$ ),在每一组患者中,心率相对稳定,射血功能正常,舒张末期体积(EDV)是心输出量的主要影响因素。Tomizawa 等<sup>[15]</sup>证实更大的 EDV 的动脉强化效果会更低。在本研究中,与 A 组和 B 组相比,C 组和 D 组心率更快,而舒张期随着心率的增加而缩短,因此心率更快的患者的 EDV 会更小,血容量对于对比剂的稀释作用减弱。心率增加 EDV 减小,左心的每搏输出量下降,每个心动周期的回心血量下降,可能会引起血流量的稀释作用减弱。因此,体质量对于冠状动脉强化的影响,在心率增加时变弱。

所有血管均未见任何 CT 值 $<200$  HU,50%以上有过度强化(CT 值 $>500$  HU)。然而,CCTA 诊断冠状动脉狭窄和斑块分析的最佳 CT 值大约为 350 HU,冠状动脉 CT 值 $<200$  HU 或 $>500$  HU 的 CT 值不适合用于分析冠状动脉狭窄和斑块<sup>[6,16-17]</sup>。在这项研究中,对比剂剂量根据体质量线性调整(230 mgI/kg),速率 5 mL/s。碘流率决定动脉强化效果,特别是首过强化。因此,固定对比剂注射流速(如本研究中 5 mL/s),对体型小的患者来说,是过度强化的,所以固定的对比剂注射流速有很强局限性的。不同体型的患者进行 CCTA 时,几乎具有相同的扫描时间,需要相同的强化峰值持续时间,因此 CM 注射方案中恒定注射持续时间更有意义。

对比剂剂量根据体质量进行线性调整和固定碘流率的注射方案中,心率较低的患者组中(本研究中为 50~69 次/min),冠状动脉的强化效果与体质量呈明显负相关,表明体质量不同的患者未能达到冠状动脉强化均一的效果;心率较高的患者组(本研究中为 70~89 次/min),冠状动脉的强化效果与体质量无明显相关性,表明体质量不同的患者冠状动脉强化的均一性较好。

【参考文献】

[ 1 ] 叶梓,来晏,姚义安,等.光学相关断层摄影技术观察壁冠状动脉的可行性研究[J].同济大学学报(医学版),2016,37(5): 47-53.  
 [ 2 ] 柳亮,李新明.冠状动脉 CT 造影对冠心病无症状人群预后的预测价值[J].同济大学学报(医学版),2013,34(6): 52-57.  
 [ 3 ] CAO J X, WANG Y M, LU J G, et al. Radiation and contrast agent doses reductions by using 80-kV tube

voltage in coronary computed tomographic angiography: a comparative study[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(2): 309-314.  
 [ 4 ] ODA S, UTSUNOMIYA D, YUKI H, et al. Low contrast and radiation dose coronary CT angiography using a 320-row system and a refined contrast injection and timing method [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2015,9(1): 19-27.  
 [ 5 ] ZHU X, ZHU Y, XU H, et al. An individualized contrast material injection protocol with respect to patient-related factors for dual-source CT coronary angiography [J]. Clin Radiol, 2014,69(2): e86-92.  
 [ 6 ] BAE K T, SEECK B A, HILDEBOLT C F, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity[J]. AJR Am J Roentgenol, 2008, 190(3): 777-784.  
 [ 7 ] TANG L, ZHU X, XU Y, et al. Factors influencing delay time and coronary arterial density during coronary angiography with DSCT [J]. Acta Radiol, 2011, 52(1): 59-63.  
 [ 8 ] AUSTEN W G, EDWARDS J E, FRYE R L, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association [J]. Circulation, 1975,51(4 Suppl): 5-40.  
 [ 9 ] LESCHKA S, ALKADHI H, PLASS A, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience [J]. Eur Heart J, 2005, 26(15): 1482-1487.  
 [ 10 ] ZHU X, ZHU Y, XU H, et al. The influence of body mass index and gender on coronary arterial attenuation with fixed iodine load per body weight at dual-source CT coronary angiography [J]. Acta Radiol, 2012, 53(6): 637-642.  
 [ 11 ] HUSMANN L, ALKADHI H, BOEHM T, et al. Influence of cardiac hemodynamic parameters on coronary artery opacification with 64-slice computed tomography [J]. Eur Radiol, 2006,16(5): 1111-1116.  
 [ 12 ] CAO P, HE M, QIAO C, et al. Patient-related factors that influence coronary artery density in CCTA: a retrospective clinical study [J]. Int J Clin Pract, 2016, 70 Suppl 9B: B72-B78.

(下转第 123 页)

- 内皮微颗粒的变化[J]. 同济大学学报(医学版), 2017,38(6): 18-22
- [34] 王慧琦,陈远卓,李丛焯,等.川芎嗪对脓毒症急性肺损伤的保护作用[J]. 同济大学学报(医学版), 2014, 35(5): 20-25
- [35] ROBINSON S D, REYNOLDS L E, WYDER L, et al. Beta3-integrin regulates vascular endothelial growth factor-A-dependent permeability [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2004,24(11): 2108-2114.
- [36] SU G, ATAKILIT A, LI J T, et al. Absence of integrin  $\alpha v \beta 3$  enhances vascular leak in mice by inhibiting endothelial cortical actin formation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2012,185(1): 58-66.
- [37] CHEN Z, DING X, JIN S, et al. WISP1- $\alpha v \beta 3$  integrin signaling positively regulates TLR-triggered inflammation response in sepsis induced lung injury[J]. *Sci Rep*, 2016,6: 28841.
- [38] SU G, HODNETT M, WU N, et al. Integrin  $\alpha v \beta 5$  regulates lung vascular permeability and pulmonary endothelial barrier function [J]. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 2007,36(3): 377-386.
- [39] MU D, CAMBIER S, FJELLBIRKELAND L, et al. The integrin  $\alpha(v)\beta 8$  mediates epithelial homeostasis through MT1-MMP-dependent activation of TGF- $\beta 1$  [J]. *J Cell Biol*, 2002,157(3): 493-507.
- [40] DING X, WANG X, ZHAO X, et al. RGD peptides protects against acute lung injury in septic mice through Wisp1-integrin  $\beta 6$  pathway inhibition [J]. *Shock*, 2015,43(4): 352-360.
- [41] PITTET J F, GRIFFITHS M J, GEISER T, et al. TGF- $\beta$  is a critical mediator of acute lung injury[J]. *J Clin Invest*, 2001,107(12): 1537-1544.
- [42] DHAINAUT J F, CHARPENTIER J, CHICHE J D. Transforming growth factor-beta: a mediator of cell regulation in acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care Med*, 2003,31(4 Suppl): S258-S264.

.....

(上接第 112 页)

- [13] BAE K T, HEIKEN J P, BRINK J A. Aortic and hepatic contrast medium enhancement at CT. Part II. Effect of reduced cardiac output in a porcine model[J]. *Radiology*, 1998,207(3): 657-662.
- [14] SAKAI S, YABUUCHI H, CHISHAKI A, et al. Effect of cardiac function on aortic peak time and peak enhancement during coronary CT angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2010,75(2): 173-177.
- [15] TOMIZAWA N, KOMATSU S, AKAHANE M, et al. Influence of hemodynamic parameters on coronary artery attenuation with 320-detector coronary CT angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2012,81(2): 230-233.
- [16] FEI X, DU X, YANG Q, et al. 64-MDCT coronary angiography: phantom study of effects of vascular attenuation on detection of coronary stenosis[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008,191(1): 43-49.
- [17] CADEMARTIRI F, MOLLET N R, LEMOS P A, et al. Higher intracoronary attenuation improves diagnostic accuracy in MDCT coronary angiography[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2006,187(4): W430-3.