

# 低浓度等渗对比剂联合低管电压在肥胖患者冠状动脉成像中的应用

潘宇宁 李爱静 陈晓敏 任大卫 王健 陈兆乾 黄求理

315211 宁波,浙江省宁波大学医学院[潘宇宁(现在宁波市第一医院影像科)];

315010 宁波,浙江省宁波市第二医院影像科(李爱静); 315010 宁波,浙江省宁波市第一医院心内科(陈晓敏、王健),影像科(任大卫、陈兆乾、黄求理)

通信作者:黄求理,Email:hqlypn@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.01.013

**【摘要】 目的** 探讨 100 kV 管电压、270 mgI/ml 等渗低浓度对比剂联合迭代重建算法在肥胖人群中进行冠状动脉成像(CCTA)应用的可行性。**方法** 将 48 例接受 CCTA 检查、体质量指数(BMI)  $> 30 \text{ kg/m}^2$  的患者,按随机数字表法分为对照组和试验组,每组 24 例。对照组使用 370 mgI/ml 对比剂,以常规 120 kV 扫描,采用传统滤过反投影法(FBP)重建图像;试验组使用 270 mgI/ml 对比剂,以 100 kV 扫描,采用第三代适应性迭代降噪算法(AIDR-3D)重建图像。两名医师对两组图像质量进行双盲法评分,比较观察者评分的一致性。比较两组患者的有效剂量( $E$ )、平均 CT 值、图像噪声( $N$ )、信噪比(SNR)、对比信噪比(CNR)、图像优良指数(FOM)和图像质量评分,以及两组患者的总碘量、碘注入率和对对比剂相关不适感。**结果** 两组冠状动脉图像质量主观评分差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。两名医师评分的一致性较高( $Kappa = 0.88, P < 0.05$ )。两组图像平均 CT 值、SNR 和 CNR 差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。试验组的 FOM 明显高于对照组( $t = -9.250、-8.604、-9.158、-5.341, P < 0.05$ )。试验组  $E$  为  $(1.61 \pm 0.41) \text{ mSv}$ ,较对照组  $(3.64 \pm 1.09) \text{ mSv}$  明显降低( $t = 8.373, P < 0.01$ )。试验组总碘量以及碘注入率均低于对照组( $t = 7.628, 8.480, P < 0.01$ )。试验组注射对比剂热感和疼痛感的发生率低于对照组( $\chi^2 = 18.70, 6.25, P < 0.05$ )。**结论** 在肥胖人群中,使用等渗低浓度对比剂结合低管电压冠状动脉检查可以在不降低图像质量的前提下,大幅度减低辐射剂量和碘摄入量。**临床试验注册** 中国临床试验注册中心,ChiCTR-DPD-15007510。

**【关键词】** 肥胖; 冠状动脉; 体层摄影术,X 射线计算机; 辐射剂量; 对比剂

**Coronary computed tomographic angiography at low concentration of contrast media and low tube voltage in obese patients** Pan Yuning, Li Aijing, Chen Xiaomin, Ren Dawei, Wang Jian, Chen Zhaoqian, Huang Qiuli

Department of Medical College, Ningbo University, Ningbo 315211, China [Pan YN (work in Department of Radiology, Ningbo First Hospital now)]; Department of Radiology, Ningbo No. 2 Hospital, Ningbo 315010, China (Li AJ); Department of Cardiology, Ningbo First Hospital, Ningbo 315010, China (Chen XM, Wang J), Department of Radiology (Ren DW, Chen ZQ, Huang QL)

Corresponding author: Huang Qiuli, Email:hqlypn@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the feasibility of coronary computed tomographic angiography (CCTA) for obese patients with lower tube voltage (100 kV) and lower contrast media concentration (270 mgI/ml) using iterative reconstruction. **Methods** A total of 48 patients with body mass index greater than  $30 \text{ kg/m}^2$  were included and randomly divided into 2 groups according to random number table method. The images of the control group were obtained using iodine 370 mgI/ml, a tube voltage of 120 kV, and traditional filtered back projection (FBP) image reconstruction. Patients in the test group were injected with isotonic low concentration contrast media (270 mgI/ml), scanned with a lower tube voltage (100 kV), and adaptive iterative noise reduction image reconstruction algorithm (AIDR-3D) was used. Two experienced physicians scored the image quality in a double-blind way. Independent sample  $t$ -test was used to compare the effective dose ( $E$ ), average CT values, signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR), the figure of merit (FOM), image quality scores and the total iodine intake. Side effect was

also evaluated. **Results** The subjective scores for control group and test group were not significantly different ( $P > 0.05$ ). The scores of two physicians were consistency ( $Kappa = 0.88, P < 0.05$ ). The average CT values, SNR and CNR for the two groups were not significantly different ( $P > 0.05$ ), but the FOM of the test group was significantly higher than that of the control group ( $t = -9.250, -8.604, -9.158, -5.341, P < 0.05$ ). Effective dose in the test group was ( $1.61 \pm 0.41$ ) mSv, lower than that of the control group ( $t = 8.373, P < 0.01$ ). The total iodine and iodine injection rate in the test group were both lower than in the control group ( $t = 7.628, 8.480, P < 0.01$ ). The incidence of contrast media-related discomfort in the test group was lower than control group ( $\chi^2 = 18.70, 6.25, P < 0.05$ ).

**Conclusions** For obese patients, isotonic low concentration of contrast media and low-dose CCTA could be feasible, which substantially reduce the radiation dose and iodine intake without sacrificing image quality. **Trial registration** Chinese clinical trial registry, ChiCTR-DPD-15007510.

**【Key words】** Obesity; Coronary vessels; Tomography, X-ray computer; Radiation dose; Contrast media

随着 CT 技术的迅速发展,冠状动脉 CT 血管造影(CTA)已经广泛应用于临床,但存在 X 射线辐射损害和造影剂对肾功能损伤的风险。近年来,基于剂量最优化(ALARA)原则<sup>[1]</sup>,要求在满足影像诊断的情况下,尽量降低 CT 辐射剂量<sup>[2-4]</sup>。同时,减少对比剂总碘量可降低对比剂肾病(CIN)的风险。此外,肥胖患者会导致 X 射线穿透力下降,影像的噪声增加,会使冠状动脉图像质量明显下降,有时甚至造成诊断准确率降低,如何对肥胖患者行低剂量检查,是目前面临的难题之一。国际心血管 CT 指导委员会建议,在行冠状动脉 CTA 检查时,对于体重  $< 85$  kg 或体质指数(BMI)  $< 30$  kg/m<sup>2</sup> 的患者,要尽可能优先选择 100 kV 管电压<sup>[5]</sup>。目前已有低浓度对比剂与低管电压技术联合应用于冠状动脉 CTA 的报道<sup>[2, 6]</sup>,但在肥胖人群 BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> 中能否应用双低技术进行扫描尚未见到报道。本研究利用等渗低浓度对比剂与第三代适应性迭代降噪技术(AIDR-3D)重建技术,采用低管电压对肥胖人群进行 CCTA 检查,以确定其在肥胖人群中应用的可行性。

## 资料与方法

1. 一般资料:连续收集 2014 年 10 月至 2015 年 4 月本院门诊疑诊冠心病的肥胖患者(BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>)48 例,按随机抽样法分成两组行 320 排容积 CT 冠状动脉 CTA 检查,每组 24 例,其中男性 36 例,女性 12 例,年龄 36 ~ 87 岁,平均年龄( $59 \pm 12$ )岁。患者一般资料和采集参数见表 1。根据世界卫生组织(WHO)分类,32 例为 I 级肥胖(BMI  $30.0 \sim 34.9$  kg/m<sup>2</sup>),14 例为 II 级肥胖(BMI  $35.0 \sim 39.9$  kg/m<sup>2</sup>),2 例为 III 级肥胖(BMI  $\geq 40$  kg/m<sup>2</sup>)。排除标准:严重的心律不齐、心功能不全;冠状动脉支架植入术后及冠状动脉搭桥术后;严重的肾功能

不全(肌酐清除率  $\leq 120$   $\mu$ mol/L);孕妇或已知碘对比剂过敏;心律失常(心房颤动或频发期前收缩)。本研究获得本院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

表 1 两组患者的一般情况( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Comparison of the patient demographics between the two groups( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	性别 (男/女)	年龄 (岁)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	心率 (次/min)
对照组	24	17/7	56.5 $\pm$ 10.5	33.6 $\pm$ 2.81	70.5 $\pm$ 8.8
试验组	24	19/5	63.0 $\pm$ 13.7	33.8 $\pm$ 2.92	69.6 $\pm$ 9.0

注: BMI. 体质指数

2. 扫描设备及参数:所有 CT 检查均采用 320 排 CT 扫描仪(Aquilion ONE,日本 Toshiba 公司)。患者仰卧位,扫描前严格训练患者屏气,扫描时足先进,胸前 4 导联监测心电图。准直器  $320 \times 0.5$  mm,旋转时间 0.35 s/圈,z 轴覆盖范围 16 cm。对心率超过 70 次/min 同时无禁忌证的患者,CT 检查前 1 h 口服美托洛尔(50 mg,阿斯利康无锡制药有限公司)。所有患者检查前 5 min 舌下含服硝酸甘油(0.5 mg,北京益民药业有限公司)以扩张冠状动脉。扫描范围从气管分叉水平到膈肌覆盖整个心脏,并调整到准确包括整个心脏( $150$  mm  $\times$   $150$  mm  $\sim$   $180$  mm  $\times$   $180$  mm)。管电流在管电压基础上根据 BMI 进行调节,范围为 330 ~ 400 mA。所有患者均采用前瞻性心电门控触发序列进行扫描。扫描参数如下:心率  $\leq 70$  次/min 时,以数据采集范围为 65% ~ 75% R-R 间期,心率  $\geq 70$  次/min 时为 35% ~ 45% 间期。两组均采用非离子型对比剂,注射前置于 37℃ 保温箱内。其中对照组对比剂为优维显(370 mgI/ml,拜耳医药保健有限公司广州分公司),以常规 120 kV 扫描,重建采用传统

滤过反投影法 (FBP); 试验组对比剂为碘克沙醇 (270 mgI/ml, 美国 GE 电气药业上海有限公司) 以 100 kV 扫描, 重建采用 AIDR-3D 算法。采用双筒高压注射器 (Stellant, 美国 Medrad 公司), 右侧肘正中静脉留置 20 G 留置针, 两组采用相同的对比剂注射时间 (12 s), 对比剂量 (ml) = 体重 (kg) × 0.8 ml/kg, 对比剂流速 (ml/s) = 对比剂用量 (ml)/12 s, 然后以相同的速率注入 30 ml 生理盐水。应用对比剂示踪法, 在主动脉根部层面选择感兴趣区 (ROC, 面积 100 mm<sup>2</sup>) 监测 CT 值, 当感兴趣区 (ROI) 内 CT 值达到 180 HU 时, 延迟 4 s 自动触发扫描。

3. 图像重建和后处理: 图像重建包括 3 个步骤, 自动最佳期相、心电图编辑和多期相选择。重建层厚为 0.5 mm, 间隔为 0.25 mm, 图像重建采用软组织卷积函数。重建后的图像传送到后处理工作站 (Vitrea Fx 4.0) 进一步分析, 图像处理包括最大密度投影 (MIP)、曲面重建 (CPR) 和容积再现 (VR)。

#### 4. 图像质量评价

(1) 图像质量主观评价: 根据美国心脏协会 (AHA) 冠状动脉 15 段分段标准<sup>[7]</sup>, 评价直径 > 1.5 mm 的冠状动脉段。由 2 名有经验的医师 (均具有 5 年以上心脏 CT 诊断经验) 用双盲原则对图像独立分析。图像质量评价标准如下: 冠状动脉图像边缘清晰, 无运动伪影者为 5 分; 图像边缘略模糊, 有轻度运动伪影者为 4 分; 图像边缘中度模糊, 有中度运动伪影、但没有明显错层, 不影响诊断者为 3 分; 边缘模糊、运动伪影明显者为 2 分; 冠状动脉管腔不能辨认、无法诊断者为 1 分。3 分及以上者为可诊断图像。对于存在显著钙化的血管段不做评价。

(2) 图像质量客观评价: 将最佳重建时相的薄层横断位在原始轴面图像上进行图像客观指标的测量, 测量时固定窗宽 800 HU, 窗位 100 HU。分别于左主干、左前降支近段、左回旋支近段、右冠状动脉近段 4 个部位设定 ROI, ROI 选取圆形或椭圆形且不包括血管壁的最大面积值, 尽量避开管壁的钙化、斑块和斑块区域, 测量其 CT 值, 并以其标准差作为图像噪声; 测量左主干层面前胸壁肌肉组织的 CT 值, 并以标准差作为背景噪声, ROI 尽量避开脂肪组织和骨伪影较多区域。计算信噪比 (SNR),  $SNR = \text{管腔平均 CT 值} / \text{管腔 CT 值的标准}$

偏差 (SD); 对比噪声比 (CNR),  $CNR = (\text{管腔平均 CT 值} - \text{前胸壁肌组织平均 CT 值}) / \text{肌组织 CT 值的 SD}$ ; 图像优良指数 (FOM),  $FOM = CNR^2 / \text{有效剂量} (E)$ 。

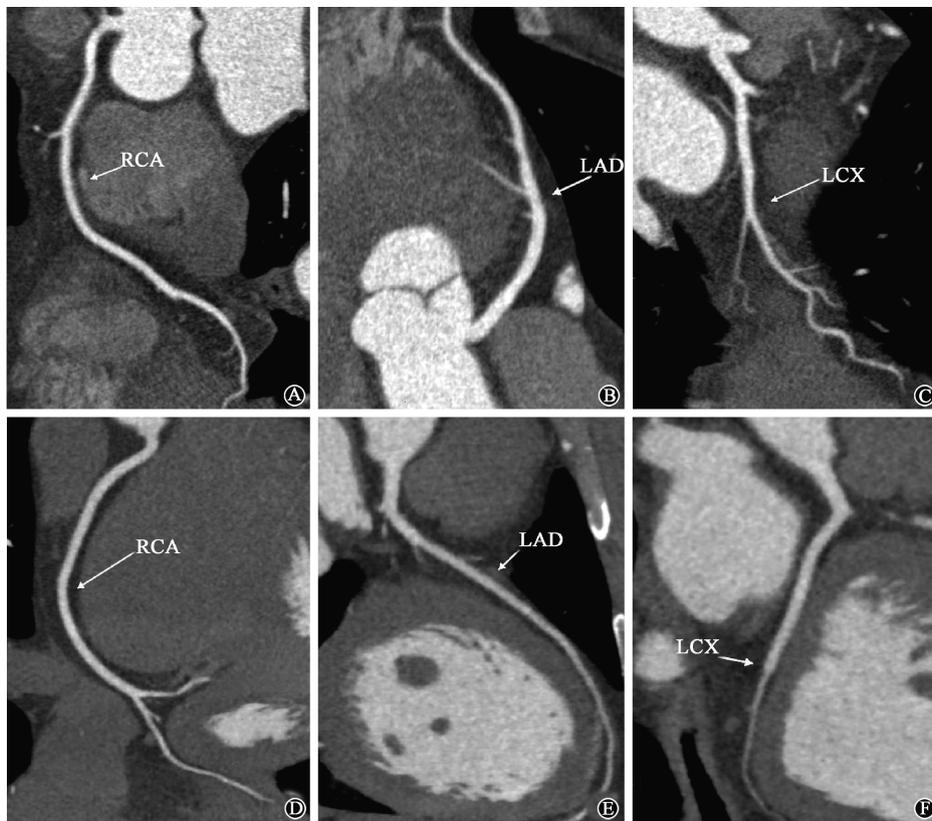
5. 辐射剂量及总碘量评价: 仅统计了 CTCA 的辐射剂量, 不包括定位像和触发扫描的辐射剂量。自动记录每例患者检查时由计算机自动生成的容积 CT 剂量指数 (CTDI<sub>vol</sub>) 和剂量长度乘积 (DLP), 由 DLP 乘以特定的转换系数  $k$  来计算  $E$ , 转换系数  $k$  值采用 0.014 mSv·mGy<sup>-1</sup>·cm<sup>-1</sup>。计算碘摄入量 (包括总碘量及碘注入率), 计算公式: 总碘量 (g) = 对比剂浓度 (mg/ml) × 对比剂使用量 (ml) / 1 000, 碘注入率 (g/s) = 对比剂浓度 (mg/ml) × 对比剂注射速率 (ml/s) / 1 000。

6. 注射对比剂相关不适感: 注射对比剂相关不适感是指注射对比剂后产生的冷感、热感及疼痛感。冠状动脉 CTA 检查完成后询问每例患者是否有注射对比剂相关不适感, 并根据强度分为轻、中、重三度<sup>[8]</sup>。

7. 统计学处理: 计量资料均用  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 SPSS 19.0 软件进行分析, 应用两独立样本  $t$  检验, 比较两组患者的基本资料 (如年龄、BMI、心率等)、图像质量、有效剂量等; 应用  $\chi^2$  检验, 比较两组计数资料间的差异。利用 Kappa 检验, 评价 2 名医师诊断的一致性, Kappa 值为 0.81 ~ 1.00 时, 表示吻合度非常强; Kappa 值为 0.61 ~ 0.80 时, 表示吻合度较强; Kappa 值为 0.41 ~ 0.60 时, 表示吻合度一般; Kappa 值 < 0.40 时, 表示吻合度差。两组间注射对比剂相关不适感采用精确概率法进行比较。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

1. 两组一般资料与图像质量主观评价: 两组患者的年龄、性别、BMI 和心率等平均数据均差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。两组冠状动脉主观图像质量评分的分布结果列于表 2。48 例共 567 个冠状动脉节段用于主观图像质量评价两组的图像质量, 其中, 解剖变异未显示或管腔直径 < 1.5 mm 未评价。对照组 24 例 279 支冠状动脉节段中 96.4% (269/279) 可用于诊断, 试验组 24 例 288 支冠状动脉节段中 97.2% (280/288) 可用于诊断。对照组和试验组的冠状动脉图像如图 1 所示。两组图像质量评分分别为 (4.47 ± 0.77) 和 (4.53 ± 0.71) 分, 两组结果差



注:RCA. 右冠状动脉; LAD. 左前降支; LCX. 左回旋支

图 1 对照组和试验组各冠状动脉主干曲面重建图 A. 对照组右冠状动脉曲面重建图; B. 对照组前降支曲面重建图; C. 对照组回旋支曲面重建图; D. 试验组右冠状动脉曲面重建图; E. 试验组前降支曲面重建图; F. 试验组回旋支曲面重建图

Figure 1 Curved planar reconstruction (CPR) map of coronary artery in control and test groups A. CPR map of right coronary artery (RCA) in control group; B. CPR map of left anterior descending artery (LAD) in control group; C. CPR map of left circumflex artery (LCX) in control group; D. CPR map of RCA in test group; E. CPR map of LAD in test group; F. CPR map of LCX in test group

表 2 两组冠状动脉主观图像质量评分的分布

Table 2 Comparison of the coronary artery image quality scores between the two groups

评分	对照组		试验组	
	节段数	构成比 (%)	节段数	构成比 (%)
1	0	0	0	0
2	10	3.6	8	2.8
3	17	6.1	13	4.5
4	83	29.7	84	29.2
5	169	60.6	183	63.5
合计	279		288	

注:对照组 24 例; 试验组 24 例

异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。两位观察者的一致性良好 ( $Kappa = 0.88, P < 0.05$ )。

2. 两组患者图像质量客观评价: 两组患者冠状动脉各节段客观评分比较结果列于表 3。所有患者图像 CT 值均高于 300 HU, 两组图像平均 CT 值差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。两组间各段 SNR、CNR 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 与对照组相比,

试验组各段 FOM 明显增高 ( $t = -9.250、-8.604、-9.158、-5.341, P < 0.05$ )。

3. 辐射剂量及碘摄入量的评价: 两组患者的有效剂量和碘摄入量比较结果列于表 4。由表 4 可知, 试验组患者的  $CTDI_{vol}$  和  $E$  值均明显低于对照组 ( $t = 7.647、8.373, P < 0.01$ ), 试验组  $E$  值较对照组降低约 55.7%; 两组所用造影剂量差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 但试验组接受的总碘量和碘注入率均低于对照组 ( $t = 7.628、8.480, P < 0.01$ )。

4. 注射对比剂相关的不适感: 48 例患者中, 对照组有 22 例 (91.7%) 发生注射对比剂相关的不适感, 试验组有 9 例 (37.5%) 发生注射对比剂相关不适感, 试验组注射对比剂相关不适感的发生率低于对照组。两组间注射对比剂相关的不适感发生的频率及程度见表 5。以注射对比剂不适感为分析单位, 试验组的热感及疼痛感的发生率均明显低于对照组 ( $\chi^2 = 18.70、6.25, P < 0.05$ )。

表 3 两组患者冠状动脉各节段客观评分比较( $\bar{x} \pm s$ )

Table 3 Comparison of the imaging parameters and the image quality of different sections of the coronary artery( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	左主干				前降支			
		CT 值(HU)	CNR	SNR	FOM	CT 值(HU)	CNR	SNR	FOM
对照组	24	399.3 ± 41.2	12.4 ± 3.8	11.8 ± 1.5	92.8 ± 15.8	391.9 ± 43.1	12.5 ± 3.2	9.7 ± 1.2	90.0 ± 16.2
试验组	24	388.6 ± 30.9	14.6 ± 2.8	12.0 ± 1.9	158.4 ± 25.3	386.37 ± 31.2	14.4 ± 2.6	9.8 ± 1.5	153.2 ± 25.9
<i>t</i> 值		1.473	-1.955	-0.439	-9.250	0.699	-1.941	-0.286	-8.604
<i>P</i> 值		>0.05	>0.05	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05	>0.05	<0.05

组别	例数	左回旋支				右冠状动脉			
		CT 值(HU)	CNR	SNR	FOM	CT 值(HU)	CNR	SNR	FOM
对照组	24	389.3 ± 38.4	11.9 ± 3.4	11.9 ± 1.2	88.5 ± 14.8	393.9 ± 52.3	12.4 ± 3.1	12.2 ± 1.9	92.0 ± 12.2
试验组	24	382.7 ± 30.3	14.2 ± 2.9	12.5 ± 2.3	153.4 ± 26.2	386.8 ± 35.2	14.2 ± 2.6	12.6 ± 2.3	168.2 ± 73.2
<i>t</i> 值		0.893	-2.215	-1.222	-9.158	0.697	-1.971	-0.864	-5.341
<i>P</i> 值		>0.05	>0.05	>0.05	<0.05	<0.05	>0.05	>0.05	<0.05

注: CNR. 对比信噪比; SNR. 信噪比; FOM. 图像优良指数

表 4 两组患者的有效剂量和碘摄入量比较( $\bar{x} \pm s$ )

Table 4 Comparison of the radiation dose, total iodine, and iodine uptake rate between the two groups( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	E (mSv)	造影剂量 (ml)	总碘量 (g)	碘注入率 (g/s)
对照组	24	18.60 ± 6.25	3.64 ± 1.09	74.80 ± 9.82	27.30 ± 4.28	2.31 ± 0.30
试验组	24	8.10 ± 2.16	1.61 ± 0.41	77.47 ± 11.79	20.90 ± 3.18	1.74 ± 0.26
<i>t</i> 值		7.647	8.373	-1.015	7.628	8.480
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	>0.05	<0.01	<0.01

注: CTDI<sub>vol</sub>. 容积 CT 剂量指数; E. 有效剂量

表 5 两组间注射相关不适感的频率及程度的比较

Table 5 Comparison of the frequency and degree of injection-related discomfort

不适感分类	对照组		试验组		$\chi^2$ 值	<i>P</i> 值
	例数	构成比 (%)	例数	构成比 (%)		
热感					18.70	<0.05
无	3	12.5	15	62.5		
轻度	10	41.7	8	33.3		
重度	11	45.8	1	4.2		
冷感					1.41	>0.50
无	24	100.0	23	95.8		
轻度	0	0	1	4.2		
重度	0	0	0	0		
疼痛感					6.25	<0.05
无	17	70.8	23	95.8		
轻度	6	25.0	1	4.2		
重度	1	4.2	0	0		

注: 对照组 24 例; 试验组 24 例

## 讨 论

肥胖患者使冠状动脉 CTA 图像质量明显下降, 并可造成诊断准确率降低<sup>[9]</sup>。Alkadhi 等<sup>[10]</sup>发现患者 BMI > 26.0 kg/m<sup>2</sup> 时, 不能用于评价的冠状动脉节段数从 1.4% 升至 2.4%, 原因可能是 X 射线光子散射以及衰减增加, 导致图像噪声增加, SNR 和 CNR 降低。为了得到较好的图像质量, 在肥胖患者

冠状动脉 CTA 检查时, 往往需要提高管电压和增加对比剂量, 使得肥胖患者接受的辐射剂量及短时间内的碘摄入量均较高, 容易引起或加重肾功能损伤, 严重时易并发对比剂肾病。有研究对比了几种不同浓度对比剂 CT 冠状动脉的成像效果, 当采用相同对比剂总量、相同流率时, 低浓度组的冠状动脉强化效果明显低于高浓度组, 这可能会导致冠状动脉图像质量和狭窄评价准确性的降低<sup>[11]</sup>。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, 但增加注射流率大大增加了对比剂外渗的风险。而使用高浓度对比剂, 由于黏稠度明显增加, 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, 可以降低患者的肾脏碘负荷, 对比剂外渗风险也明显下降, 但是靶血管的强化程度也会下降, 而低 kV 扫描可以弥补 CT 值的不足。

对于低 kV 扫描, X 射线光子平均能量更接近碘的 k 缘, 康普顿散射降低, CT 值增加, 辐射剂量降低<sup>[12]</sup>, 这为低浓度对比剂的使用提供了依据。研究表明, 冠状动脉增强后 CT 值在 250 ~ 300 HU, 即可达到诊断要求。在冠状动脉 CTA 中, 并非一味地追求高浓度为优, 浓度过高不利于钙化斑块的显示, 血管强化过于明显时, 减小了管腔与管壁钙化的密

度差,并且若强化过高,还会由于高浓度伪影的干扰而掩盖非钙化斑块的检出<sup>[13]</sup>。本研究采用相同的对比剂注射时间(12 s),根据体质量个性化设置对比剂剂量和对比剂流率。尽管试验组的总碘量和碘注入率分别减低了 23.4% 和 24.3%,但低 kV 扫描后,两组冠状动脉各分支主干强化 CT 值均 > 300 HU,且差异均无统计学意义,完全达到诊断要求。本研究结果进一步证实了低 kV 扫描升高血管 CT 值的作用。本研究中试验组联合运用了多种降低辐射剂量的技术,即轴面容积扫描、低管电压技术(100 kV)、前瞻性门控数据采集技术结合 AIDR-3D 重建算法,得到的有效剂量为 1.61 mSv,较对照组 3.64 mSv 降低约为 55.7%。较以前报道的螺旋扫描模式下,肥胖患者所接受的  $E$  为 8.8 mSv 和 < 22 mSv<sup>[9, 14]</sup>;对于 BMI > 30 kg/m<sup>2</sup> 或胸壁较厚的患者,使用 320 排容积 CT 行冠状动脉 CTA 检查,患者所接受的辐射剂量为 5.2 ~ 18.1 mSv<sup>[15]</sup>,明显降低。近年来,为了标准化比较不同辐射剂量对图像质量的影响,提出了 FOM 概念,将图像对比度、噪声和辐射剂量综合考虑,其数值越高,表示 CT 图像的优良指数越高<sup>[16]</sup>。与对照组相比,试验组冠状动脉 CNR 值无明显下降,但由于  $E$  值下降幅度大,最终使得试验组 FOM 值增大,提示采用 100 kV 管电压可以提高冠状动脉 CTA 图像的优良指数。更重要的是,使用低浓度等渗对比剂的患者可以明显减少对比剂注入的相关不适感。

辐射剂量与管电压的平方成正比。在冠状动脉 CTA 检查时,使用低管电压(100 kV)是降低患者辐射剂量的有效方法<sup>[17]</sup>。然而,通常情况下 100 kV 用于 BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> 或体质量 < 85 kg 的患者。

低 kV 会导致图像噪声和伪影增加,使图像质量明显降低,在肥胖患者中表现尤为显著。这是由于 X 射线光子能量的降低,使得对 kV 值高敏感的硬线束伪影随之增加,这一限制使得低 kV 技术难以发挥其优势,且无法在临床得以广泛应用。

新近应用于临床的 AIDR-3D 迭代重建算法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,可以大幅度提高图像重建速度,减少蜡像样伪影,在重建图像时使噪声降低,提高 SNR 和 CNR。这一优势已在以往报道中得到验证<sup>[9, 12, 18]</sup>,这为低管电压在肥胖患者中的应用提供了保证。有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,但所得的图像会有较为严重的“模糊”效应,影响病变的判断,因此,一般推荐使用中等强度迭代值<sup>[12]</sup>。因此,本研究采用 50% AIDR 值进行迭代重建,以达到控制图像噪声和提高图像质量的目的。本研究中对 24 例肥胖患者使用低管电压扫描序列结合 AIDR-3D 重建算法,得到了与常规 120 kV 扫描序列结合 FBP 重建算法相似的图像噪声、SNR、CNR,另外,两组图像质量评分差异无统计学意义,与其他学者在正常体质量指数患者的研究结果一致<sup>[19-20]</sup>。

本研究的不足在于评价冠状动脉 CTA 图像时,未以冠状动脉造影为标准,评价其诊断冠状动脉狭窄的准确率;样本量较小,虽然本研究入选病例为连续病例,但绝大部分肥胖患者为 WHO 分类 I 级肥胖患者,研究结果是否适合用于 II 和 III 级肥胖患者尚需进一步研究观察。

总之,在肥胖人群中,使用等渗低浓度对比剂及迭代重建算法,进行低管电压冠状动脉检查是可行的,可以在不降低图像质量的前提下,大幅度减低辐射剂量和碘摄入量。并且,使用低浓度等渗对比剂,可以明显减少患者的不适感。

**利益冲突** 本研究接受宁波市社会发展科研项目(2011C50075)资助,进行“低剂量冠状动脉 CTA”相关研究,本人与本人家属、其他研究者,未因进行该研究而接受任何不正当的职务或财务津贴,并对研究的独立性和科学性予以保证

**作者贡献声明** 潘宇宁设计研究方案,收集数据后统计并起草论文;李爱静分析及数据统计;任大卫、王健协助提供符合病例并分析数据;陈晓敏、黄求理指导、监督试验进行,修改论文;陈兆乾负责进行试验,执行扫描方案

## 参 考 文 献

- [1] Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CT: myth or reality? [J]. Radiology, 2002, 223 (1): 5-6. DOI: 10.1148/radiol.2231012100.
- [2] Zheng M, Wu Y, Wei M, et al. Low-concentration contrast medium for 128-slice dual-source CT coronary angiography at a very low radiation dose using prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition [J]. Acad Radiol, 2015, 22(2): 195-202. DOI: 10.1016/j.acra.2014.07.025.
- [3] Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, et al. A low tube voltage technique reduces the radiation dose at retrospective ECG-gated cardiac computed tomography for anatomical and functional analyses [J]. Acad Radiol, 2011, 18(8): 991-999. DOI: 10.1016/j.acra.2011.03.007.
- [4] Neeffes LA, Dharampal AS, Rossi A, et al. Image quality and radiation exposure using different low-dose scan protocols in dual-source CT coronary angiography: randomized study [J].

- Radiology, 2011, 261 ( 3 ): 779-786. DOI: 10.1148/radiol.11110606.
- [5] Abbbara S, Arbab-Zadeh A, Callister TQ, et al. SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2009, 3 (3): 190-204. DOI:10.1016/j.jcct.2009.03.004.
- [6] 潘昌杰,王涛,钱农,等. 等渗低浓度对比剂冠状动脉 CT 低剂量成像的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48 (10): 800-804. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.10.004.
- Pan CJ, Wang T, Qian N, et al. Preliminary study of low-dose CT coronary angiography by using low concentration isotonic contrast agent [J]. Chin J Radiol, 2014, 48 (10): 800-804. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2014.10.004.
- [7] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, 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.
- [8] Manke C, Marcus C, Page A, et al. Pain in femoral arteriography. A double-blind, randomized, clinical study comparing safety and efficacy of the iso-osmolar iodixanol 270 mg I/ml and the low-osmolar iomeprol 300 mgI/ml in 9 European centers [J]. Acta Radiol, 2003, 44 (6): 590-596. DOI: 10.1046/j.1600-0455.2003.00129.x.
- [9] Wang R, Schoepf UJ, 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 Radiol, 2012, 81(11): 3141-3145. DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.04.012.
- [10] Alkadhhi H, Scheffel H, Desbiolles L, et al. Dual-source computed tomography coronary angiography: influence of obesity, calcium load, and heart rate on diagnostic accuracy [J]. Eur Heart J, 2008, 29 (6): 766-776. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn044.
- [11] Cademartiri F, Mollet NR, van der Lugt A, et al. Intravenous contrast material administration at helical 16-detector row CT coronary angiography: effect of iodine concentration on vascular attenuation [J]. Radiology, 2005, 236 (2): 661-665. DOI: 10.1148/radiol.2362040468.
- [12] Yoo RE, Park EA, Lee W, et al. Image quality of adaptive iterative dose reduction 3D of coronary CT angiography of 640-slice CT: comparison with filtered back-projection [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013, 29 (3): 669-676. DOI: 10.1007/s10554-012-0113-6.
- [13] Leber AW, Becker A, Knez A, et al. Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound [J]. J Am Coll Cardiol, 2006, 47 (3): 672-677. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.10.058.
- [14] Chinnaiyan KM, McCullough PA, Flohr TG, et al. Improved noninvasive coronary angiography in morbidly obese patients with dual-source computed tomography [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2009, 3 (1): 35-42. DOI: 10.1016/j.jcct.2008.11.003.
- [15] Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2008, 24 (5): 535-546. DOI: 10.1016/j.jcct.2008.11.003.
- [16] Schindera ST, Nelson RC, Mukundan S Jr, et al. Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multi-detector row CT for enhanced detection-phantom study [J]. Radiology, 2008, 246 (1): 125-132. DOI: 10.1148/radiol.2461070307.
- [17] 潘宇宁,黄求理,任大卫,等. 320 层容积 CT 超低剂量扫描在冠状动脉成像中的应用 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32 (4): 420-424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.025.
- Pan YN, Huang QL, Ren DW, et al. Application value of low radiation dose coronary angiography using 320-slice volume CT [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2012, 32 (4): 420-424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.025.
- [18] Di Cesare E, Gennarelli A, Di Sibio A, et al. Assessment of dose exposure and image quality in coronary angiography performed by 640-slice CT: a comparison between adaptive iterative and filtered back-projection algorithm by propensity analysis [J]. Radiol Med, 2014, 119 (8): 642-649. DOI: 10.1007/s11547-014-0382-3.
- [19] Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study [J]. Am J Roentgenol, 2009, 193 (3): 764-771. DOI: 10.2214/AJR.09.2397.
- [20] Moscarello A, Takx RA, Schoepf UJ, et al. Coronary CT angiography: image quality, diagnostic accuracy, and potential for radiation dose reduction using a novel iterative image reconstruction technique-comparison with traditional filtered back projection [J]. Eur Radiol, 2011, 21 (10): 2130-2138. DOI: 10.1007/s00330-011-2164-9.

(收稿日期:2015-07-10)