

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2020.02.002
文章编号: 1005-8982 (2020) 02-0006-08

IMR、iDose⁴及FBP结合不同管电压 冠状动脉CT成像的实验研究

蒋骏¹, 雷益¹, 温红², 林一钦², 黄美萍³, 陈子满⁴

[1. 深圳市第二人民医院 (深圳大学第一附属医院) 医学影像科, 广东 深圳 518000; 2. 惠州市中心人民医院 医学影像部, 广东 惠州 516000; 3. 广东省人民医院 心导管室, 广东 广州 510030; 4. 中山大学附属第五医院 超声医学科, 广东 珠海 519000]

摘要: 目的 探讨全模型迭代重建 (IMR)、高级混合迭代重建 (iDose⁴) 及滤波反投影 (FBP) 重建算法在不同管电压条件下冠状动脉CT成像中对图像质量的影响。**方法** 选取小型猪5只, 每只猪均进行120、100及80 kV管电压并分别作为A、B、C组。前瞻性心电门控冠状动脉256层螺旋CT扫描, 并将原始数据进行FBP、iDose⁴及IMR重建算法, 比较各组重建图像客观指标 (包括噪声、信噪比、对比噪声比及左主干开口处主动脉CT值), 并对图像质量进行主观评分。**结果** 不同管电压条件下IMR重建较iDose⁴、FBP重建噪声小 ($P < 0.05$), iDose⁴较FBP噪声大 ($P < 0.05$); 不同重建方法同一组内主观评分比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 且80 kV条件下IMR重建图像噪声较120 kV条件下的iDose⁴、FBP低 ($P < 0.05$)。C组辐射剂量仅为A组的33.68%。**结论** 在冠状动脉CT成像中, IMR较iDose⁴和FBP显著提高图像质量, 用80 kV低电压扫描结合IMR重建方法既降低了辐射剂量, 又提高了图像质量。

关键词: 冠状动脉; 体层摄影术, X线计算机; iDose⁴; IMR; 低剂量

中图分类号: R814.42

文献标识码: A

Assessment of IMR, iDose⁴ and FBP in coronary CT angiography performed at different tube energies: an animal study

Jun Jiang¹, Yi Lei¹, Hong Wen², Yi-qin Lin², Mei-ping Huang³, Zi-man Chen⁴

(1. Department of Radiology, Shenzhen Second People's Hospital, Shenzhen, Guangdong 518000, China; 2. Department of Medical Imaging, Huizhou Municipal Central Hospital, Huizhou, Guangdong 516000, China; 3. Cardiac Catheterization Laboratory, Guangdong General Hospital, Guangzhou, Guangdong 510030, China; 4. Department of Ultrasound, The Fifth Affiliated Hospital Sun Yat-Sen University, Zhuhai, Guangdong 519000, China)

Abstract: Objective To investigate the performance of a knowledge-based iterative reconstruction (iterative model reconstruction - IMR) compared to filtered back projection (FBP) and a hybrid iterative reconstruction technique (iDose⁴) in coronary CT angiography under different tube voltages. **Methods** Five miniature pigs underwent prospective axial ECG-gated coronary 256-slice spiral CT angiography at different tube voltages including 120, 100 and 80 kV (group A, B and C). All original data were reconstructed using the FBP, iDose⁴ and IMR algorithms. The objective indices of the reconstructed images, including image noise, signal-to-noise ratio

收稿日期: 2019-07-27

[通信作者] 陈子满, E-mail: winsonchan1990@qq.com; Tel: 0752-2288288

(SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), and mean CT value of the aortic root were compared among the three groups reconstructed by the different algorithms. A 5-point scale was used to assess subjective image quality of coronary segments and images with a score of ≥ 4 as a good criterion. **Results** At all three tube voltages, the IMR algorithm consistently yielded a lower noise and a higher CNR than iDose⁴ and FBP ($P < 0.05$). The differences of subjective scores among different reconstruction methods in the same group were all statistically significant ($P < 0.05$). In addition, at 80 kV, the image noise in IMR reconstruction was lower than in iDose⁴ and FBP reconstructions at 120 kV ($P < 0.05$); the radiation dose in group C was only 33.68% of that in group A. **Conclusions** Compared to iDose⁴ and FBP algorithms, iterative model reconstruction (IMR) algorithm significantly improves the image quality of 256-slice coronary CT angiography. A combination of low tube voltage (80 kV) and IMR algorithm can help reduce radiation dose and improve image quality.

Keywords: coronary vessels; tomography, x-ray computed; iDose⁴; imr; low-dose

冠状动脉 CT 成像应用越来越普遍, 既降低辐射剂量又满足诊断需求具有重大临床意义。传统的滤波反投影 (filtered back projection, FBP) 图像重建速度快、稳定, 但对噪声敏感, 降低辐射空间有限^[1]。高级混合迭代重建 (iDose⁴) 是第 4 代重建算法, 可降低图像噪声和 X 射线辐射^[2]; 全模型迭代重建 (iterative model reconstruction, IMR) 是在 iDose⁴ 上的又一个飞跃, 但国内外多为应用于胸腹部的报道^[3-5]。本研究以猪为实验模型, 比较 IMR、iDose⁴ 及 FBP 对不同管电压条件下前瞻性心电门控冠状动脉多层螺旋 CT 成像质量的影响, 探讨 IMR 在冠状动脉 CT 成像中提高图像质量, 降低辐射剂量的应用价值, 为临床应用提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 一般资料

选用健康小型猪 5 只, 其中雌性 4 只, 雄性 1 只; 猪龄 300 ~ 400 d; 体重 37 ~ 42 kg, 平均 (39.5 ± 2.00) kg; 平均胸围 (50.20 ± 0.57) cm。螺旋 CT 检查前基础麻醉肌内注射氯胺酮 10 mg/kg+ 地西洋 0.4 mg/kg, 维持麻醉用耳缘静脉注入丙泊酚 10 mg/kg。检查前预留好静脉留置针。每次扫描前可适当对实验动物按情况适量增加麻醉剂量, 实验过程中要密切关注实验动物的心肺功能, 尽量避免在实验过程中发生意外, 单天实验结束后送回饲养点控制体重喂养, 下次实验时再从饲养点运送过来, 直至实验结束。

1.2 方法

1.2.1 检查方法 采用荷兰 Philips 公司的 Brilliance 256 层 CT 扫描仪行前瞻性心电门控增强扫描。实验动物仰卧固定于扫描床上, 扫描范围自主动脉弓水平

至左膈面下 2 cm, 由头侧向足侧扫描。扫描延迟时间的确定采用对比剂示踪法, 注射对比剂后 7 s 跟踪监测, 将感兴趣区设在降主动脉处, 阈值为 180 HU, 触发后延迟 7 s 开始扫描。同一只猪每 2 次扫描间经过一段洗脱期 (此期间一直静脉滴注生理盐水, 及时更换导尿管, 每次平扫间隔时间不断延长至与前次平扫测量部位血管内 CT 值相近, 防止造影剂稽留) 直至全部扫描完成。

1.2.2 扫描参数 管电压分别为 120 kV、100 kV 及 80 kV, 分别作为 A、B 和 C 组。其中 A 组为常规剂量扫描。各组管电流 120 mAs, 准直 128 层 × 0.625 mm, 螺距 0.18 mm, 管球旋转时间 0.27 s/r, 重组间隔 0.625 mm。CT 检查中降心率药物为艾斯洛尔, 由兽医根据现场实验猪心率情况给予适当剂量静脉推注, 推注过程中观察心率变化, 目标心率 70 次/min, 实际检查中控制心率 58 ~ 86 次/min, 当达到或接近目标心率后及时启动增强扫描。经耳缘静脉留置针用双筒高压注射器注入非离子对比剂 (欧乃派克, 350 mg/ml, 美国 GE 药业公司, 注射总量 50 ml) + 生理盐水 20 ml, 注射流率 3.5 ml/s。

1.2.3 图像后处理 对所有原始数据分别用 FBP、iDose⁴ (Level 4 级) 及 IMR (Routine 2 级) 重建方法进行处理, 形成 A1、A2、A3、B1、B2、B3、C1、C2 及 C3 图像。在心动周期的 40%、45%、50%、或 70%、75%、80% 时进行图像重建, 筛选出质量最佳的图像进行后处理, 图像重组方法包括: 容积再现、多平面重建。

1.3 图像质量评价

1.3.1 客观评价 将 3 种不同重建算法所得图像同时调入 Philip 工作站, 使用同一屏幕, 采用原始轴位

图像,对各组图像在相同层面同时进行测量。在主动脉根部层面测量两侧竖脊肌中央的 CT 值(记为 SI),感兴趣区取 $(100 \pm 1) \text{ mm}^2$,噪声定义为测量 CT 值的标准差,左、右各重复测量 3 次,取其平均值。信噪比(signal to noise ratio, SNR)定义为左主干开口处主动脉 CT 值与其标准差的比值,上下层面重复 3 次,取其平均值,测量中要尽量避开主动脉瓣的影响。对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)定义为主动脉根部 CT 值与竖脊肌 CT 值的差与竖脊肌标准差的商。所有的测量由 1 位有经验的心血管影像学医师完成。

1.3.2 主观评价 对猪冠状动脉采取 9 段分段法,由 2 位具有 ≥ 5 年冠状动脉 CT 阅片经验的放射科医师采用双盲法分别对 9 组图像质量进行评价;对评分结果行一致性组间检验,其中 1 位医师对图像质量评价前后间隔 4 个星期,将 2 次结果行一致性组内检验。采用 5 分法评价冠状动脉图像,1 分:血管图像质量差,对比度差,伪影重,血管错层,不能评估。2 分:血管图像较差,边缘模糊不清,伪影较重,管腔不均质。3 分:血管图像边缘模糊,管腔内欠均质,有伪影,噪声大,但尚能接受。4 分:血管图像对比度可,边缘较清晰,管腔内质地均匀,伪影少,噪声小。5 分:血管图像对比度佳,边缘清晰锐利,管腔内质地均匀,无伪影^[9]。 ≥ 3 分为满足临床诊断需要图像,其中 3 分为基本满足诊断要求, ≥ 4 分为图像优良。

1.3.3 辐射剂量计算 本实验仅统计增强后冠状动脉 CT 血管造影辐射剂量,定位图及平扫未纳入统计范围。由计算机计算出增强扫描序列的 CT 剂量容积指数及剂量长度乘积。

1.4 统计学方法

数据分析采用 SPSS 21.0 统计软件。计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用方差分析,进一步两两比较用 LSD-*t* 检验;等级资料以等级表示,比较用秩和检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组不同条件下 CT 值比较

A、B、C 组 FBP、iDose⁴ 及 IMR 重建的图像 CT 值比较,经方差分析,差异无统计学意义($P > 0.05$);各重建方法不同管电压条件下的 CT 值比较,经方差

分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),进一步两两比较,120 kV 低于 100 kV ($P < 0.05$),100 kV 低于 80 kV ($P < 0.05$)。重建方法对主动脉 CT 值不构成影响,主动脉 CT 值的大小与管电压有关,且随管电压下降,主动脉 CT 值升高。见表 1、2 和图 1A。

2.2 各组不同条件下噪声比较

A、B、C 组 FBP、iDose⁴、IMR 重建的图像噪声比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),进一步两两比较,FBP 大于 iDose⁴ ($P < 0.05$),iDose⁴ 高于 IMR ($P < 0.05$)。各重建方法不同管电压条件下噪声比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),进一步两两比较,120 kV 低于 100 kV ($P < 0.05$),100 kV 低于 80 kV ($P < 0.05$)(见表 1、2 和图 1B)。80 kV 条件下的 IMR 重建图像(C3)与 120 kV 条件下 FBP(A1)、iDose⁴ 重建图像(A2)的噪声比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),IMR 小于 FBP、iDose⁴ ($P < 0.05$)(见表 3)。噪声与管电压有关,随电压减低,噪声升高,其中 FBP 重建方法受管电压影响最大,噪声升高斜率最高,IMR 随电压变化噪声斜率最低。噪声与重建方法有关,同一管电压下,IMR 重建噪声最小,FBP 噪声最大。

2.3 各组不同条件下 SNR 比较

A、B、C 组 FBP、iDose⁴、IMR 重建的图像 SNR 比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),进一步两两比较,FBP 低于 iDose⁴ ($P < 0.05$),iDose⁴ 低于 IMR ($P < 0.05$)(见表 1 和图 1C)。IMR 重建的 80 kV 图像(C3)与 120 kV 条件下 FBP(A1)、iDose⁴ 重建图像(A2)的 SNR 比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),IMR 高于 FBP、iDose⁴ ($P < 0.05$)(见表 3)。SNR 与电压有关,FBP、iDose⁴ 重建下随电压的下降 SNR 下降,在 80 kV 时最低;IMR 重建下电压 100 kV 时 SNR 最低。主要是因为,电压下降,噪声上升,主动脉 CT 值亦上升,所以两者的比值 SNR 变化幅度较小。

2.4 各组不同条件下 CNR 比较

A、B、C 组 FBP、iDose⁴、IMR 重建图像 CNR 比较,经方差分析,差异有统计学意义($P < 0.05$),进一步两两比较,FBP 低于 iDose⁴ ($P < 0.05$),iDose⁴ 低于 IMR ($P < 0.05$)。各重建方法不同管电压条件下的图像 CNR 比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)(见表 1、2 和图 1D) IMR 重建的 80 kV 图像与 120 kV 条件

表1 不同管电压条件下FBP、iDose⁴及IMR重建方法的CT值、噪声、SNR、CNR比较 ($n=5, \bar{x} \pm s$)

组别	CT值/HU	噪声/HU	SNR	CNR
A组				
FBP	487.60 ± 34.93	48.60 ± 8.91	9.93 ± 1.54	9.09 ± 1.70
iDose ⁴	492.00 ± 34.05	30.80 ± 5.63	15.26 ± 2.44	14.55 ± 2.89
IMR	485.40 ± 26.12	11.80 ± 2.17	37.49 ± 5.37	37.52 ± 6.95
F值	0.055	43.912	86.324	57.291
P值	0.946	0.000	0.000	0.000
B组				
FBP	646.40 ± 80.07	59.40 ± 7.92	8.81 ± 1.98	10.09 ± 2.47
iDose ⁴	651.60 ± 81.65	37.40 ± 7.77	14.77 ± 1.94	16.61 ± 5.26
IMR	646.40 ± 80.07	13.60 ± 1.51	31.83 ± 1.99	42.54 ± 6.99
F值	0.033	89.749	184.242	53.493
P值	0.968	0.000	0.000	0.000
C组				
FBP	827.00 ± 59.74	88.00 ± 6.78	5.62 ± 1.09	8.85 ± 1.19
iDose ⁴	820.00 ± 78.69	63.70 ± 9.82	9.55 ± 2.41	12.23 ± 2.84
IMR	855.60 ± 67.10	21.50 ± 3.87	35.69 ± 8.26	38.10 ± 8.45
F值	0.374	179.724	33.268	28.413
P值	0.696	0.000	0.000	0.001

表2 FBP、iDose⁴及IMR条件下不同管电压的CT值、噪声、SNR、CNR比较 ($n=5, \bar{x} \pm s$)

重建方法	CT值/HU	噪声/HU	SNR	CNR
FBP				
120 kV	487.60 ± 34.93	48.60 ± 8.91	9.93 ± 1.54	9.09 ± 1.70
100 kV	646.40 ± 80.07	59.40 ± 7.92	8.81 ± 1.98	10.09 ± 2.47
80 kV	827.00 ± 59.74	88.00 ± 6.78	5.62 ± 1.09	8.85 ± 1.19
F值	38.618	33.054	10.065	0.625
P值	0.000	0.000	0.003	0.552
iDose⁴				
120 kV	492.00 ± 34.05	30.80 ± 5.63	15.26 ± 2.44	14.55 ± 2.89
100 kV	651.60 ± 81.65	37.40 ± 7.77	14.77 ± 1.94	16.61 ± 5.26
80 kV	820.00 ± 78.69	63.70 ± 9.82	9.55 ± 2.41	12.23 ± 2.84
F值	28.783	24.113	9.664	1.635
P值	0.000	0.000	0.003	0.236
IMR				
120 kV	485.40 ± 26.12	11.80 ± 2.17	37.49 ± 5.37	37.52 ± 6.95
100 kV	646.40 ± 80.07	13.60 ± 1.51	31.83 ± 1.99	42.54 ± 6.99
80 kV	855.60 ± 67.10	21.50 ± 3.87	35.69 ± 8.26	38.10 ± 8.45
F值	40.151	18.152	1.244	0.672
P值	0.000	0.000	0.323	0.529

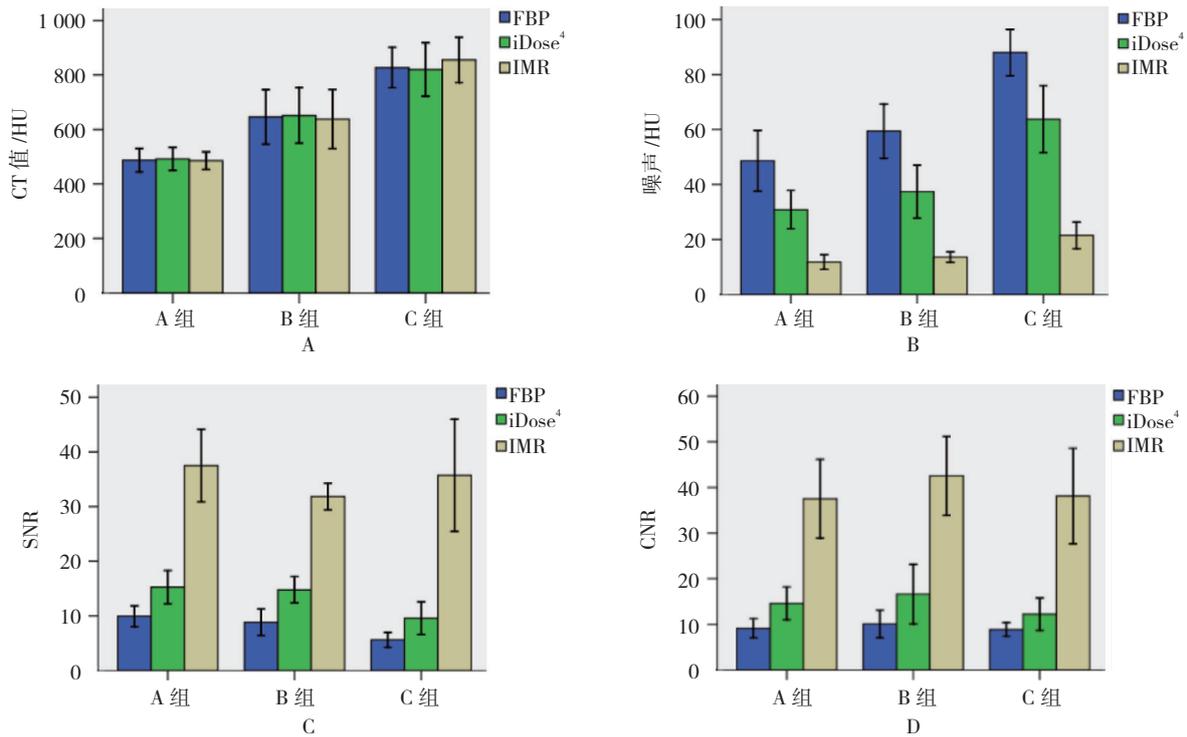


图 1 各组不同条件下 CT 值、噪声、SNR 及 CNR 比较 (n=5, $\bar{x} \pm s$)

下 FBP (A1)、iDose⁴ 重建图像 (A2) 的 CNR 比较, 经方差分析, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), IMR 高于 FBP、iDose⁴ ($P < 0.05$) (见表 3)。CNR 与电压关系不大, 在同一种电压条件下, IMR 重建的 CNR 最好, iDose⁴ 其次, FBP 最差。

2.5 各组图像质量比较

对 5 只健康猪共 45 段冠状动脉进行评价, 所有冠状动脉未见狭窄及钙化, 均纳入评价范围。前后 2 次评价一致性良好 ($\kappa = 0.805, P = 0.000$), 2 次评价组间一致性良好 ($\kappa = 0.826, P = 0.000$)。各重建方法图像质量主观评分比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$) (见表 4)。A、B、C 组不同重建方法下 ≥ 4 分血管比例比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), IMR 图像

为优良的血管段比例最高, FBP 图像质量最差 (见表 5)。不同重建方法下冠状动脉近段 80 kV 中 ≥ 4 分血管比例比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 不同重建方法下冠状动脉远段 80、100 kV 中 ≥ 4 分血管比例比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), IMR 对远段血管的显示较其他 2 种方法优势明显 (见表 6 和图 2、3)。

2.6 各组辐射剂量比较

由于猪体重指数及辐射吸收剂量缺失, 很难给予确切的吸收剂量, 本文以剂量长度乘积来比较。A、B、C 组 CT 剂量容积指数、剂量长度乘积的比较, 经方差分析, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。C 组辐射剂量仅为 A 组的 33.68%。见表 7。

表 3 A1、A2、C3 图像的 CT 值、噪声、SNR、CNR 比较 (n=5, $\bar{x} \pm s$)

图像	CT 值 /HU	噪声 /HU	SNR	CNR
A1	487.60 ± 34.93	48.60 ± 8.91	9.93 ± 1.54	9.09 ± 1.70
A2	492.00 ± 34.05	30.80 ± 5.63	15.26 ± 2.44	14.55 ± 2.89
C3	855.60 ± 67.10	21.50 ± 3.87	35.69 ± 8.26	38.10 ± 8.45
F 值	97.219	22.574	26.897	29.584
P 值	0.000	0.000	0.001	0.000

表4 不同重建方法下各组图像质量主观评分比较

重建方法	A组					B组					C组				
	5分	4分	3分	2分	1分	5分	4分	3分	2分	1分	5分	4分	3分	2分	1分
FBP	9	17	18	1	0	0	8	27	10	0	0	4	33	8	0
iDose ⁴	11	18	14	2	0	5	14	20	6	0	1	13	29	2	0
IMR	21	15	9	0	0	22	13	6	4	0	13	20	10	1	1
H值	9.524					35.509					41.606				
P值	0.009					0.000					0.000				

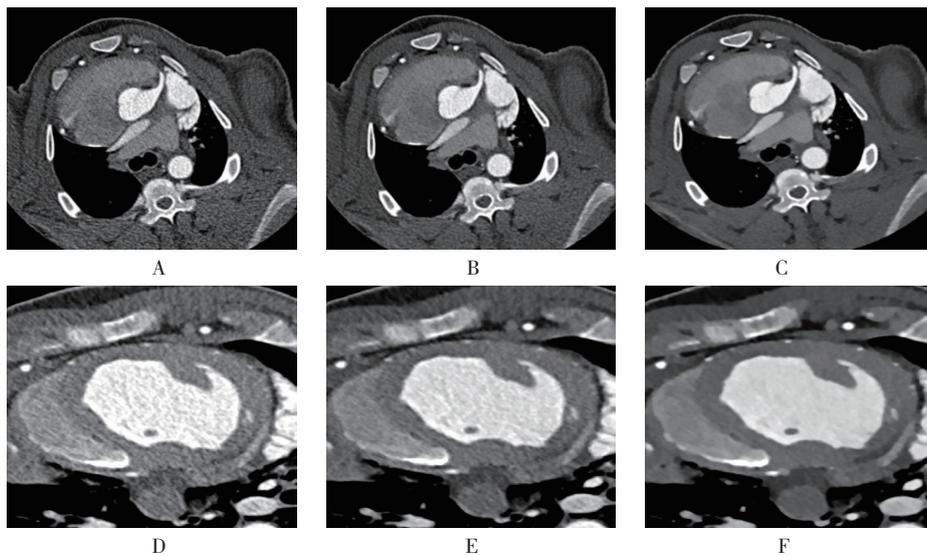
注:表中数字代表得分频数。

表5 各组不同重建方法下≥4分血管比例比较 [n=45,例(%)]

组别	FBP	iDose ⁴	IMR	χ ² 值	P值
A组	26(58)	29(64)	36(80)	5.327	0.070
B组	8(18)	19(42)	35(78)	32.989	0.000
C组	4(9)	14(31)	33(73)	41.029	0.000

表6 不同重建方法下冠状动脉近段、远段≥4分血管的比例比较 [n=20,例(%)]

重建方法	近段			远段		
	120 kV	100 kV	80 kV	120 kV	100 kV	80 kV
FBP	15(75)	8(40)	4(20)	4(27)	0(0)	0(0)
iDose ⁴	15(75)	13(65)	13(65)	5(33)	3(20)	0(0)
IMR	18(90)	15(75)	16(80)	10(67)	8(53)	8(53)
χ ² 值	1.875	5.417	15.758	5.648	11.791	19.459
P值	0.392	0.067	0.000	0.059	0.003	0.000



A、B、C分别为FBP、iDose⁴及IMR重建方法在120 kV管电压下的冠状动脉近段图片,左主干图像均优秀,评分为5分。D、E、F分别为同一次检查下的FBP、iDose⁴、IMR重建图片,左冠状动脉前降支中远段、第一对角支、钝缘支、右冠脉主干远段图像质量差别大,IMR仍为5分,iDose⁴其次,FBP重建图像质量最差,噪声大,血管边缘模糊。

图2 不同重建方法下冠状动脉近段、远段主观图像

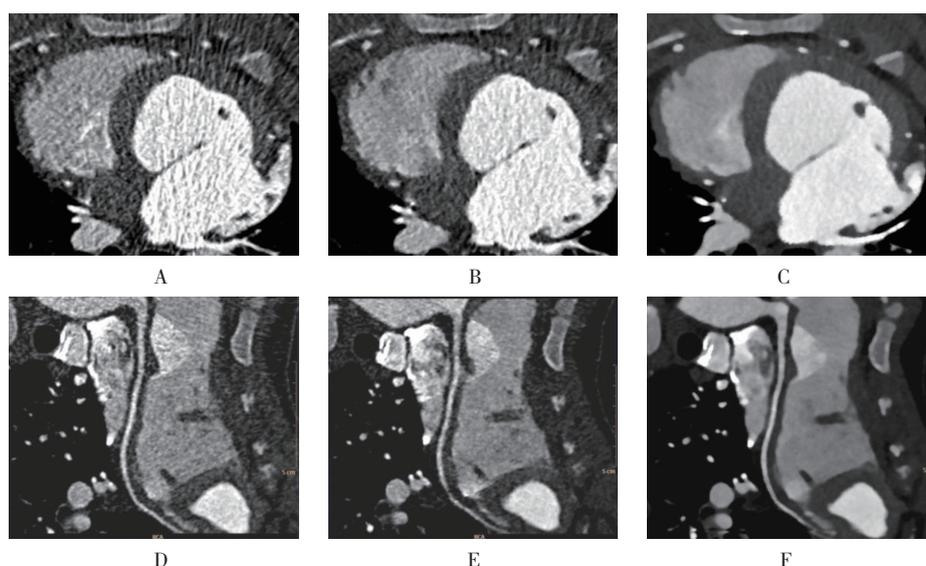


图 3 不同重建方法下冠状动脉主观图像

A、B、C 分别为 FBP、iDose⁴ 及 IMR 重建方法在 80 kV 管电压下的冠状动脉中段截面图，A 的噪声最大，血管边缘模糊，C 的主观评分 5 分。D、E、F 分别为 FBP、iDose⁴ 及 IMR 重建方法下右冠脉主干的多平面重建图，D 的血管壁毛糙，管腔内噪声大，主观评分 3 分；E 对比 D 无本质变化；F 的血管壁光滑，近、中、远段主观评分均 5 分。

表 7 各组辐射剂量比较 ($n=5, \bar{x} \pm s$)

组别	剂量容积指数	剂量长度乘积
A 组	23.14 ± 0.23	335.98 ± 20.75
B 组	14.44 ± 0.22	238.14 ± 29.25
C 组	7.84 ± 0.11	114.66 ± 7.07
F 值	7866.232	138.091
P 值	0.000	0.000

3 讨论

冠状动脉 CT 成像已经成为诊断和评价冠状动脉疾病一种重要的无创手段，降低其辐射剂量具有重要的临床意义。CT 原始数据的重组算法主要有 FBP 及迭代重建两大类。传统的 FBP 降低辐射剂量幅度有限，因其假定投影数据是无噪声的，当 X 射线剂量降低时，重建出的图像噪声会明显增大^[7]。近年来随着计算机发展，迭代重建的价值逐渐受到临床肯定^[7-9]。iDose⁴ 作为第 4 代重建算法，通过在投影空间和图像空间进行基于噪声模型和解剖模型系统的迭代运算，降低图像噪声^[2]；IMR 是飞利浦新一代迭代重建算法，结合了以下 4 个平台：解剖几何形态学重建平台、以 X 射线衰减特性设计的统计学模型、强化器官本身固有特性的优化功能，以及以强化目标病变的特性为临床目标的平台，与 iDose⁴ 相比增加了后 2 个平台^[9]。

本研究结果显示 iDose⁴ 重建算法较 FBP 降低图像噪声效果更好，这与既往报道一致^[10]。本研究还显示 IMR 降噪效果明显强于 iDose⁴，在 80 kV 条件下 IMR 重建的图像噪声仍较 120 kV 条件下 FBP 重建的图像噪声小，亦较 iDose⁴ 重建的图像噪声小。IMR 重建的图像 SNR、CNR 在各管电压组内亦均较 FBP 及 iDose⁴ 高。

既往研究报道，在冠状动脉低电压 80 kV 扫描结合 iDose⁴ 可获得与常规扫描相仿的图像质量^[11]。而本研究显示，IMR 重建方法较 iDose⁴ 更优秀。使用 80 kV 管电压扫描，辐射剂量降低约 66%，用 IMR 重建后其图像质量却仍优于常规 120 kV 条件下的 FBP 及 iDose⁴ 重建图像，80 kV 条件下 IMR 重建的主观图像优良率高于 120 kV 条件下 FBP 及 iDose⁴。本研究还发现，IMR 在显示冠状动脉远段血管时较 FBP 和 iDose⁴ 优势尤为显著，这在既往研究中鲜被提及^[12-13]。在 80 kV 条件下，FBP 和 iDose⁴ 重建的冠状动脉远段主观图像质量优良率均为 0%，而用 IMR 重建优良率达到 53%。

IMR 重建算法降低管电压同时又使降低对比剂用量成为可能，由于管电压下降，X 射线会因光电效应增加而大比例被碘吸收，有利于监测血管中的碘对比剂浓度^[14]。本研究显示，80 kV 扫描时 CNR 较 120 kV 时无明显下降，归功于管电压下降导致血管中对对比剂

CT值升高, NAKAURA等^[14]报道在80 kV条件下可以将对比剂用量降至50%。

本研究有一些不足:①由于猪不能配合屏气,呼吸运动伪影影响图像质量,这也是部分IMR重建血管不能满足诊断的主要原因,今后在成人研究中可加呼吸门控尝试进一步降低管电压;②本研究建立在正常猪冠状动脉模型上,未包括冠状动脉病变的模型。

综上所述,在冠状动脉CTA检查中,应用IMR重建技术可明显降低噪声、提高SNR及CNR、提高图像质量,在80 kV管电压条件下图像质量仍好于常规条件(120 kV管电压)下的FBP及iDose⁴。

参 考 文 献:

- [1] SABA L, DI MARTINO M, SIOTTO P, et al. Radiation dose and image quality of computed tomography of the supra-aortic arteries: a comparison between single-source and dual-source CT scanners[J]. *Journal of Neuroradiology*, 2018, 45(2): 136-141.
- [2] 陈博,徐雷,程建敏,等. 100 kVp 碘克沙醇联合 iDose⁴ 迭代重建技术在下肢动脉CTA成像中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(47): 3833-3838.
- [3] PARK H J, LEE J M, PARK S B, et al. Comparison of knowledge-based iterative model reconstruction and hybrid reconstruction techniques for liver CT evaluation of hypervascular hepatocellular carcinoma[J]. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 2016, 40(6): 863-871.
- [4] IYAMA Y, NAKAURA T, IYAMA A, et al. Feasibility of iterative model reconstruction for unenhanced lumbar CT[J]. *Radiology*, 2017: DOI: 10.1148/radiol.2017161966.
- [5] 方元,管宇,夏艺,等. 超低剂量条件下IMR技术对肺容积定量评估及胸部CT图像质量的影响[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(5): 860-864.
- [6] HUANG M, LIANG C, ZHAO Z, et al. Evaluation of image quality and radiation dose at prospective ECG-triggered axial 256-slice multi-detector CT in infants with congenital heart disease[J]. *Pediatric Radiology*, 2011, 41(7): 858-866.
- [7] 杨晶,高艳,李坤成,等. 比较两种低剂量CT迭代重建法与常规剂量滤波反投影重建法的图像质量[J]. *中国医学影像技术*, 2014, 30(1): 117-121.
- [8] 朱正,赵心明,周纯武. 宝石能谱单能量成像及自适应统计迭代重建技术在腹部低剂量CT扫描中的可行性研究[J]. *放射学实践*, 2017(4): 418-422.
- [9] QIAN W L, ZHOU D J, JIANG Y, et al. Ultra-low radiation dose CT angiography of the lower extremity using the iterative model reconstruction (IMR) algorithm[J]. *Clinical Radiology*, 2018, 73(11): 985.
- [10] KORDOLAIMI S D, ARGENTOS S, MADEMLI M, et al. Effect of iDose⁴ iterative reconstruction algorithm on image quality and radiation exposure in prospective and retrospective electrocardiographically gated coronary computed tomographic angiography[J]. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 2014, 38(6): 956.
- [11] WU Q, WANG Y, KAI H, et al. Application of 80-kVp tube voltage, low-concentration contrast agent and iterative reconstruction in coronary CT angiography: evaluation of image quality and radiation dose[J]. *International Journal of Clinical Practice*, 2016, 70: B50-B55.
- [12] IPPOLITO D, RIVA L, FRANZESI C R T, et al. Diagnostic efficacy of model-based iterative reconstruction algorithm in an assessment of coronary artery in comparison with standard hybrid-Iterative reconstruction algorithm: dose reduction and image quality[J]. *La Radiologia Medica*, 2018: 1-10.
- [13] ANDRÉ F, FORTNER P, VEMBAR M, et al. Improved image quality with simultaneously reduced radiation exposure: Knowledge-based iterative model reconstruction algorithms for coronary CT angiography in a clinical setting[J]. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, 2017, 11(3): 213-220.
- [14] NAKAURA T, KIDOH M, SAKAINO N, et al. Low contrast- and low radiation dose protocol for cardiac CT of thin adults at 256-row CT: usefulness of low tube voltage scans and the hybrid iterative reconstruction algorithm[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2013: 913-923.

(李科 编辑)