



基于AI的新迭代重建算法与低管电压在降低肥胖患者冠状动脉CTA辐射剂量中的应用

冯梦雅, 李冰, 吴敏, 华婷, 汤光宇

Application of New Iterative Reconstruction Algorithm Based on Artificial Intelligence and Low Tube Voltage in Reducing the Radiation Dose of Coronary CTA in Obese Patients

FENG Mengya, LI Bing, WU Min, HUA Ting, and TANG Guangyu

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2022.148>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[探讨超低剂量前瞻性冠脉CTA成像技术在低体重指数患者中的应用价值](#)

Feasibility of 80 kVp Ultra-low Dose Scan Protocol in Prospective Coronary CT Angiography
CT理论与应用研究. 2017, 26(1): 99-106

[双低剂量联合迭代重建在不同BMI患者CTA的应用](#)

Low Contrast Dose and Low Tube Voltage Combined with Adaptive Iterative Reconstruction in Abdominal CT Angiography in Patients with Different BMI
CT理论与应用研究. 2019, 28(1): 73-79

[低管电压与低对比剂量在肝脏CT增强中的应用](#)

The Application of Lower Tube Voltage and Fewer Contrast Agents for Hepatic Enhanced CT Scanning
CT理论与应用研究. 2017, 26(3): 357-364

[低管电压结合迭代重建在下肢动脉CT血管成像中的临床应用](#)

Clinical Application of Low Tube Voltage Combined with Iterative Reconstruction in Lower Extremity Arterial CTA
CT理论与应用研究. 2020, 29(1): 55-60

[iDose4迭代重建在AIDS合并PJP患者胸部低剂量CT扫描中的应用研究](#)

Application of iDose4 Iterative Reconstruction on Low Dose CT Scanning in AIDS Patients with PJP
CT理论与应用研究. 2020, 29(2): 195-202

[对比剂注射方案优化联合低管电压在主动脉CTA中的探讨](#)

Research on the Contrast Medium's Best Injection Combined with Low Tube Voltage in Aortic CTA
CT理论与应用研究. 2019, 28(4): 447-454



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

冯梦雅, 李冰, 吴敏, 等. 基于 AI 的新迭代重建算法与低管电压在降低肥胖患者冠状动脉 CTA 辐射剂量中的应用[J]. CT 理论与应用研究, 2023, 32(6): 777-782. DOI:10.15953/j.ctta.2022.148.

FENG M Y, LI B, WU M, et al. Application of New Iterative Reconstruction Algorithm Based on Artificial Intelligence and Low Tube Voltage in Reducing the Radiation Dose of Coronary CTA in Obese Patients[J]. CT Theory and Applications, 2023, 32(6): 777-782. DOI:10.15953/j.ctta.2022.148. (in Chinese).

基于 AI 的新迭代重建算法与低管电压在降低肥胖患者冠状动脉 CTA 辐射剂量中的应用

冯梦雅¹, 李冰², 吴敏², 华婷², 汤光宇²

1. 武汉科技大学附属武昌医院放射科, 武汉 430063
2. 同济大学附属第十人民医院放射科, 上海 200072

摘要: 目的: 探讨采用基于 AI 的新迭代重建算法与低管电压在降低肥胖患者冠状动脉 CTA 辐射剂量的可行性。方法: 选取行冠状动脉 CTA 检查的肥胖患者 40 例, 随机分为两组。常规剂量组(A 组)和低管电压剂量组(B 组)各 20 例。常规剂量组采用管电压 120kV, 管电流 200mAS 扫描, 低剂量组采用管电压 80kV, 管电流 200mAS。采集数据传输到后处理工作站后, 分别采用常规迭代重建算法和基于 AI 的新迭代重建算法的图像重建, 对比分析两组的主动脉平均 CT 值、主动脉及左冠状动脉的信噪比、对比噪声比和右冠状动脉的噪声、信噪比、对比噪声比。结果: B 组主动脉的平均 CT 值、主动脉及左冠状动脉的信噪比、对比噪声比和右冠状动脉的噪声、信噪比、对比噪声比与 A 组无明显统计学差异; 两组冠状动脉主观图像质量评分无明显差异; 但 B 组的辐射剂量较 A 组降低 68.2%。结论: 新迭代重建算法能够显著性提高重建的图像质量, 在新迭代重建算法的加持下, 用 80kVp 的管电压可以明显降低辐射剂量, 同时获得与常规剂量图像质量相当的冠状动脉 CTA 图像。

关键词: 迭代重建算法; 辐射剂量; 冠状动脉血管成像

DOI:10.15953/j.ctta.2022.148 中图分类号: 0242; R814 文献标识码: A

CT 冠状动脉成像(computed tomography coronary angiography, CTA)已经成为冠心病筛查的主要手段, 但其较高的辐射剂量一直是业内关注的焦点, 如何降低 CTA 检查的辐射剂量已成为研究新热点。有关“双低”剂量(低辐射剂量和低对比剂用量)冠状动脉 CTA 的研究已有报道^[1-6], 肥胖患者发生急性冠脉综合征的概率较大。

本研究针对肥胖患者人群, 采用基于 AI 的新迭代重建算法, 用降低管电压方式降低辐射剂量, 通过对比分析两组受试者低辐射剂量与常规剂量冠状动脉 CTA 的图像质量, 探讨在新迭代重建算法的加持下, 低管电压冠状动脉 CTA 在肥胖患者中应用的可行性。

1 资料与方法

1.1 病例资料

选取 2019 年 3 月至 2021 年 9 月在本院接受双源螺旋 CT 冠状动脉 CTA 检查的患者 40 例, 受检者入选条件包括: ① BMI > 28 (BMI 是体重除以身高的平方); ② 无碘对比剂过敏史及碘对比剂禁忌症; ③ 无严重的心功能及肝肾功能不全; ④ 无严重的心律失常。检查前 1h 内口服 25~50mg 倍他乐克以控制心率在 70 次/min 以内。

所有受检者随机分为两组, 常规剂量组(A 组)和低剂量组(B 组)各 20 例。两组受检者的年龄、心率、体重等一般资料见表 1。

1.2 扫描方法

所有受检者冠状动脉 CTA 检查均在西门子双源螺旋 CT 机上进行, 对比剂采用碘美普尔注射液

(400mgI/mL)推注。冠状动脉 CTA 的扫描范围,感兴趣区设置于主肺动脉窗层面的降主动脉内,达阈值后延迟 7 s 进行扫描。对比剂总量 100 mL,注射流率 5.0 mL/s,以相同速率追加生理盐水 30 mL,设定阈值为 120 HU。常规剂量组图像数据采用设备自带的迭代重建算法,管电压 120 kV,管电流 200 mAs 扫描;低剂量组采用西门子新迭代重建算法,管电压 80 kV,管电流 200 mAs 扫描。

1.3 图像质量评价

测量左冠状动脉发出水平的主动脉根部强化后的平均 CT 值,以其标准差(standard deviation, SD)作为图像噪声,ROI 面积为 100 mm²。测量右冠状动脉(right coronary artery, RCA)及左冠状动脉(left main, LM)起始部强化后血管腔的 CT 值和 SD 以及邻近脂肪组织的 CT 值,ROI 面积不小于管腔的 1/2,且避开钙化及软斑块。根据以下公式计算主动脉及左、右冠状动脉的信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。

$$\text{SNR} = \text{管腔强化 CT 值}/\text{SD}, \quad (1)$$

$$\text{CNR} = \text{管腔强化 CT 值} - \text{临近脂肪组织 CT 值}/\text{SD}。 \quad (2)$$

参照美国心脏协会制定的冠状动脉标准分段法,由两名工作 10 年以上的副高级职称医生采用双盲法分别对每段血管进行评分,评估结果不一致时协商取得一致。图像评分采用 4 分法^[3],分别为:1 分,血管壁显示不清,血管不连续,运动伪影大,血管对比不好,噪声大,不能用于诊断;2 分,有中度运动伪影、噪声,血管对比一般;3 分,轻度的运动伪影、噪声,血管对比好;4 分,无运动伪影,很小的噪声,血管对比很好。

1.4 统计学分析

应用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。患者的年龄、心率、体重、噪声、SNR、CNR 及辐射剂量以均数 ± 标准差的形式表示;采用两独立样本 *t* 检验;两组冠状动脉 CTA 的图像质量评分采用单项有序资料的行平均分差法进行检验;观察者间的一致性采用 Kappa 分析(Kappa ≥ 0.8 为一致性很好,0.4 ≤ Kappa < 0.8 为中度一致性, Kappa < 0.4 为一致性较差)。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

常规剂量组和低剂量组患者的年龄、心率、体重比较无明显差异(表 1)。

表 1 常规剂量组(A组)和低剂量组(B组)一般资料的比较
Table 1 Comparison of general information in the routine-dose (group A) and low-dose groups (group B)

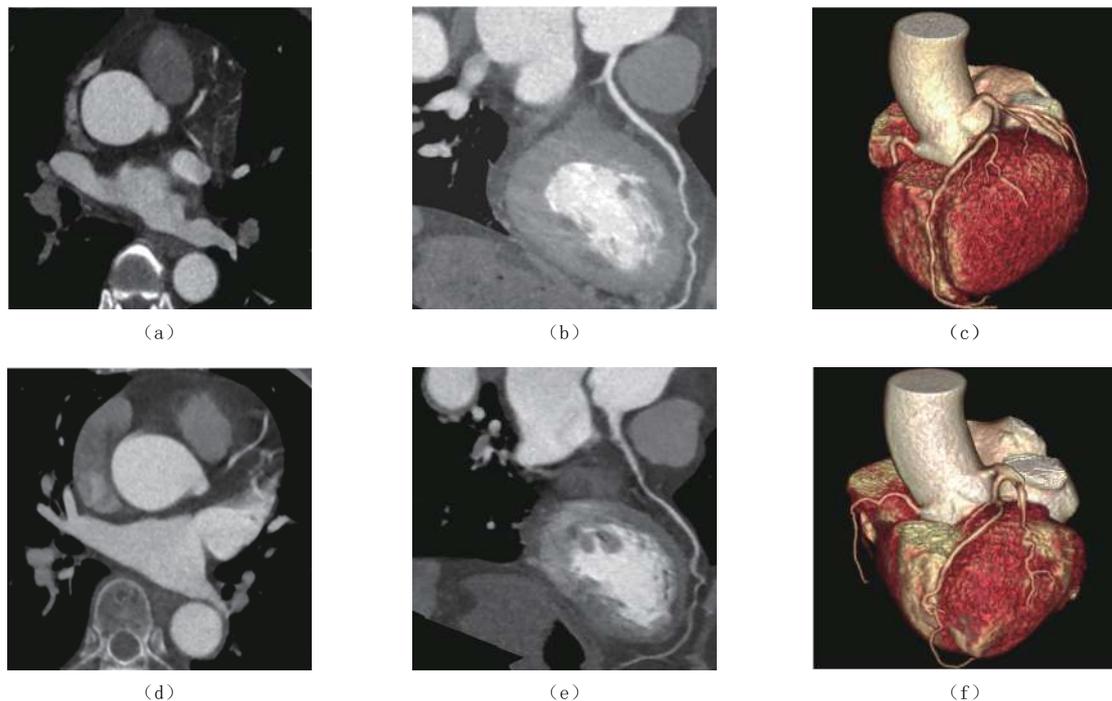
项目	组别		统计校验	
	A 组 (20 例)	B 组 (20 例)	<i>t</i>	<i>p</i>
年龄	45.2 ± 10.4	48.1 ± 11.2	0.62	> 0.05
体重	120.3 ± 1.7	127.2 ± 1.8	1.05	> 0.05
心率	70.5 ± 5.2	73.2 ± 4.5	1.97	> 0.05

2.2 受检者的图像质量比较

低剂量组(B组)主动脉的平均 CT 值、主动脉及左冠状动脉的信噪比、对比噪声比和右冠状动脉的噪声、信噪比、对比噪声比与常规剂量组(A组)无明显统计学差异(表 2 和图 1);两组冠状动脉主观图像质量评分的一致性较好(Kappa = 0.83),图像质量评分无明显统计学差异($\chi^2 = 0.33$, *P* = 0.93, 表 3)。

表 2 常规剂量组 (A 组) 和低剂量组 (B 组) 图像质量比较
Table 2 Comparison of image quality in the routine-dose (group A) and low-dose groups (group B)

测量参数	图像质量		统计检验	
	A 组 (20 例)	B 组 (20 例)	<i>t</i>	<i>P</i>
主动脉 CT 值	396.7 ± 63.4	375.5 ± 65.5	1.55	> 0.05
主动脉/左冠状动脉 SNR	13.3 ± 1.6	12.9 ± 1.9	1.85	> 0.05
主动脉/左冠状动脉 CNR	12.6 ± 2.0	12.2 ± 1.6	1.45	> 0.05
主动脉/右冠状动脉 SNR	17.6 ± 2.5	16.7 ± 3.1	1.48	> 0.05
主动脉/右冠状动脉 CNR	22.8 ± 2.5	22.1 ± 3.5	1.78	> 0.05



注：(a)~(c) 低管电压剂量组患者，男，49 岁，体重 103 kg；采用 80 kV，200 mAs 扫描，触发阈值为 90 HU；ED 为 1.52 mSv。(a) 示主动脉强化 CT 值为 407 HU；(b) 为左前降支 CPR 图像，管壁显示较清晰，组织对比度好，图像评分为 4 分。(c) 为 VR 图像，能清晰显示冠状动脉三级分支，图像评分为 4 分。(d)~(f) 常规组患者，男，52 岁，体重 115 kg；采用 120 kV，200 mAs 扫描，触发阈值为 120 HU；ED 为 2.57 mSv。(d) 示主动脉强化 CT 值为 314 HU。(e) 为左前降支 CPR 图像，管壁显示较清晰，组织对比度较好，图像评分为 4 分。(f) 分为 VR 图像，能较清晰显示冠状动脉三级分支，图像评分为 4 分。

图 1 低剂量组和常规剂量组冠状动脉扫描图像质量的对比

Fig.1 Comparison of image quality in the low-dose and routine-dose groups

表 3 常规剂量组 (A 组) 和低剂量组 (B 组) 图像质量评分比较
Table 3 Comparison of image score in the routine-dose (group A) and low-dose groups (group B)

评分	图像质量评分 (可评估节段数 (%))	
	A 组	B 组
4 分	228 (85.2)	223 (83.8)
3 分	42 (13.2)	39 (11.6)
2 分	22 (4.2)	20 (3.9)
1 分	5 (1.3)	4 (1.0)
合格率	297 (98.2)	286 (96.8)

2.3 两组受检者辐射剂量的比较

低剂量组的辐射剂量和对比剂用量明显低于标准剂量组 ($P < 0.001$), 辐射剂量约降低 68.2% (表 4)。

表 4 常规剂量组 (A 组) 和低剂量组 (B 组) 辐射剂量比较
Table 4 Comparison of radiation dose in the routine-dose (group A) and low-dose groups (group B)

参数	辐射剂量		统计检验	
	A 组	B 组	<i>t</i>	<i>P</i>
ED/mSv	2.87 ± 0.53	1.02 ± 0.64	7.32	< 0.001

3 讨论

3.1 低辐射剂量 CT 的应用

1990 年 Naidich 等^[7]首创性提出了低剂量 CT (low dose computed tomography, LDCT) 的概念, 其方法是其他扫描参数不变, 降低管电流从而达到降低 X 线辐射剂量之目的。自此较长一段时间以来, 降低管电流成为临床实践中比较常用且最简单易行的降低辐射剂量的方法。如利用人体长轴与横轴上的不对称性动态调整管电流的方法 (自动管电流调节技术, ATCM)。

近年来, 研究发现低球管电压降低了 X 线束的能量, X 线的辐射剂量和管电压的平方成正比^[5-6,8], 降低管电压对降低辐射剂量更有效, 同时加大了含碘对比剂之血管与周围组织的对比度。另外, 图像重建算法也有助于保证影像质量的同时降低 X 线辐射剂量, 如自适应迭代重建算法结合自动管电流调制技术, 混合迭代重建算法等在 CTA 检查中均可以大幅度降低腹部检查者的辐射剂量、显著提高图像质量^[9-10]。

Schuhbaeck 等^[11]报道联合应用多种方法可以将辐射剂量降至 0.1 mSv 以下。随着冠状动脉 CTA 在临床上的广泛应用, 在影像满足诊断需要前提下使用低辐射剂量已经得到重视。在保证满足诊断要求的前提下, 尽可能低的降低辐射剂量已成需要首先考虑的问题, 因此必须探寻一套合理、客观的影像质量评价方法以判断效果。临床中行冠状动脉 CTA 检查时, 应根据患者情况, 利用 CT 的不同技术特点, 制定出符合每个患者的个性化扫描方案。降低冠状动脉 CTA 辐射剂量的技术包括: 前瞻性心电门控、大螺距、迭代重建算法、降低管电压和低管电流等。文献报道^[12]应用 80 kV 低电压行冠状动脉 CTA 检查, 使辐射剂量降低 70%。

3.2 新迭代重建算法的优势及其应用

迭代法也称辗转法, 是一种不断用变量的旧值递推新值的过程。迭代算法是用计算机解决问题的一种基本方法, 它利用计算机运算速度快、适合做重复性操作的特点, 让计算机对一组指令 (或一定步骤) 进行重复执行, 在每次执行这组指令 (或这些步骤) 时, 都从变量的原值推出它的一个新值。随着人工智能技术的飞速发展, 基于 AI 的新迭代重建算法是基于大数据驱动, 利用自身提取特征并进行学习, 从而得到最优的数据重建图像。

本组数据采用基于 AI 的新迭代重建算法得到的图像质量较以前的迭代算法更快、更好, 这是因为它基于大数据反复自身学习的结果, 也是本次研究首次尝试新迭代算法得出的较好的图像质量。本研究采用降低管电压 (80 kV), 管电流 (200 mAs) 不变的方法对比分析了两组人群冠状动脉 CTA 的图像质量及辐射剂量。通过新迭代重建算法重建低管电压扫描的数据, 结果显示应用新的迭代算法后, 可以明显提高图像的 SNR 和 CNR。同时, 降低管电压又可以明显降低辐射剂量, 能够满足临床诊断要求。

3.3 造影剂剂量及浓度对血管 CTA 的影响

在 CTA 成像中, 除其他因素外, 主要由对比剂浓度与速率决定强化效果(碘流率(mgI/s) = 对比剂浓度(mgI/mL) \times 注射速率(mL/s))。速率与对比剂的用量决定了扫描时间窗。使用高浓度对比剂, 可以降低速率, 使用了低浓度对比剂, 可以增加速率。在减少用量的情况下增加注射速率可以提高增强效果, 但是高的速率可导致时间窗变窄。使用同速率、同剂量的不同浓度的对比剂, 高浓度对比剂强化明显。在相同的浓度、相同速率情况下, 对比剂用量越大, 注射时间越长, CT 增强峰值越大。

因此选择浓度高的对比剂增强效果好, 同时高速率也可以提高增强效果。本组研究采用高浓度对比剂碘美普尔注射液(400mgI/mL)高压注射器推注, 对比剂注射完毕后跟注盐水, 消除伪影, 增加对比剂的利用率以及显影效果, 因为对比剂浓度过高易产生明显的线束硬化伪, 影响对管腔及周围结构的观察。

综上所述, 通过对比两种管电压剂量的冠状动脉 CTA 图像质量, 在基于 AI 的新迭代重建算法的加持下, 我们认为降低管电压进行冠状动脉 CTA 检查, 既能保障图像质量要求, 又能减低辐射剂量。新的迭代重建算法是本文在降低管电压进行 CTA 检查中的首次尝试, 也是一个创新点。但由于样本量偏小, 势必造成统计误差, 我们将在今后的研究中进一步增加样本量, 同时探索其它降低辐射剂量的手段。

参考文献

- [1] ANDREINI D, MUSHTAQ S, CONTE E, et al. Coronary CT angiography with 80 kV tube voltage and low iodine concentration contrast agent in patients with low body weight[J]. *Journal Cardiovasc Computer* 2016, 10(4): 322-326.
- [2] FORTE G C, ANDRADE R G F, FIORENTINI L F, et al. Additional ultra-low-dose protocols in coronary computed tomography angiography scans to early detection of lung cancer[J]. *Europe Heart Journal*, 2021, 42(S1). DOI:10.1093/eurheartj/ehab724.0193.
- [3] 曹剑, 易妍, 王怡宁, 等. 70 kV 超低管电压低对比剂用量冠状动脉 CTA 研究[J]. *放射学实践*, 2014, 29(6): 589-592.
CAO J, YI Y, WANG Y N, et al. Preliminary study on ultra low tube voltage (70 kV) sequential scan with low-volume contrast media protocol for dual-source CT coronary angiography[J]. *Radiologic Practice*, 2014, 29(6): 589-592. (in Chinese).
- [4] 张惠英, 陈伟彬, 马春梅, 等. 初步探讨不同扫描触发阈值技术在 CT 冠状动脉成像中的应用价值[J]. *临床放射学杂志*, 2014, 33(3): 445-449.
ZHANG H Y, CHEN W B, MA C M, et al. The value of different scanning trigger threshold technique in CT imaging of coronary artery[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2014, 33(3): 445-449. (in Chinese).
- [5] 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]. *International Journal Cardiovasc Imaging*, 2013, 29(4): 913-923.
- [6] LEMBCKE A, SCHWENKE C, HEIN P A, et al. High-pitch dual-source CT coronary angiography with low volumes of contrast medium[J]. *Europe Radiology*, 2014, 24(1): 120-127.
- [7] NAIDICH D P, MARSHALL C H, CRIBBIN C, et al. Low-dose CT of the lungs: Preliminary observations[J]. *Radiology*, 1990, 175: 729-731.
- [8] CRIMM H, FERGESTROM N M, DYE C, et al. low tube potential, coronary calcium assessment prior to coronary CT angiography: A prospective, randomized clinical trial[J]. *Journal Cardiovasc Computer Tomography*, 2021, 15(3): 240-245.
- [9] SCHICCHI N, FOGANTE M, PALUMBO P, et al. The sub-millisievert era in CTCA: The technical basis of the new radiation dose approach[J]. *Radiology Medicine*, 2020, 125(11): 1024-1039.
- [10] STOCKER T J, LEIPSIC J, HADAMITZKY M, et al. Application of low tube potentials in CCTA: Results from the protection VI study[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(2 Pt 1): 425-434.
- [11] SCHUHBAECK A, ACHENBACH S, LAYRITZ C, et al. Image quality of ultra-low radiation exposure coronary CT angiography with an effective dose $<0.1\text{mSv}$ using high-pitch spiral acquisition and raw data-based iterative reconstruction[J]. *Europe Radiology*, 2013, 23(3): 597-606.
- [12] CHA M J, KIM S M, AHN T R, et al. Comparing feasibility of low-tube-voltage protocol with low-

iodine-concentration contrast and high-tube-voltage protocol with high-iodine-concentration contrast in coronary computed tomography angiography[J]. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0236108.

Application of New Iterative Reconstruction Algorithm Based on Artificial Intelligence and Low Tube Voltage in Reducing the Radiation Dose of Coronary CTA in Obese Patients

FENG Mengya¹, LI Bing², WU Min², HUA Ting², TANG Guangyu^{2✉}

1. Department of Radiology, Wuchang Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430063, China
2. Department of Radiology, The Affiliated Tenth People's Hospital of Shanghai, Tongji University, Shanghai 200072, China

Abstract: Objective: To explore the feasibility of using a new artificial intelligence (AI)-based iterative reconstruction algorithm with low tube voltage to reduce the radiation dose of coronary computed tomography angiography (CTA) in obese patients. Methods: A total of 40 patients were randomly divided into routine-dose (group A $n = 20$) and low-dose groups (group B $n = 20$). In group A, a tube voltage of 120 kV and a tube current of 200 mAs, whereas in group B, a tube voltage of 80 kV and a tube current of 200 mAs were used. The collected data was transferred to the post-processing workstation. The image reconstructions of the conventional and new iterative reconstruction algorithms based on AI were used. Comparative analysis of average CT value of the aorta, signal to noise ratio (SNR) and contrast to noise ratio (CNR) of the aorta and left coronary, SNR and CNR of right coronary in the two groups. Results: The average CT value of the aorta in group B, the SNR and CNR of the aorta and the left coronary artery, the SNR and CNR of the right coronary artery was not significantly different from those of group A. There was no difference in the subjective image quality between the two groups. However, the radiation dose in patients of group B was reduced by 68.2% compared with that of group A. Conclusion: The new iterative reconstruction algorithm can significantly improve the image quality of the reconstruction. The radiation dose can be significantly reduced with a tube voltage of 80 kVp, and the coronary CTA image equivalent to the image quality of the conventional dose can be obtained.

Keywords: iterative algorithm; radiation dose; coronary angiography



作者简介: 冯梦雅, 女, 本科, 武汉科技大学附属武昌医院放射科技师, 主要从事医学影像技术工作, E-mail: 94080245@qq.com; 汤光宇[✉], 男, 同济大学医学院教授、博士生导师, 同济大学附属第十人民医院放射科主任医师, 主要从事骨肌影像诊断, E-mail: tgyl7@tongji.edu.cn。