・心血管影像学・ 低浓度对比剂大螺距前门控双源 CT 冠状动脉成像初步研究

武永杰,赵宏亮,魏梦绮,刘莹,石明国,宦怡,郑敏文

【摘要】目的:评价低浓度对比剂 Flash 双源 CT 大螺距冠状动脉成像联合应用低 kV 和迭代重建算法对血管强化程度、图像质量和辐射剂量的影响。方法:对 120 例体重指数(BMI) <25 kg/m²、心率 <65 次/分且稳定的患者进行前瞻性 心电触发大螺距双源 CT 冠状动脉扫描,检查者随机分成低浓度对比剂组(A 组,60 例)和高浓度对比剂组(B 组,60 例)。 A 组对比剂使用碘克沙醇(浓度为 270mg I/mL),管电压为 80 kV,图像重建采用迭代重建算法(SAFIRE);B 组对比剂使 用碘普罗胺(浓度为 370mg I/mL),管电压为 100 kV,图像重建采用滤波反投影算法(FBP)。两组图像均测量左右冠状动脉开口处、升主动脉根部及心底层面的胸主动脉 CT 值,并比较两组图像的噪声、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、主观 图像质量评分和有效辐射剂量。结果:碘克沙醇 270 组各解剖部位平均强化 CT 值均明显高于碘普罗胺 370 组,差异均具有统计学意义(P<0.05)。碘克沙醇 270 组图像噪声、SNR、CNR 较碘普罗胺 370 组略高,但差异均无统计学意义(P>0.05)。两组主观图像质量评分分别为(1.62±0.69)和(1.51±0.65),差异克统计学意义(P>0.001],低浓度组辐射剂量 较高浓度组降低了 54.5%。结论:当联合应用低 kV 和迭代重建算法时,即使使用低浓度对比剂(270 mg I/mL)进行 Flash 双源 CT 大螺距冠状动脉成像,依然可以提高血管的对比强化效果且不降低图像质量,还能大幅度降低有效辐射剂量。

【关键词】 冠状动脉;对比剂;体层摄影术,X线计算机;图像处理,计算机辅助 【中图分类号】R541.4;R814.42 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2015)05-0554-06 DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2015.05.012

Preliminary study of low concentration contrast material for high-pitch dual-source CT coronary angiography WU Yong-jie, ZHAO Hong-liang, WEI Meng-qi, et al. Department of Radiology, Xijing Hospital, Fourth Military Medical University, Xian 710032, P. R. China.

[Abstract] Objective: To assess the impact of low concentration contrast medium with FLASH dual source high-pitch CT coronary angiography in combination with low kV and iterative reconstruction on the vascular enhancement, image quality and radiation dosage. Methods: 120 patients with BMI<25kg/m², heart beat 65/m stably were recruited in this study. ECG-triggered high-pitch spiral acquisition dual-source CT coronary angiography was performed prospectively. Patients were randomly divided into a low contrast medium concentration group (group A) and high concentration group (Group B) with 60 patients for each group. Iodixanol 270 (270mg I/mL) were injected and low tube output (80kV) were used in Group A, images were reconstructed using iterative reconstruction technique (SAFIRE). Iopromide 370 (370mg I/mL) and 100kV tube output were used in Group B, images were reconstructed using filtered back projection (FBP). CT values were measured at the orifice of left and right coronary artery, root of ascending aorta and base of heart. Image quality was scored subjectively, the noise, SNR, CNR and effective radiation dose of the two groups were compared, Results. The mean CT values after enhancement achieved at different anatomic sites of Group A was obviously higher than that of Group B, with statistical difference (P < 0.05). The image noise, SNR and CNR of Group A were slightly higher than that of Group B, with no statistic difference (P>0.05). The subjective score of image quality of the two groups was (1.62 \pm 0.69) and (1.51 \pm 0.65) respectively, with no statistic difference (P > 0.05). The effective radiation dose was (0.25 ± 0.05) mSv in Group A, which was markedly lower than that of Group B, (0.55 ± 0.11) mSv, with significant statistic difference (P < 0.001), with the reduction of dosage as 54.5%. Conclusions: The results demonstrated that with FLASH dual-source high-pitch spiral acquisition mode in combination with iterative reconstruction and low tube voltage for CT coronary angiography, even low concentration contrast medium (270mg I/mL) was used, the effect of contrast enhancement of blood vessels could still be improved without impairing the image quality, also the effective radiation dosage could be significantly lowered.

[Key words] Coronary artery; Contrast medium; Tomography, X-ray computed; Image processing, computer-assisted

作者单位:710032 陕西,第四军医大学西京医院放射科 作者简介:武永杰(1985-),男,山西长治人,硕士研究生,主要从

影像诊断工作。

通讯作者:郑敏文, E-mail:zhengmw@fmmu.edu.cn **基金项目:**陕西省社会发展攻关课题(2013K12-20-03)

冠状动脉 CT 成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)是一种有效的冠心病无 创性筛查方法,有着很好的成像效果及很高的诊断符

合率^[1],但 CCTA 辐射剂量造成的潜在癌变危害性也 受到人们的广泛关注,据文献报道,64 排 CT 的平均 CCTA 辐射剂量为 15.7 mSv^[2],另外肾脏损害也随着 含碘对比剂的广泛使用而随之升高。西门子第二代双 源 CT 所特有的大螺距(螺距最大可至 3.4)螺旋扫描 模式,可在一个心动周期内完成心脏扫描,其 CCTA 辐射剂量可降至1mSv以下^[3]。选择低碘浓度对比剂 可以降低患者肾脏碘负荷,但低碘浓度对比剂会导致 靶血管内的强化 CT 值下降。而低 kV 技术则可明显 提高靶血管的 CT 值且同时降低辐射剂量,但噪声会 明显增加,使图像质量降低。最新的迭代重建技术可 有效降低图像噪声,提高图像的信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio, CNR),从而保持甚至提高图像质量^[4,5],因此可以弥 补由于低 kV 造成的噪声增加和图像质量下降。本文 尝试使用低碘浓度对比剂(碘克沙醇 270)联合应用低 kV 技术和迭代重建算法进行 Flash 双源 CT 冠状动 脉成像,预期研究目标是保持图像噪声不增加和图像 质量不降低,并大大降低有效辐射剂量。

材料与方法

1. 病例资料

120 例(男 75 例,女 45 例,年龄 35~85 岁,平均 54.8 岁)疑诊为冠心病拟行 CCTA 的患者被纳入本组 研究。排除标准:心律失常,肾功能损伤(血清肌酐水 平>1.5 mg/dl),对比剂过敏史,既往确诊冠心病行支 架置入术及搭桥手术者,心衰,未经治疗的甲状腺功能 亢进,孕妇,扫描前心率>65 次/分及体重指数(body mass index,BMI)>25 kg/m² 的患者。所有患者按照 所用对比剂的不同随机分为两组:A 组使用碘克沙醇 270(对比剂浓度为 270 mg I/mL);B 组使用碘普罗胺 370(对比剂浓度为 370 mg I/mL)。记录所有患者的 年龄、性别、身高、体重和心率等一般资料。

2. CT 检查方法

所有患者均采用西门子第二代双源 CT(Somatom Definition Flash,Siemens Healthcare)进行扫描, 扫描前给予 0.5~1.0 mg 硝酸甘油舌下喷洒,采用前 瞻性心电触发大螺距螺旋 CT 扫描模式。碘克沙醇 270 组管电压 80 kV,参考管电流 300 mAs;碘普罗胺 370 组管电压 100 kV,参考管电流 300 mAs。两组其 余相同的扫描参数如下:数据采集预设在 60% R-R 间 期^[6],采用 Z 轴飞焦点技术,层面采集厚度 2×128× 0.6 mm,球管旋转时间 280 ms,采用自动管电流调制 技术进行扫描。对比剂总量为 60~70 mL,追加生理 盐水 40 mL,注射流率均为 5 mL/s。扫描时启用对比 剂团注追踪技术,在左心房设置兴趣区^[7],当兴趣区

3. 图像重建

所有图像数据均传至工作站(syngo MMWP VE 36A, Siemens Healthcare),由两名经验丰富的心脏放射医师对所有冠状动脉的轴面、曲面重建图像进行质量分析与评价。碘克沙醇 270 组采用 SAFIRE 迭代重建,重建核 I26f,迭代系数选用厂家推荐的strength3(strength1-5,可据此相应调节图像噪声和效果);碘普罗胺 370 组采用常规的 FBP 重建,重建核 B26f。图像重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm,矩阵大小 512×512。

4. 血管强化及客观图像质量评价

在左右冠状动脉开口处、升主动脉根部、膈面胸主 动脉轴面或斜轴面图像上设置兴趣区。兴趣区尽可能 大,且需避免运动伪影、钙化或软斑块的影响。测定靶 血管内的 CT 值作为血管强化程度的指标,噪声定义 为 CT 值(HU)的标准差,所有解剖部位均测量 3 次, 取 3 次 CT 值及噪声值的平均值为最终的 CT 值和噪 声值。测定胸骨前方气体的噪声作为背景噪声(SD), 测定脊柱旁肌肉的 CT 值为肌肉 CT 值,根据公式计 算 SNR 及 CNR,SNR=靶部位 CT 值/背景 SD; CNR =(靶部位 CT 值一肌肉 CT 值)/背景 SD。

5. 主观图像质量评价

主观图像质量评价由两名有经验的心脏放射医师 在不知所用对比剂、扫描参数和重建算法的情况下独 自对所有图像进行评价。冠状动脉节段根据美国心脏 协会(AHA)的标准^[8]分为16个节段进行评价。右冠 状动脉:1近段,2中段,3远段,4后降支,5左主干;左 前降支:6近段,7中段,8心尖,9第一对角支,10第二 对角支;左旋支:11近段,12钝缘支,13远段,14后侧 支,15后降支;若存在中间支,标记为16段。对管径≥ 1.5 mm的冠脉节段根据图像噪声、轮廓和总体印象 采用4分法进行评估(1分=极好;2分=好;3分=中 等;4分=差)^[9]。1~3分被认为具有诊断价值,诊断 意见不一致时协商达成一致。

6. 有效辐射剂量

记录所有患者的 CT 辐射剂量指数(computed tomography dose index, CTDI)、剂量长度乘积 (dose-length product, DLP), 计算有效辐射剂量(effective dose, ED), ED 为 DLP 与转换系数 k 的乘积,转换系数采用胸部 CT 扫描时的 k 值 (0.014 mSv/mGy•cm)^[10]。

7. 统计学分析

应用 SPSS19.0 软件进行统计学分析。连续变量 资料采用均值±标准差(*x*±*s*)表示,两组间比较采用 成组 *t* 检验,计数数据的比较采用 χ² 检验。两位医师 对图像主观评分的一致性分析使用 kappa 检验, kappa 值 0.21~0.40 表示一致性较差, 0.41~0.60 表示一 致性中等, 0.61~0.80 表示一致性较好, 0.81~1.00 表示一致性极好, 以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组一般资料和扫描参数

所有 120 例患者的双源 CT 冠状动脉扫描均成功 进行。患者一般资料和扫描参数见表 1。两组患者的 年龄、性别、体重、身高、BMI、心率及扫描参数差异均 无统计学意义(*P*>0.05)。

表1 两组患者一般资料和扫描参数比较

指标	碘克沙醇 270 组	碘普罗胺 370 组	统计量	P 值
例数(男/女)	60 (39/21)	60 (35/25)	0.564*	0.453
年龄(岁)	54.13 ± 9.99	54.03 ± 9.96	0.055	0.956
体重(kg)	62.75 \pm 8.94	63.25 ± 9.73	-0.293	0.770
身高(cm)	168.47 \pm 6.73	166.80 ± 7.27	1.303	0.195
心率(bpm)	56.50 \pm 7.02	55.67 \pm 4.01	0.798	0.426
体重指数(kg/m²)	22.04 ± 2.24	22.60 ± 2.19	-1.387	0.168
管电压(kV)	80	100	/	
参考管电流(mAs)	300	300	/	
实际管电流(mAs)	207.80 ± 40.63	217.80 ± 41.36	-1.336	0.184

注:*表示采用 x²检验,余为 t 检验。

2. 血管强化评价比较

碘克沙醇 270 组左、右冠状动脉开口以及大血管 处 CT 值较碘普罗胺 370 组差异均有统计学意义(P< 0.05),碘克沙醇 270 组强化 CT 值均明显高于碘普罗 胺 370 组(表 2,图 1)。

表 2 冠状动脉近段及其它解剖部位对比增强 CT 值比较 (HU)

兴趣区	碘克沙醇 270 组	碘普罗胺 370 组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
右冠开口	608.88±85.10	571.51 ± 89.77	2.536	0.021
左冠开口	606.28 ± 90.55	564.87 ± 88.29	2.341	0.013
升主动脉根部	600.50 ± 83.24	565.67 ± 86.22	2.251	0.026
膈面胸主动脉	621.25 ± 85.76	584.43 ± 86.39	2.630	0.010

3. 客观和主观图像质量评价比较

碘克沙醇 270 组不同解剖部位的图像噪声、SNR 和 CNR 较碘普罗胺 370 组差异均无统计学意义(*P*> 0.05),但低浓度组的噪声、CNR、SNR 均略高于后者 (表 3)。碘克沙醇 270 组和碘普罗胺 370 组冠状动脉 节段主观图像质量评分(图 2、3)分别为 1.62±0.69 和 1.57±0.65,差异无统计学意义(*P*>0.05),两组不 同评分的冠状动脉节段百分比及可诊断节段百分比差 异均无统计学意义(表 4)。碘克沙醇 270 组中有 4 个 节段不可评价,碘普罗胺 370 组中仅 1 个节段不可评 价,均为右冠 2 段,为搏动伪影所致。两组图像质量评 分评价者间的一致性极好(κ=0.86)。

4. 辐射剂量比较

记录所有图像的平均 CTDIvol(mGy)、DLP (mGy•cm)及扫描长度。根据公式计算出碘克沙醇 270组有效辐射剂量为(0.25±0.05)mSv,碘普罗胺

表 3 兴趣区图像噪声、SNR 和 CNR 比较

兴趣区	碘克沙醇 270 组	碘普罗胺 370 组	<i>t</i> 值	P 值
图像噪声				
RCA 开口	30.33 ± 5.05	28.64 ± 4.83	1.866	0.089
LCA 开口	29.96 \pm 5.29	28.17 \pm 6.10	1.741	0.065
升主动脉根部	30.28 \pm 3.94	29.05 ± 4.17	1.662	0.099
膈面胸主动脉	30.99 ± 4.35	29.73 ± 4.06	1.646	0.102
CNR				
RCA 开口	45.54 ± 16.326	41.12 ± 12.76	1.657	0.100
LCA 开口	45.16 ± 15.65	40.44±12.15	1.849	0.067
升主动脉根部	44.47 \pm 14.34	40.58±12.26	1.598	0.113
膈面胸主动脉	45.65 ± 13.21	42.34 ± 13.18	1.371	0.173
SNR				
RCA 开ロ	51.35 ± 17.87	46.48±12.48	1.588	0.115
LCA 开口	50.97 \pm 17.21	45.98 ± 13.48	1.770	0.079
升主动脉根部	50.28 ± 15.91	46.12 \pm 13.69	1.598	0.127
膈面胸主动脉	51.45 ± 14.56	477.8±14.49	1.371	0.181

注:CNR=(兴趣区 CT 值-脊柱旁肌肉 CT 值)/背景噪声;SNR = 兴趣区 CT 值/背景噪声。RCA:右冠状动脉;LCA:左冠状动脉

表4 两组图像质量评分冠脉节段数及百分比比较 (个,%)

图像质量评分	碘克沙醇 270 组	碘普罗胺 370 组	χ ² 值	P 值
1分	398(49.2%)	422(52.7%)		
2 分	324 (40.0%)	305(38.1%)		
3分	83(10.3%)	73(9.1%)		
4 分	4(0.5%)	1(0.1%)		
1~3分(可诊断)	809(99.5%)	801(99.9%)	1.821	0.177
总计	813	802		

370 组有效辐射剂量为 0.55±0.11。低浓度组有效辐射剂量较高浓度组降低了 54.5%(P<0.001,表 5)。

表 5 碘克沙醇 270 组与碘普罗胺 370 组辐射剂量比较

指标	碘克沙醇 270 组	碘普罗胺 370 组	1 <i>t</i> 值	P值
CTDIvol(mGy)	0.96 ± 0.18	2.17 \pm 0.40	-21.207	0.000
DLP(mGy • cm)	17.77 ± 3.40	39.80 ± 7.28	-21.243	0.000
扫描长度(cm)	18.42 ± 0.81	18.30 ± 0.89	0.773	0.441
有效辐射剂量	0.25 ± 0.05	0.55 \pm 0.11	-21.243	0.000

讨 论

1. 对比剂浓度与心血管 CT 成像效果

对比剂肾病(contrast induced nephropathy,CIN) 主要取决于患者碘的摄入量[11],尽可能减少对比剂的 总碘量可以降低患者发生对比剂肾病的风险,因此,选 择低碘浓度对比剂是降低患者碘负荷的方法之一。但 是,使用低浓度对比剂理论上会造成靶血管强化程度 (CT 值)的降低。有研究对比了几种不同浓度对比剂 的冠状动脉 CT 成像效果,当采用相同对比剂总量、相 同流率时,低浓度对比剂组冠状动脉 CT 值明显低于 高浓度对比剂组^[12],而这可能会导致冠状动脉图像质 量和狭窄评价准确率的降低。从对比剂的角度来说, 想要提高血管的强化程度可以通过增加对比剂的注射 流率或使用高浓度对比剂来实现,但提高注射流率需 要患者有更粗大的血管并采用更大号的套管针,这大 大增加了对比剂外渗的风险[13];而使用高浓度对比 剂,如浓度为400 mg I/mL 时,由于粘稠度明显增加, 也会增加操作的难度和对比剂外渗的风险。因此,使 用低浓度对比剂,不仅可以降低患者的肾脏碘负荷,同



图 1 碘克沙醇 270 组与碘普罗胺 370 组不同解剖部位强化 CT 值、图像噪声、CNR 和 SNR 比较条图。碘克沙醇 270 组各部位强化 CT 值均高于碘普罗胺 370 组,差异有统计 学意义。碘克沙醇 270 组各部位图像噪声、CNR、SNR 值均略高于碘普罗胺 370 组,但差 异无统计学意义。RCA:右冠开口;LCA:左冠开口; aAO:升主动脉根部; dAO:膈面胸 主动脉。a) 两组不同解剖部位强化 CT 值比较条图; b) 两组不同解剖部位图像噪声值 比较条图; c) 两组不同解剖部位 CNR 值比较条图; d) 两组不同解剖部位 SNR 值比较 条图。

时因其粘稠度低,操作难度和对比剂外渗风险明显下降,但随之而来的问题是,靶血管的强化程度也会下降^[14-15]。

2. 低 kV 与心血管 CT 成像效果及图像质量

想要提高靶血管的强化 CT 值,降低管电压是一种好的方法。相关 CT 血管成像研究已证实,低 kV 技术可以明显提高靶血管的增强效果即 CT 值^[16]。 采用低管电压(如 80 kV)扫描,可增加 X 线与原子间 的光电效应,特别是增加了高原子序数元素如骨等含 钙结构和含碘对比剂的光电效应,使 X 线光子平均能 量更接近碘的 K 缘,从而使康普顿散射效应降低,CT 值增加。因此,当使用低浓度对比剂而使血管强化程 度降低时,降低管电压理论上会提高靶血管的强化值 从而弥补 CT 值的减低。本研究采用相同的对比剂总 量(60~70 mL)和相同的注射流率(5 mL/s),由此获 得的碘流率碘普罗胺 370 组为 1.85 g I/s,碘克沙醇 270 组仅为 1.35 g I/s。尽管碘克沙醇 270 组的碘浓 度和碘流率均低于碘普罗胺 370 组,但设置 80 kV 管 电压扫描后,靶心血管部位的强化 CT值均高于碘普罗胺 370组,差 异有统计学意义(P<0.05)。本 组研究结果进一步证实了低 kV 扫描的增加血管 CT值的作用,即 使在使用 270 mg I/mL 这样的低 浓度对比剂时仍然可以保持冠状 动脉内和其它心血管解剖部位内 的强化 CT值。但低 kV 会导致 图像噪声和伪影增加,使图像质量 降低,这是由于 X 线光子能量的 降低使得对 kV值高敏感的硬线 束伪影增加造成的,这一限制使得 低 kV 技术难以发挥其优势且无 法在临床上广泛应用。

3. 迭代重建算法、滤波反投影 (FBP)算法与图像质量

FBP 重建算法是临床应用广 泛的传统图像重建方法,数学解析 过程简单,重建速度较快,但因未 考虑到光子和电子噪声,容易产生 各种噪声和伪影,图像质量易受影 响而下降。新近应用于临床的迭 代重建算法,不同于 FBP,是将获 得的图像数据与基于统计的、考虑 到光子和电子噪声的理想噪声模 型进行比较,去除噪声,得到校正 图像。因此,该技术可以在重建图 像时使噪声降低,提高图像的信噪

比和对比噪声比,保持空间分辨力和其它图像质量参 数不变,从而保持甚至提高图像质量。这一技术目前 已经广泛应用于 CT 低剂量研究,包括冠状动脉 CT 成像[5,17-19],其中一些研究设置了相同的管电流和管 电压[17],对比迭代重建和 FBP 两种重建方法的冠状 动脉图像质量,结果证实迭代重建可以明显降低噪声, 提高图像质量。另一些研究进一步对比了不同迭代强 度的图像质量,发现强度越高,图像噪声越低,但图像 效果也更加呈现修饰后的"虚假"感,因此一般推荐使 用中等强度迭代重建值。还有一些研究则分别降低 kV 值^[17]或 mAs^[19],对比两种重建方法的图像质量和 辐射剂量,结果显示当降低 kV 值或管电流而使图像 质量降低时,采用迭代重建可以保持图像质量,从而间 接降低辐射剂量。本组研究采用了低浓度对比剂,并 在管电流相同(300 mAs)的前提下,采用低 kV (80 kV)扫描,这显然会导致低碘浓度组图像的噪声 明显增加。然而,由于使用了迭代重建技术,结果显示



图 2 使用碘克沙醇 270 患者体重指数为 23.4kg/m²,扫描参数为 80kV,300mAs。a) 右冠状动脉图像;b) 前降支图像;c) 回旋 支图像。 图 3 使用碘普罗胺 370 患者体重指数为 24.8kg/m²,扫描参数 100kV,300mAs。图 2、3 两例显示均极好,主观评分 均为 1分,冠状动脉对比增强强度无明显差异。a) 右冠状动脉图像;b) 前降支图像;c) 回旋支图像。

低浓度组与高浓度组之间的图像噪声和主观图像质量 差异均无统计学意义。本研究结果证实在使用低浓度 对比剂冠状动脉 CT 成像中,即使降低管电压,但联合 应用迭代重建技术依然可以有效地抑制图像噪声,从 而保持图像质量不降低。

4. 大螺距扫描、迭代重建算法与降低辐射剂量

第二代双源 CT 所特有的前门控大螺距螺旋扫描 拥有更宽的探测器和更高的旋转速度,第二套球管探 测器可以填补第一套探测器和球管的间隙,实现了大 螺距无间隙扫描,可以在一个心动周期内完成全心扫 描,避免了因多个心动周期采集及重建所致的图像阶 梯样伪影,极大地降低了辐射剂量,使冠状动脉图像质 量也明显提高。据文献报道,采用大螺距扫描模式行 冠状动脉 CT 成像的辐射剂量可低于1mSv^[3]。迭代 重建技术是最近应用于临床的一项可降低辐射剂量的 新技术,这一技术本身并不能降低辐射剂量,但其对于 图像的"修饰"作用,可弥补降低 kV 和 mAs 所带来的 噪声增加和图像质量降低,从而间接具有了降低辐射 剂量的作用。本组研究采用了第二代双源 CT 特有的 前瞻性心电触发大螺距螺旋扫描模式,大幅度地降低 了辐射剂量,低碘浓度组有效辐射剂量仅为(0.25 ± 0.05) mSv,显著低于高碘浓度组的(0.55 ± 0.11) mSv,两组差异有统计学意义(P < 0.001),这一结果比其它高浓度对比剂迭代重建研究结果还要低^[6,20,21],因为本组采用的管电压更低(为 80 kV),其它研究管电压设置一般为 120 kV 或 100 kV。低 kV 联合迭代重建算法保持了主观和客观图像质量不降低,还大幅度降低了辐射剂量。

5. 研究限度

本研究存在以下局限性:①研究纳入的病例数较 少,每组只有 60 例患者。尽管两组间主观图像质量和 客观图像质量差异均无统计学意义,但研究结果尚需大 样本进一步证实;②纳入研究的都是 BMI<25 kg/m²、心 率<65 次/分且稳定的患者,对 BMI>25 kg/m² 以及 心率快人群有待进一步研究;③由于广泛钙化会影响 图像的观察和 CT 值的测量,本研究没有评价广泛钙 化的冠状动脉;④本研究未评价 CT 诊断冠状动脉狭 窄的准确率,这也是我们下一步研究的主要内容;⑤本 研究仅应用了一个迭代重建系数(strength3)的图像 与 FBP 重建图像进行比较,没有对五个(strength1~ 5)迭代系数分别重建图像并进行图像质量对比。

综上所述,本组研究初步证实,低浓度对比剂 (270 mg I/mL)进行 Flash 双源 CT 冠状动脉成像时, 联合应用低 kV 和迭代重建技术,可保持冠状动脉的 对比强化 CT 值且不降低图像质量,还能大幅度降低 有效辐射剂量。

参考文献:

- [1] Stein PD, Beemath A, Kayali F, et al. Multidetector computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: a systematic review[J]. Am J Med, 2006, 119(3): 203-216.
- [2] Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography[J]. JAMA, 2007, 298(3): 317-323.
- [3] Achenbach S, Marwan M, Ropers D, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition[J]. Eur Heart J,2010,31(3):340-346.
- [4] Mitsumori LM, Shuman WP, Busey JM, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction versus filtered back projection in the same patient: 64 channel liver CT image quality and patient radiation dose[J]. Eur Radiol, 2012, 22(1):138-143.
- [5] Renker M, Ramachandra A, Schoepf U, et al. Iterative image reconstruction techniques: applications for cardiac CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011,5(4):225-230.
- [6] Lell M, Marwan M, Schepis T, et al. Prospectively ECG-triggered high-pitchspiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT:technique and initial experience[J]. Eur Radiol, 2009,19(11):2576-2583.
- [7] Liu Jl, Gao J, Wu R, et al. Optimizing contrast medium injection protocol individually with body weight for high-pitch prospective ECG-triggering coronary CT angiography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29(5), 1115-1120.
- [8] Fine JJ, Hopkins CB, Ruf N, et al. Comparison of accuracy of 64slice cardiovascular computed tomography with coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease[J]. Am J Cardiol, 2006, 97(2):173-174.
- [9] Seheffel H, Alkadhi H, Plass A, et al. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: first experience in a high pre-test probability population without heart rate control[J]. Eur Radiol, 2006, 16 (12):2739-2747.
- [10] Pflederer T, Jakstat J, Marwan M, et al. Radiation exposure and image quality in staged low-dose protocols for coronary dualsource CT angiography: a randomized comparison[J]. Eur Radi-

ol,2010,20(5):1197-1206.

- [11] Nyman U, Almén T, Aspelin P, et al. Contrast-medium-induced nephropathy correlated to the ratio between dose in gram iodine and estimated GFR in ml/min[J]. Acta Radiol,2005,46(8):830-842.
- [12] Roos JE, Desbiolles LM, Weishaupt D, et al. Multi-detector row CT:effect of iodine dose reduction on hepatic and vascular enhancement[J]. Rofo, 2004, 176(4):556-563.
- [13] Ma X, Setty B, Uppot RN, et al. Multiple-detector computed tomographic angiograph of pancreatic neoplasm for presurgical planning: comparison of low- and high-concentration nonionic contrast media[J]. J Comput Assist Tomogr, 2008, 32(4):511-517.
- [14] Roos JE, Desbiolles LM, Weishaupt D, et al. Multi-detector row CT:effect of iodine dose reduction on hepatic and vascular enhancement[J]. Rofo, 2004, 176(4):556-563.
- [15] Ma X, Setty B, Uppot RN, et al. Multiple-detector computed tomographic angiography of pancreatic neoplasm for presurgical planning: comparison of low- and high-concentration nonionic contrast media[J]. J Comput Assist Tomogr, 2008, 32(4): 511-517.
- [16] Pontana F, Pagniez J, Duhamel A, et al. Reduced-dose low-voltage chest CT angiography with Sinogram-affirmed iterative reconstruction versus standard-dose filtered back projection[J]. Radiology, 2013, 267(2):609-618.
- [17] Fletcher JG,Krueger WR,Hough DM,et al. Pilot study of detection, radiologist confidence and image quality with sinogram-affirmed iterative reconstruction at half-routine dose level[J]. J Comput Assist Tomogr,2013,37(2):203-211.
- [18] Wanga R, Schoepfb U, Wu R, et al. Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: Sinogram affirmed iterative reconstruction versus filtered back projection[J]. Eur J Radiology,2012,81(11):3141-3145.
- [19] Hou Y,Xu S,Guo W, et al. The optimal dose reduction level using iterative reconstruction with prospective ECG-triggered coronary CTA using 256-slice MDCT[J]. Eur J Radiol, 2012, 81 (12):3905-3911.
- [20] Alkadhi H.Stolzmann P.Desbiolles L.et al. Low-dose.128-slice, dual-source CT coronary angiography: accuracy and radiation dose of the high-pitch and the step-and-shoot mode[J]. Heart, 2010.96(12):933-938.
- [21] 陈刚,吴东,曾蒙苏,等. 双源 CT 冠状动脉成像辐射剂量的优化 [J]. 放射学实践,2014,29(6):593-596.

(收稿日期:2014-12-08 修回日期:2015-02-04)