

· 心血管影像学 ·

评价迭代重建法与滤过反投影法在冠状动脉 CTA 检查中的价值

严诚, 陈刚, 丁玉芹, 杨雪, 陆秀良, 张利军, 曾蒙苏

【摘要】 目的: 对行冠状动脉 CTA 检查的患者原始数据应用低剂量自适应迭代重建技术(AIDR)与滤过反投影法(FBP)两种方法的图像进行比较, 旨在了解迭代重建算法的图像质量及其临床应用价值。方法: 26 例临床疑似稳定性心绞痛患者采用 320 排 CT 行冠状动脉 CTA 检查。利用 AIDR 重建的常规 X 线剂量方案扫描, 对采集得到的原始数据分别用 AIDR 和 FBP 两种方法进行图像重建。测量升主动脉开口、右冠状动脉近段、左冠状动脉主干、右冠状动脉中段、左前降支近段及左回旋支近段的 CT 值、背景 SD 并计算分析 SNR、CNR 值。比较两者的图像质量。结果: 26 例患者都在一次心动周期完成冠状动脉检查。在血管各节段测得的平均 CT 值差异无统计学意义($P>0.05$), 背景 SD 值的差异有统计学意义($P<0.001$), 计算得到的 SNR、CNR 差异有统计学意义($P<0.001$)。两组图像质量的主观评分差异有统计学意义, AIDR (3.73 ± 0.49)、FBP (3.59 ± 0.61) ($P<0.01$)。结论: 应用 AIDR 重建法的图像质量优于 FBP 重建法, 迭代重建技术可明显降低图像噪声, 改善影像质量并具有降低辐射剂量的作用。

【关键词】 冠状动脉疾病; 血管造影术; 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; R543.3; R543.5; R814.3; R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)06-0663-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.06.021

Evaluation of iterative AIDR and filtered back projection image algorithm on coronary computed tomography angiography

YAN Cheng, CHEN Gang, DING Yu-qin, et al. Department of Diagnostic Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University and Shanghai Institute of Medical Imaging, Shanghai 200032, P. R. China

【Abstract】 **Objective:** To compare the image qualities of coronary computed tomography angiography (CCTA) using adaptive iterative dose reduction (AIDR) and filtered back projection (FBP) algorithm and to evaluate the clinical value of AIDR. **Methods:** Twenty-six patients with suspected stable angina underwent regular radiation dose scanning protocol on 320 MDCT scanner. The collected raw data were then reconstructed with AIDR and FBP respectively. CT value and background SD value were measured at the aorta root, proximal and middle right coronary artery, left main coronary artery, proximal left anterior artery, as well as proximal left circumflex artery. SNR and CNR were also calculated. Two observers compared the quality of the images with subjective grading. **Results:** Twenty-six patients completed CCTA within one heart beat. The average CT attenuation measured at segments of coronary arteries was not statistically different ($P>0.05$). Background SD value, SNR and CNR calculated were statistically different ($P<0.001$). The subjective grading of image qualities between two groups were 3.73 ± 0.49 for AIDR and 3.59 ± 0.61 for FBP, respectively, and was statistically different ($P<0.01$). **Conclusion:** The quality of images reconstructed with AIDR was better than that of FBP. AIDR can reduce the imaging noise significantly, improve the image quality and help reducing radiation dose potentially.

【Key words】 Coronary artery disease; Angiography; Image processing, computer-assisted; Tomography, X-ray computed

冠状动脉 CT 血管成像 (coronary computed tomography angiography, CCTA) 自应用于临床以来, 因其以高图像空间和密度分辨率, 同时检查无创性等优势, 备受临床医生的青睐, 目前已成为临床筛查或诊断冠状动脉疾病 (尤其稳定性心绞痛) 的最主要无创手段^[1,2]。然而, CCTA 检查同时也给患者较大的辐射剂量^[3-5], 尽管近年来在降低辐射剂量的方法上, 主要技术包括自动毫安调节技术、心电门控技术、提高探测器的探测效率 (quantum detection efficiency, QDE)、

降低球管电压 kV 等, 这些技术的应用虽在一定程度上降低了辐射剂量, 但同时也增大了影像的噪声, 图像质量和诊断等受到一定影响。自 20 世纪 70 年代 CT 问世并应用于临床以来, 滤波反投影重建技术 (filtered back projection, FBP) 一直是传统的 CT 图像重建技术, 但该技术对噪声比较敏感, 降低辐射剂量的空间有限, 因此, 近 1~2 年以来, 各大医疗制造商相继推出新的迭代重建技术, 旨在保持良好图像质量前提下, 尽可能降低辐射剂量, 在业界引起较大反响。本研究利用东芝公司 320 排 MDCT (Aquilion one) 行冠状动脉 CTA 检查, 采用其低剂量自适应迭代重建技术 (adaptive iterative dose reduction, AIDR) 对同一原始数

作者单位: 200032 上海, 复旦大学附属中山医院放射诊断科/上海市影像医学研究所

作者简介: 严诚 (1986-), 男, 江苏泗阳人, 技师, 主要从事胸腹部影像技术工作。

通讯作者: 曾蒙苏, E-mail: zeng.mengsu@zs-hospital.sh.cn

据采用 ADR 和 FBP 两种算法,对图像质量、图像噪声进行分析和比较,充分了解该技术的价值,以期其在临床应用和推广。

材料与方法

1. 材料

2012 年 12 月—2013 年 3 月临床疑似稳定性心绞痛 26 例患者,行 320 排 MDCT 冠状动脉成像。排除病例:心脏支架植入后、心脏冠状动脉搭桥术后、心律失常、频发早搏。其中男 12 例,女 14 例,年龄 40~78 岁,平均(60.7±10.3)岁,身高 156~180 cm,平均(165.8±7.8)cm,体重 58~113 kg,平均(68.7±12.2)kg,心率 58~92 次/分,平均(74.7±8.7)次/分。

患者准备:排除禁忌症后,对心率>65 次/分患者 CCTA 检查前 1.0~1.5 h 口服美托洛尔(metoprolol) 25~50 mg,当患者心率降至 65 次/分左右时开始检查。并于检查前 5 min 舌下含服硝酸甘油 0.5 mg。扫描前做好屏气训练(要求平静呼吸下屏气)及其他注意事项的解释工作,尤其叮嘱患者避免各种可能的运动。

2. 影像检查方法

CCTA 检查方法:使用 Toshiba Aquilion One 320 排螺旋 CT 机。患者取仰卧位,足先进,正确连接心电图监护检测心率,嘱患者平静呼吸下屏气行胸部定位片扫描,平扫作冠脉钙化积分计算,扫描范围自气管分叉至心底,增强扫描范围同钙化积分扫描。以双筒高压注射器(Medrad stellant,美国康高美达)用 19G 头皮针于肘前静脉注射对比剂碘必乐(370 mg I/mL),注射流率 4~5 mL/s,总量为 0.8~1.0 mL/kg,注射完毕后再以相同流率注入 0.9%生理盐水 20~25 mL。扫描模式为 Volume 采集,采用 SureStart 自动触发扫描技术,监测平面定位于扫描范围的中心层面,兴趣区(region of interest, ROI)放置于胸降主动脉中心位置,14 s 后嘱患者开始屏气,当阈值<200 HU 间隔 1 s 检测一次,>200 HU 时连续追踪检测,阈值达到 300 HU 时自动触发扫描。其他扫描参数:管电压 120 kV,管电流应用 SUREExposure 3D CTA 自动毫安技术,背景标准差(standard deviation, SD)值 33,重建算法选择 ADR 3D Standard, kernel 值 FC=09, D-FOV=220 mm、0.35 s/r, 320i×0.5 mm,层厚 0.5 mm,层间距 0.5 mm。

3. CCTA 图像重建评价及数值测量

所有图像采集 70%~80% 区间,并于一次心动周期完成 CCTA 检查,选择最佳时相获得影像,然后再应用采集的原始数据,用 FBP 重建算法进行同时相重建。为避免误差除重建算法外,其他参数均保持一致。把处理完的图像传输到美国 GE 公司 centricity 影像

阅读站,并在两组横断面图像的升主动脉开口、右冠状动脉近段及中段、左冠状动脉主干、左前降支近段及左回旋支近段的同层面测量 CT 值,分析计算信号噪声比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR),且把数据传输导入东芝公司 Vitrea 工作站进行后处理,容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(MIP)及曲面重建(CPR)。

测量:所有节段测量均在两组重建图像横轴面同层面。于左冠状动脉上方 1 cm 测量升主动脉的 CT 值,同时测量该层面空气的标准差(SD)及竖脊肌 CT 值;右冠状动脉近段、左冠状动脉主干、右冠状动脉中段、左前降支近段及左回旋支近段的 CT 值测量均选择节段血管的中心,并测量同层面的空气的标准差及竖脊肌 CT 值。为避免误差以上测量都在同一位置进行 3 次测量取其平均值。

ROI 的选择根据血管的形态大小尽可能的大,并且避开斑块和狭窄及眼观密度不均匀的部分。竖脊肌 CT 值作为背景值,空气的 CT 值标准差作为噪声值(CNR):

$$\text{信噪比(SNR)} = \frac{\text{各节段血管 CT 值}}{\text{SD}}$$

$$\text{CNR} = \frac{\text{各节段血管 CT 值} - \text{竖脊肌 CT 值}}{\text{SD}}^{[1,6]}$$

主观图像质量分析由 2 名高年资医师采用盲法分别独立评价两组冠脉成像质量,当评价不一致时经协商讨论后确定。冠脉成像质量按不同节段分别进行,其中冠脉节段定义采用美国心脏协会(AHA)的 15 分段标准,但本研究仅对管径≥1.5 mm 的冠脉进行评估。冠脉节段成像质量的评价根据三维重建图像和原始横断位图像进行。三维重建图像主要用于分析冠状动脉血管的连续性及有无模糊伪影,横断位图像则用于分析有无血管边缘模糊。图像质量由低至高分分为 4 级^[1,2]: I 级,无论三维重建还是横断位图像中冠脉明显模糊或难以辨认,断层错层明显; II 级,三维重建图像中冠脉管壁可见明显伪影,横断位上管腔明显模糊; III 级,三维重建图像冠脉管壁轻度模糊,横断位图像亦有轻度边缘模糊,管腔判断尚可; IV 级,三维重建冠脉管壁连续,没有任何伪影,横断位图像腔壁光滑清晰且无模糊。III 级和 IV 级评分作为可以诊断的图像质量。客观图像质量包括测量图像 CT 值、噪声、计算分析图像 SNR 和 CNR。

4. 统计学分析

采用 IBM SPSS 19.0 统计软件,使用配对 *t* 检验比较 CT 值、噪声、SNR、CNR 数据资料。图像质量主观评价评分使用 Mann-Whitney U 检验。*P*<0.01 为差异有统计学意义。

结果

所有患者均于一次心动周期成功完成 CCTA 检查,平均心率降至(58.5±5.2)次/分。客观分析图像的各项参量统计结果(表1)。相比较于 FBP 应用 AIDR 可以明显降低图像噪声并提高图像的 SNR、CNR。

1. AIDR、FBP 两种重建算法相应的统计数据 *t* 检验分析及主观评价

测量得到冠状动脉各个节段血管同层面两者间的 CT 值无统计学差异, *P* 值(0.088、0.065、0.168、0.267、0.115)均>0.05。总之,当与应用 FBP 比较,应用 AIDR 在升主动脉开口、右冠状动脉近段、左冠状动脉主干、右冠状动脉中段、左前降支近段及左回旋支近段图像的噪声降低分别为 61.7%、63.7%、63.9%、63.5%、64.2%、64.5% (*P*<0.001); CNR 提高分别为 1.65、1.78、1.78、1.76、1.81、1.85 倍 (*P*<0.001); SNR 提高分别为 1.65、1.77、1.79、1.75、1.80、1.85 倍 (*P*<0.001, 表1); 同样辐射剂量下图像质量均优于 FBP。

表1 26例相同原始数据两种重建算法 CTCA 图像质量指标

冠脉分段	FBP	AIDR	<i>P</i> 值
升主动脉开口			
CT 值	531.7±57.3	530.4±56.1	0.055
SNR	20.1±4.2	52.4±9.4	<0.001
CNR	18.5±4.1	48.4±9.2	<0.001
噪声(HU)	27.4±5.4	10.3±1.5	<0.001
RCA 近段			
CT 值	511.7±61.3	508.4±62.3	0.088
SNR	17.0±3.8	46.7±9.3	<0.001
CNR	15.6±3.6	42.8±8.8	<0.001
噪声(HU)	30.9±5.7	11.1±1.7	<0.001
RCA 中段			
CT 值(HU)	433.4±64.3	430.2±64.6	0.065
SNR	13.9±3.5	38.1±8.5	<0.001
CNR	12.6±3.3	34.5±8.2	<0.001
噪声(HU)	32.4±6.1	11.6±1.9	<0.001
LCA 主干			
CT 值(HU)	506.1±62.5	504.4±61.3	0.168
SNR	17.8±3.6	48.6±8.1	<0.001
CNR	16.3±3.3	44.6±7.5	<0.001
噪声(HU)	29.1±5.1	10.5±1.4	<0.001
LAD 近段			
CT 值(HU)	442.9±66.6	439.9±68.4	0.267
SNR	14.5±3.2	40.2±7.6	<0.001
CNR	13.1±3.0	36.3±7.3	<0.001
噪声(HU)	31.3±5.3	11.1±1.5	<0.001
LCX 近段			
CT 值(HU)	447.9±67.9	443.3±62.5	0.115
SNR	14.6±3.4	41.1±8.0	<0.001
CNR	13.2±3.2	37.1±7.5	<0.001
噪声(HU)	31.5±5.3	11.0±1.6	<0.001

两名医师对 26 例患者共 312 个冠状动脉节段用于主观质量评价。FBP 组图像可以满足诊断的共有 292 段,占 93.59%; AIDR 组中 97.76%(305/312)段

可用于诊断, AIDR 组可用于诊断的冠脉节段数高于 FBP 组。对于图像质量的主观评分 AIDR (3.73±0.49)、FBP(3.59±0.61, *P*<0.01)。两者差异有统计学意义(表2)。同一组数据两种重建算法获得的图像,图像质量有明显的差别(图1、2)。

表2 不同重建算法冠状动脉主观图像质量评分〔%(节段)〕

评分	FBP	AIDR
4分	(203/312)65.06	(235/312)75.32
3分	(89/312)28.53	(70/312)22.44
2分	(20/312)6.41	(7/312)2.24
1分	0	0

注:使用 Mann-Whitney U 检验比较两种算法图像质量评分(*P*=0.003)。

2. 辐射剂量

26 例患者剂量长度乘积(dose-length product, DLP)为(167.17±55.59)mGy·cm,有效辐射剂量(effective dose, ED)为(2.34±0.78)mSv。计算 ED 由 DLP 乘以特定的转换系数 *k* 估量,转换系数 *k* 值

$$k=0.014\text{mSv}/(\text{mGy}\cdot\text{cm})$$

$$\text{ED}=\text{DLP}\times 0.014^{[8]}.$$

讨论

1. AIDR 与 FBP 两种重建算法技术特点

自二十世纪 70 年代 CT 用于临床以来,滤波反投影技术(filtered back projection, FBP)一直是传统的 CT 影像重建技术。FBP 算法是对每一组投影值进行校准、滤波、加权、反投影,就得到重建图像。它对采集的数据要求较高,当辐射剂量不足,投影数据采集不足,噪声较大时,重建的图像质量就可能无法满足诊断需要^[9]。随着 CT 影像技术的快速发展及计算机性能的不断提高,FBP 技术已经不能满足人们对于更高影像质量和更低辐射剂量的要求。迭代重建技术(iterative reconstruction, IR)^[10]是假设一个图像模型为起点,计算出预期影像投影,并与实际投影进行对比,每一次迭代都会将采集的数据与计算机仿真的投影数据进行比较,当重建图像和原始投影数据一致时,迭代过程就会中止。在此过程中不断降低图像噪声,经过多次迭代和校正更新重建出高质量和低噪声的图像。这些已知的信息不仅能够起到平滑图像的作用,还保留了不同结构的对比信息。与传统 FBP 算法相比^[11,12],其本身的成像方式具有降低辐射剂量可行性,迭代重建算法所需的投影数少、具有可在数据不完全和低剂量条件下成像达到高质量图像的优点。

2. AIDR 相比较 FBP 重建算法在 CCTA 检查中的优势

本研究基于同一原始数据分别应用 AIDR 和 FBP 重建技术,也就是说在同样的辐射剂量下探讨两



图1 女,57岁,AIDR算法重建。a)横轴面测量左冠状动脉主干CT值520.6HU,背景SD=10.2HU,开口显示清晰(箭);b)曲面图像左冠脉前降支图像锐利度高,分支清晰(箭);c)右冠状动脉管壁光滑,无伪影,图像质量4级。图2 采用FBP算法重建。a)同一水平横轴面测量左冠状动脉主干CT值526.3HU,背景SD=25.6HU;图像噪声较高,管腔显示欠佳(箭);b)CPR图像示左冠脉前降支轻度模糊(箭);c)右冠状动脉管壁较光滑,图像质量Ⅲ级。

种算法的优劣。我们分别在升主动脉开口,冠状动脉多个节段(左右冠状动脉开口、右冠状动脉中段、前降支近段及回旋支近段)进行分析,皆在尽量能够更客观更全面的情况下评价两种重建算法对冠状动脉图像质量的影响。我们分析得到应用AIDR重建技术相比较优于FBP,在测量的各个位置不但血管CT值基本不变而且图像的噪声降低约60%,同时升主动脉开口及冠脉各个节段血管的SNR、CNR都显著提高。Tatsugami等^[1]认为在冠状动脉CT血管成像中应用AIDR重建技术图像噪声可以降低约42%,CNR提高约70%。在同类型的研究中Jonathon Leipsic等^[13]在CCTA中应用自适应统计迭代重建(ASIR)的不同权重与FBP重建算法进行分析比较,认为ASIR重建技术可以降低图像噪声(7%~43%),SNR提高(8%~81%)。本次研究AIDR 3D Standard大幅降低图像噪声约60%,同时血管的轮廓更加清晰,影像更加平滑,提高了对比度。我们的研究相对其他学者

的研究SNR、CNR提升比较高,通过分析我们认为东芝公司Aquilion One 320排螺旋CT机中AIDR技术给我们提供了3种权重分级(Mild、Standard、Strong),本身这种权重的分级就给降低辐射剂量提高图像质量提供了不同水平的可行性,且不同权重级别的应用对背景SD影响也非常明显,不同公司的迭代重建算法存在差异性同时也会给研究结果带来一定的影响。通过此方法的探讨我们觉得应用AIDR重建技术可以降低辐射剂量,平均辐射剂量仅为 (2.34 ± 0.78) mSv。且在我们以后研究中我们将更细致的探讨每种权重在图像质量和降低剂量方面的作用,我们将更注重分析在获得同一水平图像噪声、同样图像质量情况下,AIDR相对于FBP究竟可以降低多少辐射剂量及疾病诊断的精准度。

此研究方法是基于同一原始数据评价不同重建算法的图像质量,相比较于其他一些研究,此方法避免了对检查对象分组后带来的一些客观因素影响,更能够

准确的分析一定条件下在 CCTA 检查中 AIDR 与 FBP 重建算法对图像质量影响。

3. 本研究的局限性及展望

在数据的测量时,由于冠状动脉血管管径相对较细,ROI 的准确放置及测量存在一定的难度和误差,所以冠脉远端节段并未纳入研究范围。

主观评价 AIDR 重建的 CTCA 图像时,只是对冠状动脉节段的显示进行评级,未能在诊断的准确性上加以分析,以后的研究将进一步探讨在低剂量下 AIDR 重建的图像与 FBP 在诊断准确性的评价上。

总之,在采用 320 排容积 CT 进行冠状动脉 CTA 检查中,相比较于 FBP 重建技术,应用 AIDR 重建技术可以降低图像噪声并提高图像的质量。迭代重建技术为冠状动脉 CTA 检查中降低辐射剂量并提高图像质量开辟了新途径。

参考文献:

- [1] Tatsugami, Matsuki, Nakai, et al. The effect of adaptive iterative dose reduction on image quality in 320-detector row CT coronary angiography[J]. Radiology, 2012, 85(1060): e378-e382.
- [2] Herzog C, Zwerner PL, Doll JR, et al. Significant coronary artery stenosis: comparison on per-patient and per-vessel or per-segment basis at 64-section CT angiography[J]. Radiology, 2007, 244(1): 112-120.
- [3] Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography[J]. JAMA, 2009, 301(5): 500-507.
- [4] Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose esti-

- mates[J]. Circulation, 2006, 113(10): 1305-1310.
- [5] Leschka S, Stolzmann P, Schmid FT, et al. Low kilovoltage cardiac dual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose[J]. Eur Radiol, 2008, 18(9): 1809-1817.
- [6] 于红,李惠民,袁正. 上腹部 CT 血管造影三维图像质量影响因素研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2009, 15(4): 358-361.
- [7] Herzog C, Arning-Erb M, Zangos S, et al. Multi-detector row CT coronary angiography: influence of reconstruction technique and heart rate on image quality[J]. Radiology, 2006, 238(1): 75-86.
- [8] Srichai MB, Hecht EM, Kim D, et al. Dual-source computed tomography angiography image quality in patients with fast heart rates [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2009, 3(5): 300-309.
- [9] Thibault J B, Sauer K D, Bouman C A, et al. A three-dimensional statistical approach to improved image quality for multislice helical CT[J]. Med Phys, 2007, 34(11): 4526-4544.
- [10] Renker M, Ramachandra A, Schoepf UJ, et al. Iterative image reconstruction techniques: applications for cardiac CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(4): 225-230.
- [11] Hu XH, Ding XF, Wu RZ, et al. Radiation dose of non-enhanced chest CT can be reduced 40% by using iterative reconstruction in image space[J]. Clin Radiol, 2011, 66(11): 1023-1029.
- [12] May MS, Wüst W, Brand M, et al. Dose reduction in abdominal computed tomography: intraindividual comparison of image quality of full-dose standard and half-dose iterative reconstructions with dual-source computed tomography[J]. Invest Radiol, 2011, 46(7): 465-470.
- [13] Jonathon Leipsic, Troy M. LaBounty, Brett Heilbron, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction: assessment of image noise and image quality in coronary CT angiography[J]. AJR, 2010, 195(3): 649-654.

(收稿日期: 2013-07-04 修回日期: 2013-10-24)

欢迎订阅 2014 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 由国内著名影像专家郭俊渊教授担任主编, 创刊至今已 29 周年。本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊, 在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中, 被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目: 论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊, 112 页, 每册 15 元, 全年定价 180 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话: (027)83662875 传真: (027)83662887

E-mail: fsxsjzz@163.com 网址: http://www.fsxsj.net

编辑部地址: 430030 武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部