

Feasibility of 80 kVp tube voltage coronary CTA combined with volume-based adaptive statistical iterative reconstruction in overweight or class I obesity patients

DU Jingbo^{*}, REN Ahong, LI Zhenwu, GUO Xiaohui, YANG Tao

(Department of Radiology, People's Hospital of Beijing Daxing District, Beijing 102600, China)

[Abstract] **Objective** To explore the feasibility of using 80 kVp tube voltage coronary CTA (CCTA) combined with volume-based adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR-V) in overweight or class I obesity patients. **Methods** Totally 120 overweight or class I obesity patients who underwent CCTA were randomly divided into 80 kVp group or 100 kVp group (each $n=60$), and 60% ASiR-V was used for image reconstructions. The image quality, CT value, SNR, contrast noise ratio (CNR), CT dose index volume (CTDIvol), dose length product (DLP), contrast agent dose and effective radiation dose were compared between the two groups. **Results** There was no significant difference of image quality score between 2 groups ($P>0.05$). There were statistical differences of CTDIvol, DLP, contrast agent dose and effective radiation dose between 2 groups (all $P<0.05$). There was no significant difference of CT values in aortic root, right coronary artery, left anterior descending branch nor left circumflex branch between 2 groups (all $P>0.05$). No significant difference of SNR nor CNR of right coronary artery, left anterior descending branch and left circumflex branch was found between 2 groups (all $P>0.05$). **Conclusion** Adopting 80 kVp tube voltage combined with 60% ASiR-V image reconstruction for CCTA in overweight or class I obesity patients can obtain equivalent image quality to 100 kVp tube voltage, while the contrast agent dose and effective radiation dose are reduced.

[Keywords] overweight; contrast media; coronary artery disease; tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.issn.1672-8475.2020.05.008

80 kVp 管电压冠状动脉 CTA 联合 ASiR-V 图像重建用于超重和 I 级肥胖患者的可行性

杜静波^{*}, 任阿红, 李振武, 郭小会, 杨 涛

(北京市大兴区人民医院放射科, 北京 102600)

[摘 要] **目的** 探讨 80 kVp 管电压冠状动脉 CTA (CCTA) 联合体积自适应统计迭代重建-V (ASiR-V) 图像重建应用于超重和 I 级肥胖患者的可行性。 **方法** 将 120 例接受 CCTA 检查的超重和 I 级肥胖患者随机分为 80 kVp 组和 100 kVp 组, 每组 60 例, 分别于 80、100 kVp 管电压下行 CCTA, 并采用权重为 60% 的 ASiR-V 进行图像重建。对比 2 组图像质量, 各部位 CT 值、SNR、对比噪声比 (CNR)、容积 CT 剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP)、对比剂剂量及有效辐射剂量。 **结果** 80 kVp 组和 100 kVp 组图像质量评分差异无统计学意义 ($P>0.05$)。2 组 CTDIvol、DLP、对比剂剂量、有效辐射剂量差异均有统计学意义 (P 均 <0.05)；2 组主动脉根部、右冠状动脉、左前降支及左回旋支 CT 值差异无统计学意义, 右冠状动脉、左前降支及左回旋支 SNR、CNR 差异无统计学意义 (P 均 >0.05)。 **结论** 80 kVp 管电压 CCTA 联合 60% ASiR-V 图像重建应用

[基金项目] 北京市大兴区科技发展计划项目 (KT201902314-01)。

[第一作者] 杜静波 (1971—), 女, 山东临清人, 本科, 副主任医师。研究方向: 心血管影像诊断。

[通信作者] 杜静波, 北京市大兴区人民医院放射科, 102600。E-mail: djblej@163.com

[收稿日期] 2019-10-30 **[修回日期]** 2020-02-10

于超重和Ⅰ级肥胖患者,可获得与 100 kVp 管电压相当的图像质量,且对比剂剂量及有效辐射剂量均减少。

[关键词] 超重;造影剂;冠状动脉疾病;体层摄影术,X 线计算机

[中图分类号] R723.14; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8475(2020)05-0289-05

冠心病是常见严重心脏病之一^[1-2],肥胖和超重者常存在动脉粥样硬化,使冠心病发病率增加^[3]。冠状动脉 CTA(coronary CTA, CCTA)是有效诊断冠心病的非侵入性技术^[4-5],而降低辐射剂量和对比剂用量是临床关注的重点^[6-8]。自适应统计迭代重建-V(adaptive statistical iterative reconstruction V, ASiR-V)是有效降低低剂量 CT 扫描相关噪声的后处理方法^[9-10]。本研究观察对超重和Ⅰ级肥胖患者行 80 kVp 管电压 CCTA 后,以 ASiR-V 图像重建的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 10 月—2019 年 6 月 120 例于北京市大兴区人民医院接受 CCTA 检查的超重[体质量指数(body mass index, BMI)≥25 kg/m², 72 例]和Ⅰ级肥胖(25 kg/m²<BMI<35 kg/m², 48 例)患者,男 51 例,女 69 例,年龄 25~84 岁,平均(58.6±8.5)岁。纳入标准:超重或Ⅰ级肥胖,临床疑似冠状动脉狭窄及血流动力学异常;疑似冠心病,运动试验结果不确定;疑似冠状动脉解剖异常;长期不明原因胸痛,其他检查无异常发现。排除标准:碘对比剂过敏;妊娠;严重肾功能不全(肌酐清除率≤120 μmol/L)、心脏功能不全或无法屏气接受 CCTA 检查;冠状动脉旁路移植手术史。

将患者随机分为对比剂 80 kVp 组($n=60$)和 100 kVp 组($n=60$)。80 kVp 组男 27 例,女 33 例,平均年龄(59.0±9.4)岁;100 kVp 组男 24 例,女 36 例,平均年龄(58.3±7.6)岁。本研究经院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 GE Revolution、GE Healthcare CT 扫描仪,16 cm 宽体探测器,ECG 触发轴位扫描模式,准直仪 256 mm×0.625 mm,旋转时间 0.28 s/rot, z 轴覆盖范围为 16 cm。扫描前训练患者屏气,严格控制心率于 70 次/分以下;对心率较快者于扫描前 1 h 给予口服 25 mg 美托洛尔控制心率。扫描范围自气管分叉水平至横膈,覆盖整个心脏(150 mm×150 mm~180 mm×180 mm)。根据 BMI 和管电压调整管电流(330~550 mA)。

以碘海醇注射液(350 mg/ml)为对比剂,采用双桶高压注射器经右肘正中静脉以 5 ml/s 流率注射,剂量

为 0.6 ml/kg 体质量,而后以相同流率注入 30 ml 生理盐水。以对比剂示踪技术在主动脉根部水平选择 ROI(10 mm×10 mm)检测 CT 值,达 150 HU 后延迟 5.9 s 自动触发扫描,在一个心动周期完成 CCTA 扫描。监测设备于扫描过程中同步记录 ECG 并计算心率。

1.3 图像重建与后处理 在 GE Healthcare ADW4.7 后处理工作站,采用权重为 60% 的 ASiR-V 进行图像重建,包括最大密度投影、曲面重建和容积重建;步骤依次为自动峰相、ECG 编辑和多相选择。设备自动重构最佳相位,存在伪影时,执行 ECG 编辑;心率<65 次/分时行半扫描重建或多扇区重建,重建厚度 0.5 mm,间隔 0.25 mm。

1.4 图像质量评估 由 2 名分别具有 8 年和 12 年工作经验的放射科医师采用盲法于 GE Healthcare ADW4.7 工作站上根据美国心脏协会冠状动脉分段标准^[2]对原始轴位图像、曲面重建和容积重建图像中的所有冠状动脉节段(直径>1.5 mm)进行评估^[2],4 分为优良,3 分良好,2 分中等,1 分较差。评分标准:4 分,图像解剖细节清晰,边缘锐利,无明显噪声;3 分,图像解剖细节尚清晰,噪声稍增加;2 分,显示大部分解剖结构,可满足诊断,噪声明显但可接受;1 分,解剖细节模糊,辨识困难,噪声明显。

1.5 相关指标观察 选择窗宽 800 HU、窗位 100 HU 测量血管。分别于强化后左冠状动脉主干、左前降支、左回旋支和右冠状动脉根部勾画 4 个圆形或椭圆形 ROI,避开管壁钙化和斑块,测量 ROI 内 CT 值,以其标准差(standard deviation, SD)为图像噪声;避开脂肪组织和骨骼伪影,测量前胸壁肌肉组织 CT 值,将其标准差(SD_{肌肉})作为背景噪声。计算右冠状动脉、左前降支及左回旋支 SNR 及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR),SNR=管腔平均 CT 值/管腔 CT 值标准差,CNR=(管腔平均 CT 值-前胸壁肌肉组织平均 CT 值)/前胸壁肌肉组织 CT 值标准差。计算 CCTA 辐射剂量,不包括定位图像扫描和触发扫描。计算机自动生成并记录每例患者的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),计算对比剂剂量及有效辐射剂量(E)。对比剂剂量=体质量×0.6(ml/kg)。E=DLP×0.014。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 23.0 统计分析软件。

以 $\bar{x} \pm s$ 表示正态分布的计量资料, 组间比较采用两独立样本 t 检验; 采用百分比或率表示计数资料, 以 χ^2 检验进行比较。采用 $Kappa$ 检验评估 2 名医师对图像质量评分的一致性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 80 kVp 组与 100 kVp 组患者性别、年龄、BMI、心率差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), CTDIvol、DLP、对比剂剂量、E 差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05), 见表 1。

2.2 图像质量评分 120 例患者中, CCTA 共评估 1 676 个冠状动脉节段, 另 124 个节段由于解剖学差异或直径 < 1.5 mm 而未予评估。96.00% (1 609/1 676) 冠状动脉节段图像质量评分为 2~4 分, 可满足诊断需要, 其中 80 kVp 组占比 95.20% (773/812), 100 kVp 组占比 96.76% (836/864)。2 名医师对

100 kVp 组图像质量的总体主观评价及对右冠状动脉、左前降支、左回旋支图像质量评价的一致性的 $Kappa$ 值分别为 0.940、0.889、0.872 及 0.858, 80 kVp 组分别为 0.890、0.845、0.841 及 0.904。2 名医师对 2 组图像质量主观评分的差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。见图 1、2。

2.3 CT 值、SNR 及 CNR 2 组间主动脉根部、右冠状动脉、左前降支及左回旋支 CT 值差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), $SD_{肌肉}$ 差异有统计学意义 ($P = 0.011$), 见表 2; 2 组间右冠状动脉、左前降支及左回旋支 SNR、CNR 差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。见表 3。

3 讨论

CCTA 已成为临床检查冠状动脉疾病的重要手段, 虽为非侵袭性检查, 但辐射剂量是 CAG 的 3~5 倍, 尤其对于肥胖患者, 降低 CCTA 辐射剂量是临床亟待解决的问题^[11-13]。

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	男/女	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	心率(次/分)	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy·cm)	对比剂剂量(ml)	E(mSv)
100 kVp 组($n=60$)	24/36	58.3±7.6	27.03±1.86	62.65±6.49	18.45±2.58	258.67±36.12	48.23±2.16	3.62±0.51
80 kVp 组($n=60$)	27/23	59.0±9.4	27.26±1.61	60.60±14.81	8.43±1.36	121.83±53.64	22.76±2.01	2.21±0.05
χ^2/t 值	0.162	0.574	-0.724	0.983	26.612	16.391	66.866	21.313
P 值	0.623	0.482	0.562	0.074	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.036

表 2 2 组各部位 CT 值比较(HU, $\bar{x} \pm s$)

组别	CT 值				$SD_{肌肉}$
	主动脉根部	右冠状动脉	左前降支	左回旋支	
100 kVp 组	554.81±37.23	493.13±32.62	472.63±25.34	437.40±19.41	28.11±7.93
80 kVp 组	549.24±28.91	487.50±42.71	468.12±43.14	425.83±20.72	29.62±5.52
t 值	0.92	0.80	0.69	3.17	-1.22
P 值	0.41	0.37	0.19	0.26	0.01

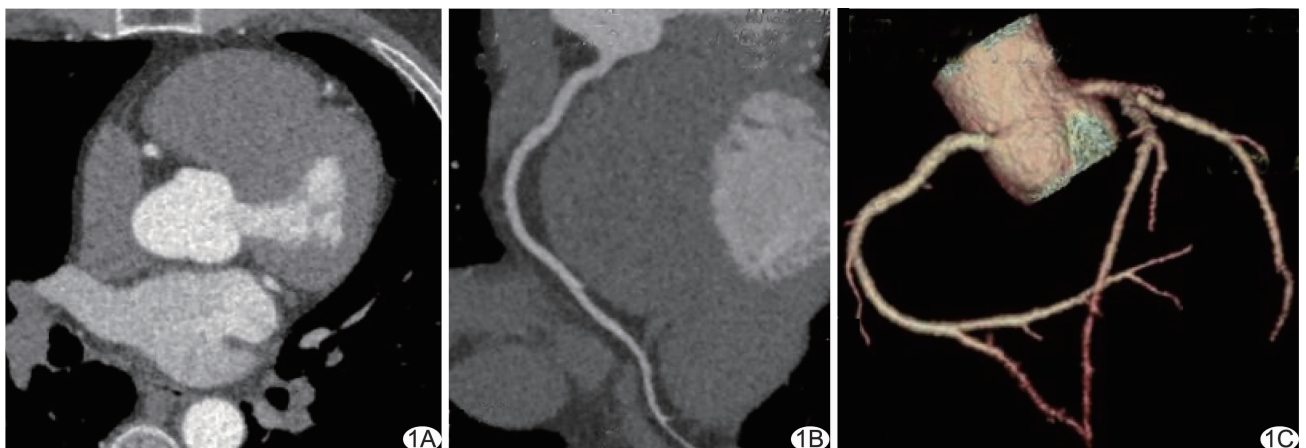


图 1 患者女, 45 岁, 100 kVp 组, BMI=30.8 kg/m² A~C. 分别为轴位(A)、曲面重建(B)及容积重建(C)CT 图像, 图像质量均良好, 无明显运动伪影

表 3 2 组各部位 SNR 及 CNR 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	SNR			CNR		
	右冠状动脉	左前降支	左回旋支	右冠状动脉	左前降支	左回旋支
100 kVp 组	17.80±2.83	17.42±3.03	17.14±2.82	25.81±4.32	24.52±3.73	22.32±5.41
80 kVp 组	19.31±2.52	19.03±3.21	18.60±1.91	27.10±2.62	26.14±5.22	25.72±2.91
t 值	3.09	2.83	3.43	2.00	1.94	4.30
P 值	0.07	0.09	0.16	0.09	0.14	0.08

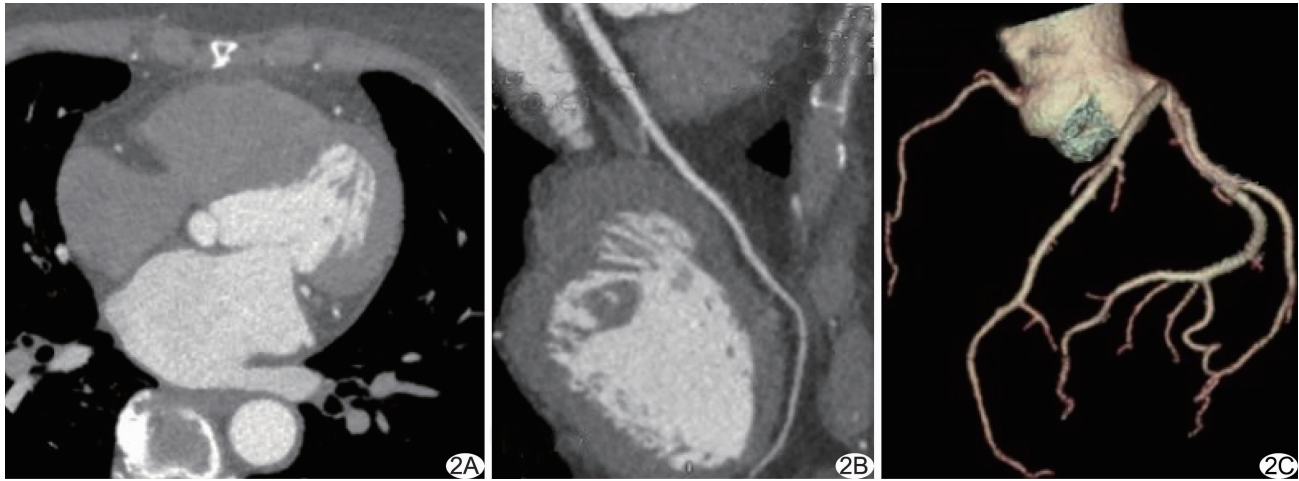


图 2 患者男,45 岁,80 kVp 组,BMI=28.7 kg/m² A~C. 分别为轴位(A)、曲面重建(B)及容积重建(C)CT 图像,均显示冠状动脉边界清晰,无明显运动伪影

崔明雨等^[14]采用第 3 代双源 CT 心电门控技术联合个体化双低技术行冠状动脉 CTA,认为可降低对比剂剂量及辐射剂量,且图像质量较高。LIANG 等^[15]以相同型号 CT 扫描仪对超重[BMI 为(25.6±3.5)kg/m²]及心率加快患者采用 100 kVp 或 120 kVp 自动管电压完成 CCTA 扫描,并选择权重 50% 的 ASiR-V 进行图像重建,均获取得满意的 CCTA 图像。MANGOLD 等^[16]根据扫描剂量将接受 CCTA(第 3 代双源 CT 和自动选择管电压)的肥胖患者分为<120 kVp 组($n=46$)和≥120 kVp 组($n=30$),结果显示<120 kVp 组诊断准确率更高。

ASiR-V 是可有效降低低剂量 CT 扫描相关噪声的后处理方法。任占丽等^[17]报道,采用后置 ASIR-V 重建,可显著降低门静脉图像噪声、提高图像质量;利用权重为 80% 的 ASIR-V 重建算法,可获得最佳门静脉图像。吕培杰等^[18]发现,前置 ASIR-V 可在保证图像质量的前提下明显降低辐射剂量,腹部前置 ASIR-V 的权重推荐为 40%~60%。本研究分别采用 100 kVp、80 kVp 管电压对超重和 I 级肥胖患者行 CCTA 扫描,并以权重 60% 的 ASiR-V 进行图像重建,图像质量均较好,且 2 组冠状动脉各主要分支 CT

值差异均无统计学意义,图像 SNR 和 CNR 差异亦无统计学意义。既往研究^[11-13]报道,对肥胖患者行 CCTA 检查时,可使用低浓度对比剂和低管电压。SHEN 等^[12]对肥胖患者使用低管电压/低浓度碘剂量对比剂(双低)方案,发现不仅图像可满足诊断要求,还能减少扫描过程中碘摄入量和辐射剂量^[11,19]。本研究中 80 kVp 组辐射剂量及对比剂剂量均低于 100 kVp 组,与既往研究^[11,19]结果相符,提示对于超重和 I 级肥胖患者,与传统 100 kVp CCTA 扫描相比,结合使用 80 kVp 与 ASiR-V 算法可显著降低有效辐射剂量和对比剂用量,而未降低图像质量。本研究中成功对超重和肥胖患者进行低剂量 CCTA 检查,与选择了适当权重的 ASiR-V 进行图像重建有关,经预实验确定后,选取权重 60% 的 ASiR-V 对 80 kVp 低剂量组进行图像重建与 CHEN 等^[20]所用方案相似,图像质量均达到诊断要求,且对比剂剂量减低可有效减少对比剂肾病发生。

本研究的主要不足:①样本量较小;②未与金标准 DSA 进行对照,无法评价诊断冠状动脉狭窄的准确性。

综上所述,对超重和 I 级肥胖患者行 80 kVp 管

电压 CCTA 后以权重 60% 的 ASiR-V 进行图像重建, 可获得与 100 kVp 管电压相当的图像质量, 且对比剂剂量及有效辐射剂量均有所减少。但本研究例数相对少, 有待进一步完善。

〔参考文献〕

- [1] SIONTIS G C, MAVRIDIS D, GREENWOOD J P, et al. Outcomes of non-invasive diagnostic modalities for the detection of coronary artery disease: Network meta-analysis of diagnostic randomised controlled trials[J]. *BMJ*, 2018(360):k504.
- [2] CURY R C, ABBARA S, ACHENBACH S, et al. Coronary artery disease-reporting and data system (CAD-RADS): An expert consensus document of SCCT, ACR and NASCI: Endorsed by the ACC[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(9):1099-1113.
- [3] ANTONOPOULOS A S, OIKONOMOU E K, ANTOIADES C, et al. From the BMI paradox to the obesity paradox: The obesity-mortality association in coronary heart disease[J]. *Obes Rev*, 2016, 17(10):989-1000.
- [4] SUN Z, JIANG W. Diagnostic value of multislice computed tomography angiography in coronary artery disease: A meta-analysis[J]. *Euro J Radiol*, 2006, 60(2):279-286.
- [5] FOY A J, DHRUVA S S, PETERSON B, et al. Coronary computed tomography angiography vs functional stress testing for patients with suspected coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis[J]. *JAMA Intern Med*, 2017, 177(11):1623-1631.
- [6] EMAMI H, TAKX R A P, MAYRHOFFER T, et al. Nonobstructive coronary artery disease by coronary CT angiography improves risk stratification and allocation of statin therapy[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(9):1031-1038.
- [7] PUCHNER S B, FERENCIK M, MAEHARA A, et al. Iterative image reconstruction improves the accuracy of automated plaque burden assessment in coronary CT angiography: A comparison with intravascular ultrasound[J]. *AJR*, 2017, 208(4):777-784.
- [8] OHNO Y, KOYAMA H, SEKI S, et al. Radiation dose reduction techniques for chest CT: Principles and clinical results[J]. *Eur J Radiol*, 2019(111):93-103.
- [9] BENZ D C, GRANI C, MIKULICIC F, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction-V: Impact on image quality in ultralow-dose coronary computed tomography angiography[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2016, 40(6):958-963.
- [10] MANGOLD S W J, SCHOEPUF U J, LITWIN S E, et al. Coronary CT angiography in obese patients using 3 (rd) generation dual-source CT: Effect of body mass index on image quality[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(9):2937-2946.
- [11] SUN G, HOU Y B, ZHANG B, et al. Application of low tube voltage coronary CT angiography with low-dose iodine contrast agent in patients with a BMI of 26-30 kg/m² [J]. *Clin Radiol*, 2015, 70(2):138-145.
- [12] SHEN Y, HU X, ZOU X, et al. Did low tube voltage CT combined with low contrast media burden protocols accomplish the goal of "double low" for patients? An overview of applications in vessels and abdominal parenchymal organs over the past 5 years [J]. *Int J Clin Pract*, 2016, 70 (Suppl 9B): B5-B15.
- [13] ZHANG F, YANG L, SONG X, et al. Feasibility study of low tube voltage (80 kVp) coronary CT angiography combined with contrast medium reduction using iterative model reconstruction (IMR) on standard BMI patients [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1058):20150766.
- [14] 崔明雨, 张永高, 刘杰, 等. 第三代双源 CT 个体化“双低”技术在冠状动脉成像中的应用 [J]. *中国介入影像与治疗学*, 2019, 16(1):52-56.
- [15] LIANG J, WANG H, XU L, et al. Diagnostic performance of 256-row detector coronary CT angiography in patients with high heart rates within a single cardiac cycle: A preliminary study [J]. *Clin Radiol*, 2017, 72(8):694e7-694e14.
- [16] MANGOLD S, WICHMANN J L, SCHOEPUF U J, et al. Diagnostic accuracy of coronary CT angiography using 3rd-generation dual-source CT and automated tube voltage selection: Clinical application in a non-obese and obese patient population [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(6):2298-2308.
- [17] 任占丽, 胡智军, 李豆, 等. 不同比例多模型迭代重建对“三低”CT 门静脉成像图像质量的影响 [J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(10):1568-1573.
- [18] 吕培杰, 柴亚如, 阎晓朋, 等. CT 能谱智能匹配技术联合自适应统计迭代重组技术对腹部低对比剂量扫描图像质量和辐射剂量的影响 [J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50(2):122-127.
- [19] GEBHARD C, FUCHS T A, FIECHTER M, et al. Image quality of low-dose CCTA in obese patients: Impact of high-definition computed tomography and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2013, 29(7):1565-1574.
- [20] CHEN Y, LIU Z, LI M, et al. Reducing both radiation and contrast doses in coronary CT angiography in lean patients on a 16 cm wide-detector CT using 70 kVp and ASiR-Valgorithm, in comparison with the conventional 100 kVp protocol [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(6):3036-3043.