

· 心血管影像学 ·

CCTA 双低扫描对冠脉支架显示影响的实验研究

杨帆, 王彦懿, 金士琪, 初金刚, 于扬, 戴旭

【摘要】 目的:探讨双低扫描方案对冠脉支架显示的影响。**方法:**选取不同类型 8 枚支架放置于模拟冠脉血管的体外模型中, 分次注入不同碘浓度对比剂(浓度分别为 270 和 350 mg I/mL), 管电压分别为 80 和 120 kV, 记为双低扫描组与常规扫描组, 行新双源 CT 冠状动脉扫描, 并对两组图像质量进行主观评分和客观评价。**结果:**双低扫描组与常规扫描组在图像质量主观评分($P=0.102$)及背景噪声($P=0.068$)方面差异均无统计学意义, 双低扫描可以获得满足诊断要求的冠状动脉 CTA 图像; 晕状伪影程度方面两组间差异无统计学意义($P=0.624$); 双低扫描组支架内腔衰减差异明显低于常规扫描组, 差异有统计学意义($P<0.05$), 双低扫描组支架腔内与支架 CT 值差异更大, 更有助于对支架内再狭窄形成的诊断。双低扫描组支架内径差异明显低于常规扫描组, 差异有统计学意义($P<0.05$), 双低扫描组对支架形态、管径的显示优于常规扫描组。双低扫描组辐射剂量为 0.32 mSv, 常规扫描组为 0.47 mSv, 双低扫描可有效降低辐射剂量。**结论:**采用低浓度对比剂配合低管电压的扫描方式可在保证图像质量的同时有效降低辐射剂量, 对冠脉支架内腔及支架形态的显示优于常规扫描。

【关键词】 冠状动脉; 支架; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量

【中图分类号】 R543.3; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)01-0028-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.01.006

Isualization improvement for coronary artery stent imaging by taking CCTA scan with low-kVp and low-concentration contrast medium:a phantom study YANG Fan, WANG Yan-yi, JING Shi-qi, et al. Department of Radiology, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China

【Abstract】 Objective: This study is aimed to study the influence of CCTA scan with low KV and low concentration contrast medium to coronary stent imaging. **Methods:** Eight coronary stents with different types were included in this study. The stents were released into PMMA tubes and then repeatedly filled with contrast medium of different concentration (270, 350mg I/mL) during CCTA scanning. The tube voltage was 80kVp and 120kVp respectively, which were marked as "double low" group and conventional group. CCTA scanning was performed with new dual source CT. Subjective scoring and objective evaluation were made in these two groups. **Results:** No significant difference was existed in the subjective scoring for image quality as well as background noise of the "double low" group and conventional group ($P=0.102$, $P=0.068$ respectively). The CCTA image quality acquired from "double low" group was satisfactory for the requirement of diagnosis. No significant difference was existed in the degree of blooming artifact obtained from the two groups ($P=0.624$). Intra-stent lumen attenuation difference in the "double low" group was obviously lower than that of the conventional group, with statistic significance ($P<0.05$). The difference of CT value of stent and intra-stent lumen was greater in "double low" group, which was more helpful for the diagnosis of stent renarrowing. The difference of the diameter of intra-stent lumen in the "double low" group was markedly lower than that of conventional group, with significant statistic difference ($P<0.05$). Assessment of stent morphology, diameter of lumen in the "double low" group were obviously better than that of conventional group. Radiation dosage of "double low" group was 0.32mSv, of conventional group was 0.47mSv, the radiation dosage could be efficiently reduced in "double low" group. **Conclusions:** Using low concentration contrast medium in combination with low tube voltage for CCTA, qualified images could be obtained with reduce of radiation dosage, also, "double low" scanning is better in displaying stent lumen and the stent morphology than that of conventional group.

【Key words】 Coronary; Stents; Tomography, X-ray computed; Radiation dose

经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是严重冠心病的主要治疗手段, 但支架术后并发症(如再狭窄、支架断裂以及支架内血栓

形成等)的发生率高达 10%~46%; 虽然药物涂层等技术减少了支架内再狭窄的发生率, 但支架术后并发症的发生率依然高达 10%以上。因此, 冠状动脉支架植入术后的随访检查有着重要的临床意义。

冠状动脉 CT 血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)检查由于它的无创性、简便性等优势, 已经被广泛应用于冠状动脉支架植

作者单位: 110001 沈阳, 中国医科大学附属第一医院放射科(杨帆、王彦懿、金士琪、初金刚、戴旭); 110001 沈阳, 西门子医疗 CT 事业部(于扬)

作者简介: 杨帆(1989—), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事心脏大血管影像诊断工作。

通讯作者: 戴旭, E-mail: daixudex@vip.sina.com

入术后的随访检查,但由于高浓度对比剂或金属支架的晕状伪影,CCTA 对支架形态、细节及内腔的准确显示仍受到影响。

有研究表明,低浓度对比剂摄入结合低管电压的双低扫描用于 CCTA 是可行的^[1];另有研究表明,采用相对低密度等渗对比剂碘克沙醇 320 和高浓度低渗对比剂碘美普尔 400 进行 CCTA 扫描,使用前者的实验组获得的图像质量更高^[2],特别是对于支架植入术后的患者,使用高浓度对比剂,金属架会产生更多的晕状伪影,对支架形态、细节及内腔的准确显示造成一定影响。本研究利用体外模型探讨 CCTA 检查双低扫描对冠状动脉支架显示的影响。

材料与方法

1. 支架的选取及模体的制作

实验模型包括 1 个胸部模型、8 根冠脉血管模型和 8 枚真正的冠脉支架(图 1)。用 1 个长方体玻璃容器(26.0 cm×10.8 cm×9.3 cm)作为胸部模型模拟胸腔,填充植物油来模拟心外膜脂肪组织,植物油 CT 值为 70 HU 左右。用亚格力材料管模拟冠状动脉血管(内径为 2.5 mm、3.0 mm 及 3.5 mm),CT 值为 40 HU 左右,接近人体血管壁 CT 值。8 枚冠脉支架编号、直径、长度、材料以及药物涂层情况见表 1。

表 1 支架相关情况

编号	外径 (mm)	长度 (mm)	材料	结构厚度 (mm)	药物涂层
1	2.50	28	ASTMA313 不锈钢	0.09906	裸支架
2	3.01	21	316L 不锈钢	0.09000	雷帕霉素
3	3.00	29	钴合金	0.08636	雷帕霉素
4	2.96	28	L-605 钴铬合金	0.08128	裸支架
5	3.00	28	ASTMA313 不锈钢	0.09906	裸支架
6	3.00	24	钴合金	0.09144	佐他莫司
7	3.00	10	L-605 钴铬合金	0.07874	雷帕霉素
8	3.50	21	L-605 钴铬合金	0.09906	裸支架

压力球囊扩张成功打开 8 枚支架并放置于 8 支模拟血管内,管的内径等同于支架的标示外径;然后分组次重复填充不同碘浓度对比剂,分别为碘克沙醇 270 (270 mg I/mL)和碘海醇 350(350 mg I/mL),将两组分别命名为“双低扫描组”和“常规扫描组”,用相同比例生理盐水进行稀释(将碘海醇 350 与生理盐水混合稀释,将混合液在 120 kVp 条件下进行扫描,混合液 CT 值为 400 HU,该条件下的稀释比例即为本研究双低扫描组和常规扫描组的稀释比例)。密封管两端,然后将其放置在胸部模体中固定,所有支架的固定均沿着扫描仪 Z 轴方向^[3]。

2. 检查方法

在配有 Stellar 探测器的双源 CT(Somatom Definition Flash;Siemens Healthcare,Forchheim)上进行

CT 扫描,采用前瞻式轴扫模式,虚拟 ECG 信号模拟心率 60 次/分。启动 CARE Dose4D 智能管电流调节技术,双低扫描组、常规扫描组管电压分别为 80 kV 和 120 kV,在最佳舒张期成像。将原始数据采用不同的 SAFIRE 迭代强度 Strength 2 进行图像重建^[4],其他重建参数相同,重建卷积核 I46f,重建层厚、层间隔分别为 0.5 mm、0.3 mm。所有 CT 数据传输至工作站(Syngo MultiModality Workplace;Siemens Healthcare)进行后处理,行纵向及轴向多平面重建(multi planar reformation,MPR)。

3. 图像质量分析

分别从主观和客观评价两方面进行图像质量分析,比较各组图像在支架显示及图像噪声方面的差异。

图像质量主观评价由两位有 3~5 年冠脉 CT 诊断经验的放射科医生进行,对每幅支架图像进行包括管腔内及支架结构显示的综合双盲评估,评判结果不一致时共同阅片,最终达成一致意见。主观评价采用 Likert 5 分制:1 分,图像质量非常差,管腔受伪影影响无法观察到内部情况,支架结构模糊不清;2 分,图像质量差,虽能看到管腔但清晰度很低,受放大伪影影响严重,支架模糊,不能诊断;3 分,图像质量中等,可以观察到管腔内部,但受图像噪声和伪影影响边界显示不清;4 分,图像质量好,腔内的 CT 值略高于正常水平,但对管腔内评价无影响,虽有些许模糊但可以观察到支架细小结构;5 分,图像质量很好,腔内 CT 值在正常水平,边界清晰,支架边缘锐利,细小结构显示清楚^[5]。所有图像均在窗宽 1500 HU、窗位 300 HU 条件下显示。

图像质量客观评价由一位阅片医生在不知扫描方式及重建参数的情况下分别对图像噪声水平、支架腔内衰减差异、支架内径差异以及晕状伪影程度进行评估^[6]。

图像噪声测量方法为 3 次测量(圆形感兴趣区大小为 2 cm²)背景空气噪声 CT 值的标准差(SD 空气),最后结果取平均值^[7]。

支架腔内衰减差异用于评估支架晕状伪影对管腔内显示的影响,其定义为模拟血管内有支架处与无支架处 CT 值的差异。无支架处 CT 值通过计算支架近端与远端 CT 值的平均值得到(取圆形感兴趣区大小为 0.5 mm²),有支架处 CT 值选择支架管腔显示最清晰的层面,轴面选取 3 个不同平面测量取平均值,测量时感兴趣区要尽可能大且放置于支架内腔的中心,同时避开支架管壁^[8]。

支架腔内衰减差异=模拟血管有支架处 CT 值-模拟血管无支架处 CT 值

支架内径差异(artificial lumen narrowing, ALN)通过比较支架测量内径与真实内径的差异来衡量评价支架管腔内径的准确性。支架内径测量方法为在支架横轴面断层图像上沿支架直径绘制一条长度为支架直径 2 倍的线段,测量该线段上所有点的 CT 值,绘制相关曲线(图 2),两波峰间斜率最大两点关联于支架与对比剂间的分隔点,支架直径(内径)即为两点间距离^[8]。

支架内径差计算公式为:

$$ALN = [1 - \frac{ID_{Measured}}{ED_{Real} - 2 \times T_{Struct}}] \times 100\%$$

其中, ID_{Measured} 为支架测量内径, ED_{Real} 为支架真实外径, T_{Struct} 为支架厚度。

晕状伪影程度定义为倒钟形曲线修正后的幅度值的一半(图 2)。更少的晕状伪影使支架旁组织 CT 值衰减得更快,这意味着它们的半峰全宽将更大。

4. 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。图像质量主观评分首先进行一致性分析,再采用配对样本 Wilcoxon 符号秩和检验方法进行组间比较。计量资料以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,对同一支架不同组别扫描

条件下得到的客观评价数据,采用非参数 Friedman 方法进行检验,之后对存在差异的定量指标进行 post Hoc 分析,采用 Wilcoxon 符号秩和检验方法分析两组间的差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

双低扫描组与常规扫描组在图像质量主观评分及背景噪声方面差异均无统计学意义(P 值分别为 0.102、0.068,表 2,图 3),双低扫描组的各模体冠状动脉血管主观质量评分均在 3 分以上,CT 值均 >250 HU,满足临床诊断要求,故双低扫描可以像常规扫描方案一样获得满足诊断要求的冠状动脉 CTA 图像。

表 2 两组数据结果比较

指标	双低扫描组	常规扫描组	Z 值	P 值
主观评价(分)	4.062±0.320	3.812±0.372	-1.633	0.102
背景噪声(HU)	19.562±1.830	17.662±2.467	-1.823	0.068
支架内腔衰减	26.325±19.195	51.575±22.548	-2.204	0.025
支架内径差异(mm)	0.513±0.0537	0.568±0.060	-2.366	0.018
晕状伪影(HU)	19.950±1.112	19.450±2.680	-0.756	0.624
辐射剂量(mSv)	0.32	0.47		

在支架内腔衰减、支架内径差异两方面,两组间差异均有统计学意义(P 值分别为 0.025、0.018),双低

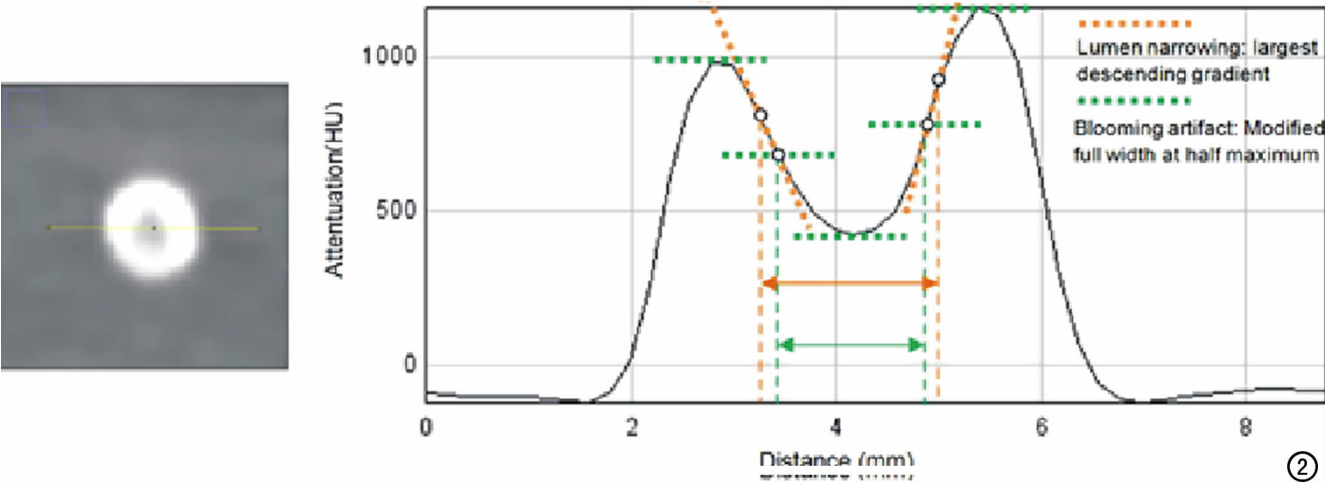


图 1 模体以及支架结构。 图 2 支架内径及晕状伪影程度的测量方法。

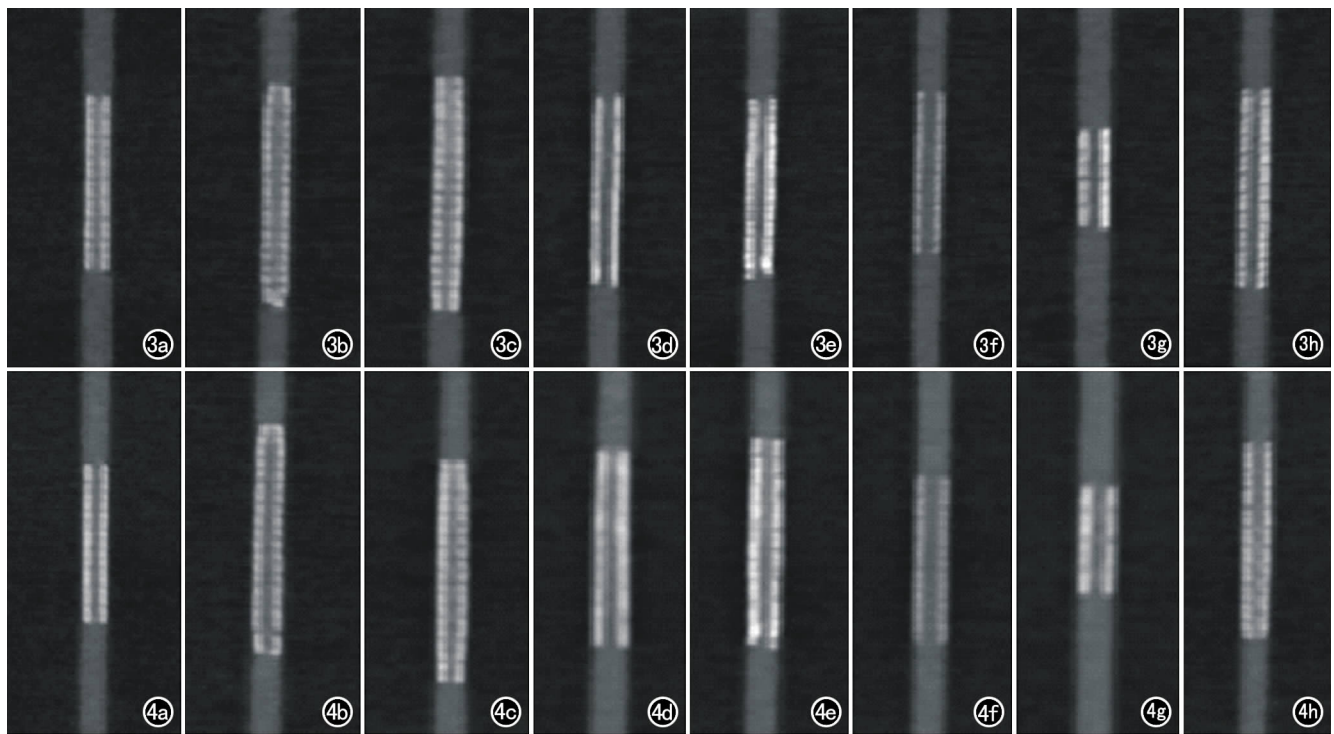


图 3 双低扫描组支架显示效果。a) 支架 1; b) 支架 2; c) 支架 3; d) 支架 4; e) 支架 5; f) 支架 6; g) 支架 7; h) 支架 8。

图 4 常规扫描组支架显示效果。a) 支架 1; b) 支架 2; c) 支架 3; d) 支架 4; e) 支架 5; f) 支架 6; g) 支架 7; h) 支架 8。

扫描组支架内腔衰减、支架内径差异明显低于常规扫描组;但是在晕状伪影程度方面,两组间差异无统计学意义($P=0.624$)。

另外,双低扫描组辐射剂量明显低于常规扫描组,仅为常规扫描组的 68%,双低扫描可有效降低辐射剂量。

讨 论

本研究中,使用“双低”扫描方案(低浓度对比剂配合低管电压)所得的图像质量主观评分及背景噪声一致性良好。

单纯使用低碘浓度对比剂,会减小血管管腔内的 CT 值,从而影响冠状动脉 CCTA 的图像质量,但同时使用低管电压扫描会解决这一问题^[9]。由于不同物质 CT 值的变化与管电压变化之间的相关性不同,使用“双低”扫描方案时,管电压由常规使用的 120 kVp 降为 80 kVp,模拟管壁及周围脂肪组织的 CT 值降低,而含碘对比剂的 CT 值增高,从而增大了管腔内外的对比度,间接增加了管腔内的强化程度,使测得的管腔内的 CT 值更高,图像质量更佳。

随着冠状动脉 CTA 技术的发展,诊断标准也在不断提高,通常认为 250~350 HU 是冠状动脉 CTA 检查时的最佳 CT 值^[10],管腔 CT 值过高或过低都会影响到诊断结果。血管管腔内密度过高,减小了管腔内与钙化斑块、金属支架间的密度差,会影响到钙化斑

块及支架的显示,高碘浓度对比剂本身的部分容积效应也会影响诊断结果。“双低”扫描方案可以提高冠状动脉支架 CTA 的显示效果^[11],但低管电压扫描同时带来了图像噪声增高的问题,同时使用迭代重建算法,可在降低辐射剂量的同时,提高图像对比噪声比^[12]。迭代重建等技术可有效减小硬化伪影,显著提高对支架等高密度物质的显示效果^[13]。本研究中双低扫描组的各模体冠状动脉血管主观质量评分均在 3 分以上,CT 值均>250 HU,故图像质量满足临床诊断要求。

本研究结果显示,双低扫描组支架内腔衰减差异明显低于常规扫描组,差异有统计学意义($P<0.05$),即双低扫描组支架内腔 CT 值受到金属支架晕状伪影影响更小,支架腔内与支架 CT 值差异更大,对比度更大,更有助于支架内再狭窄形成的诊断。本研究结果同时显示双低扫描组支架管径差异明显低于常规扫描组,差异有统计学意义($P<0.05$),即双低扫描组支架形态、管径的显示优于常规扫描组。

晕状伪影程度两组间差异无统计学意义。分析其原因,低浓度对比剂配合低管电压扫描,冠状动脉内 CT 值被有效升高,支架旁组织 CT 值衰减程度与常规扫描区别不明显,另一方面晕状伪影的程度被定义为倒钟形曲线修正后的幅度的半值,该定义方法有待进一步证实,所以本研究结果显示差异无统计学意义。

另外,本研究选取钴铬合金(5 枚支架)、不锈钢

(3 枚支架)两种不同材料支架,分析两种支架的显示效果,显示主观及客观评价差异均无统计学意义,分析其原因,可能与样本量过小有关,若想对不同材料支架冠状动脉 CTA 显示效果进行分析,需要更多支架样本。

在扫描距离、范围相同的情况下,本研究结果显示双低扫描组辐射剂量为 0.32 mSv,常规扫描组辐射剂量为 0.47 mSv,双低扫描可以有效降低辐射剂量。低碘浓度的碘克沙醇 270 为等渗对比剂,人体对等渗对比剂的耐受性较好,可以减少 CCTA 检查所产生的辐射剂量及对比剂产生的不良反应^[14],尤其是碘对比剂对心肾的潜在损伤,采用双低扫描可有效降低辐射剂量,减少对对比剂损伤,降低对比剂肾病的发生风险。

因此,对于冠状动脉支架植入术后患者进行随访 CCTA 检查,可在保证图像质量的前提下,降低辐射剂量及碘对比剂负荷。

综上所述,冠状动脉 CTA 采用低浓度对比剂配合低管电压的扫描方式,图像质量与常规扫描无明显差异,对冠脉支架内腔及支架形态的显示优于常规扫描,辐射剂量和对比剂负荷低于常规扫描。本研究样本量较小,模体与人体环境存在差异,其准确性有待于体内实验的进一步证实。本研究未制作支架内再狭窄的模型,只对新支架的内腔显示进行研究,对于支架内腔再狭窄的显示情况有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 常妙,李佩玲,初金刚,等.低浓度对比剂在冠状动脉 CTA 检查中的可行性研究[J].中国临床医学影像杂志,2014,25(3):172-175.
- [2] Andreini D, Pontone G, Mushtaq S, et al. Coronary stent evaluation with coronary computed tomographic angiography: comparison between low-osmolar, high-iodine concentration iomeprol-400 and iso-osmolar, lower-iodine concentration iodixanol-320 [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2014, 8(1): 44-51.
- [3] Hosokawa S, Kawai N, Sato M, et al. Optimal contrast material concentration for distinguishing among carotid artery lumen, carotid stent, and neck in cone-beam computed tomography during carotid angiography: basic and clinical studies[J]. Japan J Radiol, 2012, 30(4): 358-364.
- [4] 王彦懿,戴旭,于杨,等.不同迭代重建强度对冠脉小内径支架显示影响的体外实验[J].中国医学影像技术,2015,31(8):1271-1275.
- [5] Leipsic J, Labounty TM, Heilbron B, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction: assessment of image noise and image quality in coronary CT angiography[J]. AJR, 2010, 195(3): 649-654.
- [6] André F, Müller D, Korosoglou G, et al. In-vitro assessment of coronary artery stents in 256-multislice computed tomography angiography[J]. BMC Res Notes, 2014, 7(1): 38.
- [7] Funama Y, Oda S, Utsunomiya D, et al. Coronary artery stent evaluation by combining iterative reconstruction and high-resolution kernel at coronary CT angiography[J]. Acad Radiol, 2012, 19(11): 1324-1331.
- [8] Schwarz F, Ruzsics B, Schoepf UJ, et al. Dual-energy CT of the heart-principles and protocols[J]. Eur J Radiol, 2008, 68(3): 423-433.
- [9] 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, 2014, 39(1): 112-118.
- [10] Becker CR, Vanzulli A, Fink C, et al. Multicenter comparison of high concentration contrast agent iomeprol-400 with iso-osmolar iodixanol-320: contrast enhancement and heart rate variation in coronary dual-source computed tomographic angiography [J]. Invest Radiol, 2011, 46(1): 45-46.
- [11] Shen Y, Fan Z, Sun Z, et al. High pitch dual-source whole aorta CT angiography in the detection of coronary arteries: a feasibility study of using iodixanol 270 and 100kVp with iterative reconstruction[J]. J Med Imaging Health Informa, 2015, 9(1): 1-5.
- [12] Zhou Q, Jiang B, Dong F, et al. Computed tomography coronary stent imaging with iterative reconstruction: a trade-off study between medium kernel and sharp kernel[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(4): 604-612.
- [13] 郭小超,邱建星,蒋学祥,等.64 层 CT 高清模式扫描对冠状动脉支架的评估价值-与传统 64 层 CT 的对照研究[J].放射学实践, 2013, 28(2): 163-167.
- [14] Hussler MD. Safety and patient comfort with iodixanol: a post-marketing surveillance study in 9515 patients undergoing diagnostic CT examinations[J]. Acta Radiol, 2010, 51(8): 924-933.

(收稿日期:2016-04-19 修回日期:2016-07-01)