

· 临床研究 ·

## SAFIRE/FBP 算法冠状动脉 CTA 图像质量的对比研究\*

彭盛坤, 曾勇明<sup>△</sup>, 吕发金, 郁仁强, 王杰, 赵峰, 彭刚

(重庆医科大学附属第一医院放射科 400016)

**摘要:**目的 探讨新一代迭代重建算法(SAFIRE)与滤波反投影(FBP)算法在冠状动脉 CT 血管造影(CCTA)图像质量上的差异。方法 回顾性收集分析 80 例行双源 CT(DSCT)冠状动脉 CCTA 检查的患者,记录患者身高、体质量、性别、心率,将 80 例行双源 CT 检查患者的冠脉原始图像,在工作站上分别进行 FBP(A 组)及 SAFIRE(B 组)两种算法的图像重建,应用秩和检验对两组图像的主观评分进行比较,应用 *t* 检验对两组图像的客观指标进行比较。结果 (1)A 组可评价的冠脉数约 972 条,B 组可评价的冠脉数约 984 条;A 组主观图像质量评分约(3.66±0.26);B 组约为(3.70±0.25),两组间比较差异无统计学意义( $P=0.113$ );A 组评分为优的冠状动脉(787/972)高于 B 组评分为优的冠状动脉(866/984), $P=0.000$ 。(2)A 与 B 两组图像信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)及图像噪声指数(SD 值)比较差异有统计学意义( $P<0.05$ )。A 与 B 组冠状动脉平均 CT 值分别为(448.63±77.00)HU,(444.82±77.91)HU, $P=0.756$ 。结论 新一代迭代重建算法(SAFIRE)在相同扫描条件下可以提高图像质量。

**关键词:** 体层摄影术, X 线计算机, 冠状血管, 图像质量, 迭代重建

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2013.17.009

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2013)17-1952-03

The comparative study on image quality of coronary computed tomography angiography by iterative reconstructions and filtered back projection\*

Peng Shengkun, Zeng Yongming<sup>△</sup>, Lv Fajin, Yu Renqiang, Wang Jie, Zhao Feng, Peng Gang

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Chongqing Medical University, Chongqing, 400016, China)

**Abstract: Objective** The purpose of this study was to investigate the image quality and image noise in second-generation coronary computed tomography angiography(CCTA) with iterative reconstructions which based on the original data. **Methods** Between March 2012 and April 2012, we enrolled 80 patients with CCTA. For the CCTA scan(SOMATOM Definition Flash, Siemens), data sets were reconstructed with Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction(SAFIRE, Siemens) and filtered back projection(FBP). We also recorded height, weight, gender and heart rate. Mann-Whitney-U-test and t-test were used for statistical analysis. **Results** There was no significant statistic difference for the scoring of subjective image assessment. However, the quantity of high mark with A was higher than B. The mean SNR and CNR were significantly lower with protocol A than B( $P<0.01$ ), the mean image noise was significantly higher with protocol A than B( $P<0.01$ ), the coronary attenuation were not significantly statistically. **Conclusion** Compared with standard FBP reconstruction, SAFIRE improves image quality and has the potential to decrease radiation dose.

**Key words:** tomography, X-ray computed; coronary vessels; image quality; iterative reconstruction

随着新一代双源 CT(dual source computed tomography, DSCT)的问世,基于原始数据域的迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)技术应运而生<sup>[1]</sup>,其先进的数据处理技术不仅为降低辐射剂量提供了可能,同时还能优化图像质量。本文将 SAFIRE 算法与滤波反投影(filtered back projection, FBP)算法的冠状动脉 CT 造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)检查图像进行比较,定量分析在相同扫描条件下两种算法冠状动脉的图像质量及相关参数分析报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性收集 2012 年 3 月至 2012 年 4 月 80 例行 DSCT 冠状动脉 CCTA 检查的患者,排除严重心率不齐、重钙化及支架植入的患者。记录患者身高、体质量、性别、心率、CT 剂量指数(CT dose index, CTDI)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)并将 DLP 转换成有效剂量(effect dose, ED)。80 例行 DSCT 检查的患者中,男 41 例,女 39 例,年龄 35~83 岁;所有患者均排除碘过敏史、严重肝、肾功能异常者。

所有患者检查前进行良好的呼吸训练,并在检查中屏气良好。行 DSCT 检查者无任何心率控制用药。

**1.2 CT 扫描参数及后处理技术** 采用西门子新一代双源炫速 CT(SOMATOM Definition Flash)及 MMWP 工作站,联动美国 stellant 型高压注射器。扫描参数:采用前瞻性心电门控序列扫描模式,全剂量曝光时间窗 R~R 间期为 30%~80%,扫描管电压 120 KV,固定管电流 300 mAs,准直宽度 128 mm×0.6 mm×2 mm,层厚 0.6 mm,机架旋转速度 0.28 s/圈,时间分辨率 75 ms。扫描范围从气管隆突分叉下 1 cm 至心脏膈面。对比剂注射方案:选用非离子型对比剂碘普胺(370 mgI/mL),应用高压注射器经肘正中静脉先团注 15.0 mL 对比剂,然后注入 15 mL 生理盐水进行冲洗,流率 4.5~5.5 mL/s,进行预扫描,ROI 设定在升主动脉。测升主动脉增强峰值时间,在此基础上加 2~5 s 作为冠状动脉 CCTA 扫描的延迟时间。然后启动序列扫描,静脉团注对比剂,剂量为 60~65 mL,最后再注入 50 mL 生理盐水进行冲洗,注射流率 4.5~5.5 mL/s。图像后处理:CCTA 图像在工作站上通过自动最佳时相选择,

\* 基金项目:重庆市卫生局科研基金资助项目(10-2-05)。 作者简介:彭盛坤(1986~),硕士研究生在读,主要从事图像质量及辐射剂量优化的研究。 <sup>△</sup> 通讯作者, Tel:13608338488; E-mail: zeng-ym@vip.sina.com。

分别行 FBP 及 SAFIRE 两种方法的重建,重建的卷积核分别为 B26 f 与 I26 f,SAFIRE 选择 3 次迭代过程,重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm。在 MMWP 工作站上对图像进行多平面、曲面、最大密度投影、容积成像等后处理。

**1.3 图像分析** 将 80 例行 CCTA 两种重建方式的图像分为 A、B 两组,对 A、B 组重建图像进行评价。(1)客观图像评价<sup>[2]</sup>:测量不同重建算法下相同层面升主动脉、双侧冠状动脉主干近段、左心室腔及左心室后壁 CT 值及标准差(standard deviation,SD),测量面积分别为升主动脉(0.2±0.05)cm<sup>2</sup>、双侧冠状动脉主干近段(0.02±0.01)cm<sup>2</sup>、左心室腔(0.25±0.02)cm<sup>2</sup>及左心室壁(0.2±0.05)cm<sup>2</sup>,将升主动脉 SD 值作为图像的噪声指数,SNR(signal to noise ratio)为冠脉内平均 CT 值与 SD 值之比,CNR(contrast to noise ratio)值为左心室后壁与左心室腔内 CT 值之差与 SD 值之比。(2)主观图像评价:由 2 名工作经验 10 年以上放射科医师按 4 分法对冠脉图像进行评价。采用美国心脏协会(AHA)对冠脉分段制定的标准,将冠脉分为 15 段,若存在中间支,标记为 16 段。评分标准:4 分为图像质量优,冠脉显示清晰,管腔连续完整,边缘锐利,无任何运动伪影;3 分为冠脉管腔连续完整,局部边缘略模糊,无明显运动伪影及错层;2 分为冠脉管壁欠锐利或 MPR 上见轻度运动伪影,不影响诊断;1 分为图像质量差,重组图像上冠脉错位、管壁严重伪影,不能诊断。

**1.4 统计学处理** 采用 SPSS13.0 软件对所得数据进行分析处理,对患者 SNR、CNR 及 SD 值进行两两间独立样本的 *t* 检验,对图像质量的主观评分进行两者间 Mann-Whitney 检验,以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

**2 结 果**

**2.1 患者基本资料及辐射剂量情况** 80 例行 CCTA 检查患者 BMI 值为(24.16±3.49)kg/m<sup>2</sup>,心率为(73.85±12.46)bpm,CTDI 值为(35.3±8.9)mGy,DLP 值为(483.30±133.95)mGy·cm,ED 值为(6.77±1.88)mSv。

**2.2 图像质量的评价** A 组与 B 组可评价的冠脉数比较差异无统计学意义(*P*>0.05);A 组评分为优的冠状动脉数高于 B 组评分为优的冠状动脉数,差异有统计学意义(*P*<0.05);A 组与 B 组两组间主观图像质量评分比较差异无统计学意义(*P*>0.05),见表 1。

**表 1 两组患者 CCTA 主观图像质量评分比较**

组别	图像为优	总数	图像评分
A 组	787	972	3.66±0.26
B 组	866	984	3.70±0.25
<i>z</i> / <i>χ</i> <sup>2</sup>	18.518		-1.583
<i>P</i>	0.000		0.113

**表 2 两组患者 CCTA 图像质量客观评价指标比较( $\bar{x}\pm s$ )**

组别	SNR	CNR	SD	冠脉 CT 值(HU)
A 组	24.45±6.95	16.91±5.39	18.64±3.65	448.63±77.00
B 组	32.04±9.13	22.03±7.08	14.41±3.24	444.82±77.91
<i>t</i>	-8.91	-5.15	7.76	0.311
<i>P</i>	W0.000	0.000	0.000	0.756

A 与 B 两组的 SNR、CNR、SD 比较,差异有统计学意义(*P*<0.05);A 与 B 组冠状动脉平均 CT 值比较,差异无统计学意

义(*P*=0.756),见表 2。

**3 讨 论**

迭代重建技术<sup>[3]</sup>以一个假设前提开始,计算出预期图像投影,并与实际投影进行对比,计算得到校正系数并通过其对假设对象进行校正,对校正后的对象再进行新的迭代过程,当重建图像和原始投影数据一致时,迭代过程就会停止,迭代算法可对一致或不一致的数据直接尝试噪声模型,并在最终重建中改善噪声,经过多次迭代和校正更新就会重建出高质量和低噪声的图像。与传统 FBP 算法相比<sup>[4-6]</sup>,迭代重建算法所需的投影数少、具有可在数据不完全和低信噪比(低剂量)条件下达到高质量成像图像等优点。而本研究采用的新一代 SAFIRE 与其他采用数据模型进行重建的方式不同,它首先对原始图像进行主重建,然后将原始数据进行精确的图像校正,对原始数据域进行去噪及去除伪影,最后进行图像域的校正,这种直接对原始数据进行处理得到的图像更真实。

本研究中相同患者两种不同的重建方式(FBP 与 SAFIRE),FBP 与 SAFIRE 组冠状动脉主干近段平均 CT 值分别为(448.63±77.00)HU,(444.82±77.91)HU,说明两种重建模式在 CT 值上的差距不大,不影响图像的质量。在主观图像评价中显示二者差异不大,但是评分为优的冠状动脉条数 SAFIRE 组高于 FBP 组,说明两种重建模式在肉眼识别中存在差异。图像质量相关参数分析表明,3 项客观评价指标(SNR、CNR、SD)SAFIRE 组均明显高于 FBP 组,差异有统计学意义(*P*<0.05)。

图像质量的重要影响因素是 SNR 值及 CNR 值<sup>[7]</sup>,影响 SNR 值与 CNR 值的重要因素是管电压及管电流。较高的管电压及管电流穿透力更强,X 线衰减程度较轻,从而得到较高的图像质量,但随之带来的是辐射剂量的升高,患者吸收到的 X 线剂量会相应增高。迭代重建技术较高的图像质量恰好提供了潜在的降低辐射剂量的空间。Moscardiello 等<sup>[8]</sup>采用 SAFIRE 对冠状动脉的图像质量、诊断准确性及辐射剂量进行全面研究后表明,SAFIRE 在不影响图像质量的情况下,可大大降低辐射剂量。Maffei 等<sup>[9]</sup>认为,采用新一代 DSCT 迭代重建算法可明显提高图像质量,进一步降低辐射剂量,同时可以达到冠状动脉造影的准确度。新一代 SAFIRE 重建方式,它相比于大多参考文献中提到的 IRIS 迭代重建算法不同之处在于对图像数据的处理上进行了进一步了优化,后者仅仅是图像域的重建;SAFIRE 则直接对原始数据域进行处理,在原始数据域进行去伪影处理后,再进一步在图像数据域进行降噪处理,图像更接近真实,图像质量也更高。本研究证实,在相同扫描条件下,SAFIRE 技术的应用能有效提高冠状动脉图像质量。

本研究中的不足,在病例收集集中,作者排除了严重心率不齐、重度钙化及支架植入的患者,但不同病变程度对冠状动脉图像质量是有影响的,如有研究将滤波反投影和迭代重建算法行对比性研究后得出,迭代重建算法可以有效降低图像的噪声及斑块的 blooming 伪影,提高诊断精度,本研究仅限于基础条件较好的患者进行了基础性的对比性研究,下一步将进行更加深入的探索。

**参考文献:**

[1] Bulla S, Pache G, Langera M, et al. Reducing the radiation dose for low-dose CT of the paranasal sinuses using iterative reconstruction; feasibility and image quality[J]. Eur J Radiol, 2011, 5(10): 5541-5543.

- [2] 亓恒涛,王敏,秦维昌,等. 双源 CT 与 64 层螺旋 CT 冠状动脉图像质量及辐射剂量的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1): 87-88.
- [3] Lee SJ, Park SH, Kim AY, et al. A prospective comparison of standard-dose CT enterography and 50% reduced-dose CT enterography with and without noise reduction for evaluating crohn disease[J]. AJR Am J Roentgenol, 2011, 197(1): 50-57.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Achenbach S, Goroll T, Seltmann M, et al. Detection of coronary artery stenoses by low-dose, prospectively ECG-triggered, high-pitch spiral coronary CT angiography[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011, 4(4): 328-330.
- [8] Moscariello A, Richard AP, Takx U, 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.
- [9] Maffei E, Martini C, Rossi A, et al. Diagnostic accuracy of second-generation dual-source computed tomography coronary angiography with iterative reconstructions; a real-world experience[J]. Radiol Med, 2011, 17(1): 36-40.
- [10] Saebeom H, Jeong Min L, Soo JK, et al. 80-kVp CT using iterative reconstruction in image space algorithm for the detection of hypervascular hepatocellular carcinoma; phantom and initial clinical experience[J]. Korean J Radiol, 2012, 13(2): 152-164.
- [11] Winklehner A, Karlo C, Puipe G, et al. Raw data-based iterative reconstruction in body CTA; evaluation of radiation dose saving potential[J]. Eur Radiol, 2011, 21(18): 2521-2526.
- [12] Park EA, Lee W, Kim KW, et al. Iterative reconstruction of dual-source coronary CT angiography; assessment of image quality and radiation dose[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2011, 21(8): 1021-1024.
- [13] Bittencourt MS, Schmidt B, Seltmann M, et al. Iterative reconstruction in image space(IRIS) in cardiac computed tomography; initial experience[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2011, 27(7): 1081-1087.
- [14] Achenbach S, Marwan M, Ropers D, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition[J]. Eur Heart J, 2010, 31(3): 340-346.

(收稿日期: 2012-11-08 修回日期: 2013-02-22)

(上接第 1951 页)

通过调殆逐渐少量降低磨牙, 去除咬合高点, 减少咬合创伤, 建立广泛的咬合接触关系。

#### 参考文献:

- [1] Gelgör IE, Karaman AI, Erçan E. Prevalence of malocclusion among adolescents in central Anatolia [J]. Eur J Dent, 2007, 1(3): 125-131.
- [2] 贵林, 孙燕, 刘红彦. 大连市中学生恒牙列错殆发生率的调查[J]. 口腔医学研究, 2002, 18(3): 213.
- [3] 孟宪胤, 孙成蕊. 天津市津南区 2 442 名中小学生牙颌畸形调查分析[J]. 天津医科大学学报, 1999, 5(1): 98-99.
- [4] 傅民魁. 口腔正畸学[M]. 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- [5] 段银钟, 潘杰, 韩春, 等. 正畸矫治第二磨牙正锁(殆)[J]. 实用口腔医学杂志, 2010, 26(1): 123-126.
- [6] 林和平. 成人后牙锁(殆)的矫治[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2010, 17(2): 112-113.
- [7] 谢奇. 安氏 II<sup>1</sup> 类错殆单侧后牙正锁殆的矫治[J]. 口腔正畸学, 2007, 14(1): 40-41.
- [8] 陈丽丹, 李青奕, 王震东, 等. 后牙锁殆 13 例临床矫治观察[J]. 口腔医学, 2008, 28(4): 198-199.
- [9] 陈金林, 刘正彤, 徐剑, 等. 改良 Nance 弓矫治后牙锁殆的临床应用[J]. 实用口腔医学杂志, 2005, 21(6): 770.
- [10] Moffitt AH. Eruption and function of maxillary third molars after extraction of second molars[J]. Angle Orthod, 1998, 68(2): 147-152.
- [11] Orton-Gibbs S, Crow V, Orton HS. Eruption of third permanent molars after the extraction of second permanent molars. Part 1: Assessment of third molar position and size[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001, 119(3): 226-238.
- [12] 刘鑫, 张云飞. 微小种植体支抗在正畸临床中的应用[J]. 实用口腔医学杂志, 2009, 25(5): 757-761.
- [13] Cozza P, De Toffol L, Iacopini L. An analysis of the corrective contribution in activator treatment [J]. Angle Orthod, 2004, 74(6): 741-748.

(收稿日期: 2012-11-08 修回日期: 2013-02-22)