

混合迭代重建混合权重对心脏 CT 冠状动脉钙化积分影响

张卓璐, 刘卓, 洪楠

【摘要】 目的:评价混合迭代重建算法(ASIR-V)混合权重对心脏 CT 冠状动脉钙化积分及危险分层计算结果的影响。**方法:**100 例心电图门控心脏 CT 钙化积分扫描原始数据利用不同混合权重 ASIR-V 算法重建,包括 ASIR-V 0% 即(FBP)、ASIR-V 20%、ASIR-V 40%、ASIR-V 60%、ASIR-V 80%、ASIR-V 100%。比较不同算法所得图像升主动脉 CT 值平均值及标准差、钙化斑块最大 CT 值、钙化积分(Agatston 积分、质量积分、体积积分)及基于 Agatston 积分危险分层。**结果:**随 ASIR-V 混合权重提高升主动脉 CT 值平均值及冠脉钙化斑块最大 CT 值变化差异无统计学意义($P>0.05$),升主动脉 CT 值标准差、3 种钙化积分逐渐降低且差异有统计学意义($P<0.05$)。Agatston 积分分别为 170.2 ± 387.3 、 168.6 ± 385.3 、 166.4 ± 381.9 、 164.6 ± 379.4 、 162.9 ± 376.7 、 161.1 ± 374.1 ($P=0.000$)。质量积分分别为 23.62 ± 52.56 、 23.49 ± 52.23 、 23.32 ± 52.30 、 23.20 ± 53.10 、 23.15 ± 52.83 、 22.99 ± 52.41 mg ($P=0.000$)。体积积分分别为 68.7 ± 140.7 、 67.8 ± 139.8 、 67.0 ± 139.6 、 65.7 ± 137.2 、 64.8 ± 135.9 、 64.0 ± 135.0 mm³ ($P=0.000$)。ASIR-V 导致 10 位受检者危险分层发生改变,其中 8 人从低危险降至极低危险,2 人从中等危险降至低危险。**结论:**ASIR-V 重建算法混合权重的提高可降低图像噪声水平,降低钙化积分,可能造成危险分层降低。

【关键词】 图像处理,计算机辅助;体层摄影术,X线计算机;冠状动脉疾病;血管钙化

【中图分类号】 R814.3;R814.42;R541.4;R561.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2021)06-0751-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.06.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Impact of hybrid iterative reconstruction blending weight on coronary artery calcium score based on cardiac CT ZHANG Zhuo-lu, LIU Zhuo, HONG Nan. Department of Radiology, People's Hospital, Peking University, Beijing 100044, China

【Abstract】 Objectives: To investigate the impact of blending weight of hybrid iterative reconstruction (ASIR-V) on coronary artery calcium scores and risk stratification. **Methods:** In 100 patients, non-contrast ECG-gated cardiac CT images were reconstructed using different blending percentage of ASIR-V, including FBP (ASIR-V 0%), ASIR-V 20%, ASIR-V 40%, ASIR-V 60%, ASIR-V 80%, and ASIR-V 100%. Average and standard deviation (SD) of CT values in the ascending aorta, maximum value of plaque were compared among the weights. Agatston score, mass score, volume score and risk classification based on Agatston score were also compared. **Results:** An increased percentage of ASIR-V was associated with reduction in SD in the ascending aorta and three calcium scores ($P<0.05$), and no change in average value in the ascending aorta and plaque maximum value ($P>0.05$). Agatston scores were 170.2 ± 387.3 , 168.6 ± 385.3 , 166.4 ± 381.9 , 164.6 ± 379.4 , 162.9 ± 376.7 , and 161.1 ± 374.1 for reconstructions with 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% ASIR-V, respectively ($P=0.000$). Mass scores were 23.62 ± 52.56 , 23.49 ± 52.23 , 23.32 ± 52.30 , 23.20 ± 53.10 , 23.15 ± 52.83 , and 22.99 ± 52.41 mg, respectively ($P=0.000$). Volume scores were 68.7 ± 140.7 , 67.8 ± 139.8 , 67.0 ± 139.6 , 65.7 ± 137.2 , 64.8 ± 135.9 , and 64.0 ± 135.0 mm³, respectively ($P=0.000$). ASIR-V led to reclassification of risk to lower category in 10 patients, including 8 from low to very low, and 2 from moderate to low. **Conclusion:** ASIR-V results in image noise reduction, reduces calcium scores, and may result in risk reclassification to lower category.

作者单位:100044 北京,北京大学人民医院放射科

作者简介:张卓璐(1990-),女,山西长治人,博士,主治医师,主要从事影像诊断工作。

通信作者:洪楠, E-mail: hongnanmyy@sina.cn

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

冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)是临床常见疾病之一且患病率持续上升。早期发现和积极干预有助于控制疾病进展。基于心脏 CT 图像冠状动脉钙化积分(coronary artery calcium score, CACS)是常用量化分析冠状动脉钙化程度指标,是冠状动脉疾病独立预测因素,对预测急性冠状动脉事件有明确价值,可作为急性冠状动脉事件危险程度分层依据。相关指南与专家共识中推荐在冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)前行钙化积分扫描并计算钙化积分^[1-4]。

需要注意的是钙化积分扫描曝光条件与图像重建参数对钙化积分计算结果有较大影响,包括管电压、管电流、图像层厚、显示视野、重建算法等^[5-11]。本研究旨在评价自适应统计迭代重建算法(adaptive statistical iterative reconstruction veo, ASIR-V)混合权重对心脏 CT 冠状动脉钙化积分影响。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析 2019 年 1 月本院完成 CCTA 检查 100 例,其中男 59 例,女 41 例,平均年龄 60 ± 10.6 岁(37~84 岁)。CCTA 增强扫描前受检者常规接受心电图门控钙化积分扫描。扫描时受检者平均心率 73 ± 11.4 次/分(46~106 次/分)。

2. 扫描方案

扫描设备选择 256 排探测器 CT(Revolution CT; GE Healthcare)。受试者取仰卧位,双手抱头。扫描范围由气管分叉下 1 cm 至心底。准直器最大宽度 $0.625 \text{ mm} \times 256$ 。机架旋转速度 0.28 s/r 。据 Agatston 积分方法要求钙化积分扫描管电压选择 120 kVp。开启自动曝光控制功能,管电流 $10 \sim 650 \text{ mA}$ 。初始重建(primary reconstruction)层厚、间隔 0.625 mm 。混合迭代重建(ASIR-V)权重选择 50%,并选择标准重建类型。预设噪声指数(noise index, NI)选择 35 HU。检查前连接心电图门控电极。心率 < 65 次/分受检者曝光时间窗设在 75% R-R 间期。心率 ≥ 65 次/分受检者曝光时间窗设在 45% R-R 间期。

3. 二次重建

分别利用滤波反投影(filtered back projection, FBP)即 ASIR-V0%、ASIR-V20%、ASIR-V40%、ASIR-V60%、ASIR-V80%、ASIR-V100%对原始数据进行二次重建(secondary reconstruction)。二次重建层厚、间隔 2.5 mm 。显示视野(display field of view,

DFOV) 25 cm 。二次重建选择标准重建类型(卷积核)。

4. CT 值测量和钙化积分以及危险分层

图像传输至后处理工作站(advantage workstation, AW 4.7; GE Healthcare),在升主动脉根部勾画感兴趣区(region of interest, ROI),记录 CT 值平均值、标准差。以标准差作为评价图像噪声水平指标。以钙化斑块为中心放置 ROI,面积 $>$ 斑块且不包括骨骼,该区域最大 CT 值记为钙化斑块最大 CT 值。利用钙化积分半自动测量软件(smartscore 4.0; GE Healthcare)计算 Agatston 积分、体积积分(mm^3)及质量积分(mg)。据 Agatston 积分计算冠脉钙化危险分层,计算标准见表 1^[12]。

表 1 冠状动脉钙化危险分层标准

Agatston 积分	危险分层
0	0 级 极低
1~99	I 级 低
100~299	II 级 中
> 300	III 级 高

5. 辐射剂量

据剂量报告记录容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CT DI_{vol})、剂量长度乘积(dose length product, DLP)。计算有效剂量(effective dose, ED), $ED = DLP \times 0.014$ 。

6. 统计方法

计量资料以平均值 $\pm$ 标准差表示。正态分布数据采用单因素重复测量方差分析;非正态分布数据采用 Friedman 检验。 $P < 0.05$ 为具有统计学意义。使用 SPSS 20.0 统计软件进行统计学分析。

结 果

1. 钙化积分

不同混合权重对钙化积分的影响如表 2,图 1、2。随 ASIR-V 权重增加 Agatston 积分、体积积分及质量积分均逐渐下降,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。100 位受检者中 27 人 FBP 所得 Agatston 积分为 0。FBP 所得积分为 0,则其它算法所得积分均为 0。

2. 升主动脉和钙化斑块 CT 值

不同混合权重所得图像升主动脉 CT 值平均值、标准差,钙化斑块(65 枚)最大 CT 值测量结果如表 2、图 3。随 ASIR-V 权重增加升主动脉 CT 值标准差逐渐下降,差异有统计学意义($P < 0.05$),说明图像噪声水平逐渐降低;升主动脉 CT 值平均值差异无统计学意义($P = 0.631$)。65 枚斑块分别来自 65 位受检者,

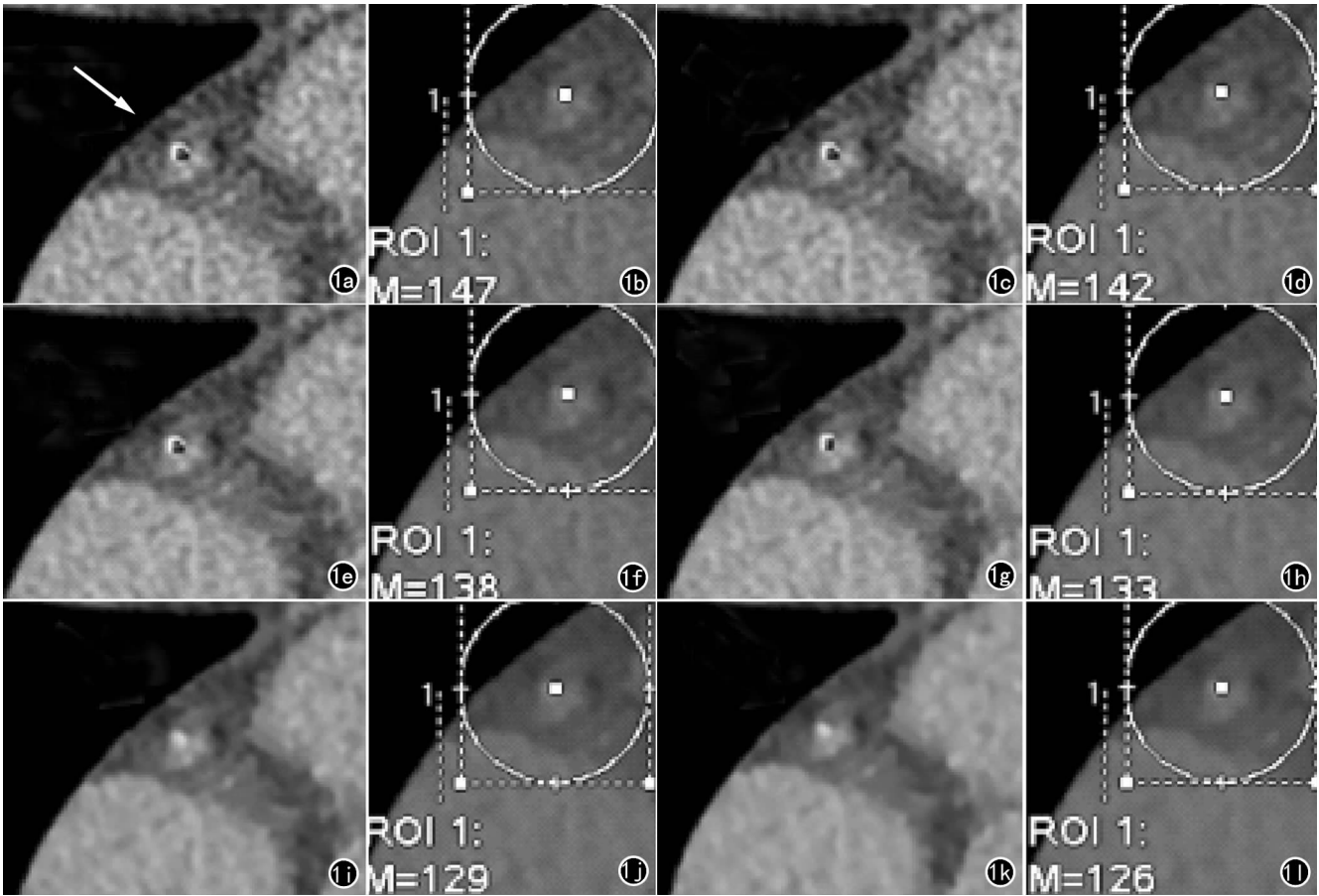


图 1 男,84 岁,右冠钙化斑块(箭)。a,b) FBP; c,d) ASIR-V20; e,f) ASIR-V40; g,h) ASIR-V60; 斑块最大 CT 值超过 130HU,软件可识别(红色标记);i,j) ASIR-V80; k,l) ASIR-V100。斑块最大 CT 值低于 130HU,软件不识别。

表 2 不同 ASIR-V 混合权重图像 CT 值测量结果及钙化积分

测量计算结果	FBP	ASIR-V20	ASIR-V40	ASIR-V60	ASIR-V80	ASIR-V100	统计量	P
升主动脉 CT 值(HU)								
平均值	47.02±4.06	47.05±4.04	47.04±4.01	47.03±4.00	47.02±4.01	47.05±3.99	0.495	0.631
标准差	24.6±2.5	21.8±2.3	19.0±2.1	16.4±2.0	13.8±1.7	11.6±1.6	8354.218	0.000
钙化斑块最大 CT 值(HU)								
平均值	624.4±333.3	623.7±335.6	622.8±337.7	622.2±339.9	621.3±342.2	620.6±344.4	1.982	0.852
Agatston 积分								
平均值	170.2±387.3	168.6±385.3	166.4±381.9	164.6±379.4	162.9±376.7	161.1±374.1	281.908	0.000
最大值	2841	2831	2806	2792	2772	2758		
质量积分(mg)								
平均值	23.62±52.56	23.49±52.23	23.32±52.30	23.20±53.10	23.15±52.83	22.99±52.41	23.275	0.000
最大值	328	324	329	346	345	339		
体积积分(mm³)								
平均值	68.7±140.7	67.8±139.8	67.0±139.6	65.7±137.2	64.8±135.9	64.0±135.0	177.379	0.000
最大值	1009	1005	998	978	968	965		

其中 26 枚最大 CT 值随混合权重增加而升高(图 4); 27 枚最大 CT 值随混合权重增加而降低;12 枚最大 CT 值无明显变化(差异<2HU)。钙化斑块最大 CT 值差异无统计学意义(P=0.852)。

3. 危险分层

相较于 FBP 算法,ASIR-V 算法导致 Agatston 钙化积分降低从而有可能导致危险分层降低。100 位受检者中 10 人危险分层在不同重建算法间发生变化。

其中 8 位受检者危险分层由低危险(I 级)降至极低危险(0 级);2 位受检者由中度危险 II 级降至低危险 I 级(表 3)。

4. 辐射剂量

容积 CT 剂量指数(CTDIvol): (3.69±1.18)mGy(1.50~6.74mGy);剂量长度乘积(DLP): (52.37±16.82)mGy·cm(20.94~94.33mGy·cm);有效剂量(ED): (0.7±0.2)mSv(0.3~1.3mSv)。

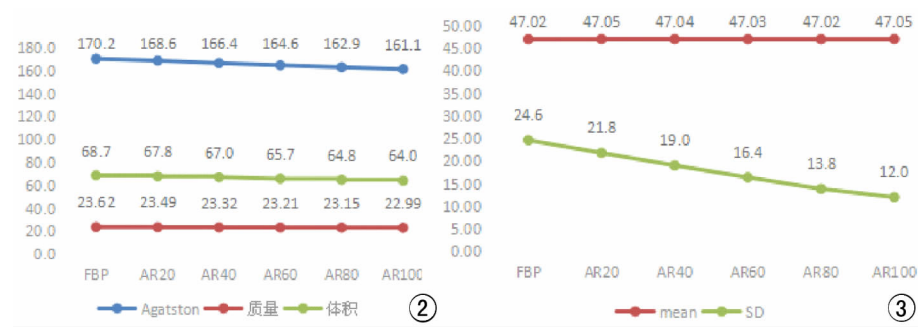


图 2 ASIR-V 混合权重对钙化积分影响。图 3 ASIR-V 混合权重对升主动脉 CT 值(HU)影响。

讨论

CAD 是目前临床多发,致死率、致残率较高疾病之一。冠状动脉疾病防治主要目的是减少急性冠状动脉事件发生。据冠状动脉 CT 图像获得血管狭窄情况、斑块情况与未来急性冠状动脉事件之间关系始终受到临床关注^[13,14]。危险程度分层目的是利用冠状

动脉粥样硬化 CT 征象对患者进行危险程度评估,从而为冠心病临床诊治提供依据。钙化积分对预测急性冠状动脉事件具有较高价值。基于 CT 图像钙化积分方法包括 Agatston 积分、体积积分及质量积分等。大量研究证明利用 Agatston 积分对急性冠状动脉事件危险程度进行分层已被临床广泛认可。Greenland 等发现 15.4% 钙化积分 >300 受检者 7 年内发生了急性冠状动脉事件。Petretta 等^[15-16]发现近 50% 钙化积分 >400 分受检者两年以后发生了急性冠状动脉事件,显著高于低钙化积分受检者。需要注意的是钙化积分会受到多种成像参数的影响包括曝光条件即管电压、管电流等,以及重建参数即重建层厚、显示视野、重建算法等。本研究旨在评价混合迭代重

表 3 10 位受检者危险分层在不同混合权重间发生变化

受检者	FBP		ASIR-V20		ASIR-V40		ASIR-V60		ASIR-V80		ASIR-V100	
	积分	危险分层	积分	危险分层	积分	危险分层	积分	危险分层	积分	危险分层	积分	危险分层
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	1	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	103	2	94	1	88	1	77	1	70	1	67	1
10	101	2	99	1	95	1	88	1	84	1	84	1

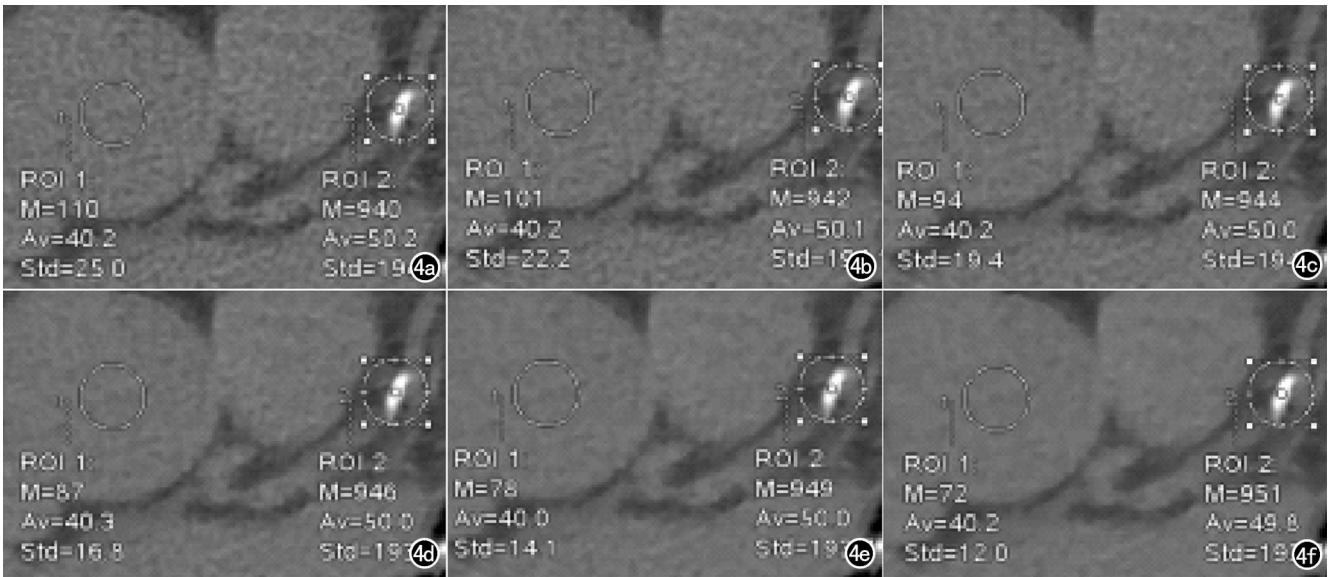


图 4 女,54 岁,前降支钙化斑块。a) FBP; b) ASIR-V20; c) ASIR-V40; d) ASIR-V60; e) ASIR-V80; f) ASIR-V100。升主动脉 CT 值标准差逐渐降低,平均值无明显变化(ROI 1),钙化斑块最大 CT 值逐渐升高(ROI 2)。

建算法(ASIR-V)混合权重对钙化积分及危险分层的影响。

目前,相较于传统滤波反投影(FBP)重建算法,迭代重建(iterative reconstruction, IR)算法应用更为广泛。迭代重建算法可显著降低图像噪声,提高密度分辨率、空间分辨率,从而改善图像质量并给辐射剂量降低提供空间。迭代重建算法包括混合(hybrid)迭代及完全(fully)迭代两种类型^[17],前者应用更为广泛。混合迭代重建算法所得图像由 IR 图像与 FBP 图像按一定比例混合而成。以 ASIR-V 为例 ASIR-V20% 表示图像由 IR 图像与 FBP 图像以 2:8 的比例混合而成; ASIR-V0% 即 FBP 图像; ASIR-V100% 即 IR 图像^[18,19]。

本研究显示与 FBP 算法相比 ASIR-V 算法可明显降低图像噪声且随着混合权重的增加噪声水平逐渐降低。ASIR-V 混合权重也影响钙化斑块最大 CT 值。同时,混合权重增加还会导致钙化积分降低甚至危险分层的降低。100 位受检者中共有 10 人的危险分层随着 ASIR-V 混合权重升高而改变。其中 8 位受检者危险分层由低危险(I 级)降至极低危险(0 级);2 位受检者由中度危险(II 级)降至低危险(I 级)。笔者认为本研究仅纳入 100 位受检者,若样本量扩大则极有可能出现危险分层由高危险(III 级)降至中度危险(II 级)的情况。危险分层改变会直接影响临床治疗方案的制定,造成不良后果。

本研究尚存不足的是所有测量与计算仅由一套钙化积分测量软件完成,未使用其它软件。不同软件所得结果是否相同待进一步研究。其次,笔者尚无法解释 ASIR-V 权重增加导致钙化积分降低原因。如何选择合适迭代算法评估患者危险分层有待研究。

综上所述,本研究结果显示与 FBP 算法相比混合迭代重建算法(ASIR-V)会降低冠状动脉钙化积分且随着混合权重的增加积分逐渐降低。钙化积分降低可能导致危险分层降低。在计算钙化积分与危险分层时须特别注意图像重建参数。

参考文献:

- [1] Hecht H, Blaha MJ, Berman DS, et al. Clinical indications for coronary artery calcium scoring in asymptomatic patients: Expert consensus statement from the Society of Cardiovascular Computed Tomography[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2017, 11(2): 157-168.
- [2] Blaha MJ, Mortensen MB, Kianoush S, et al. Coronary artery calcium scoring: is it time for a change in methodology[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10(8): 923-937.
- [3] 中华医学会放射学分会心胸学组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(10): 732-743.

- [4] 中华医学会放射学分会质量控制与安全管理专业委员会. 心血管 CT 成像辐射剂量优化中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(7): 510-516.
- [5] Vonder M, Van der Werf NR, Leiner T, et al. The impact of dose reduction on the quantification of coronary artery calcifications and risk categorization: A systematic review[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2018, 12(5): 352-363.
- [6] Van Osch JA, Mouden M, van Dalen JA, et al. Influence of iterative image reconstruction on CT-based calcium score measurements[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2014, 30(5): 961-967.
- [7] Tesche C, De Cecco CN, Schoepf UJ, et al. Iterative beam-hardening correction with advanced modeled iterative reconstruction in low voltage CT coronary calcium scoring with tin filtration: impact on coronary artery calcium quantification and image quality[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2017, 11(5): 354-359.
- [8] Schindler A, Vliegthart R, Schoepf UJ, et al. Iterative image reconstruction techniques for CT coronary artery calcium quantification: comparison with traditional filtered back projection in vitro and in vivo[J]. Radiology, 2014, 270(2): 387-393.
- [9] 龙斌, 宋少辉, 刘怡, 等. SAFIRE 算法对冠状动脉钙化积分的影响[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(7): 1117-1120.
- [10] Willeminck MJ, Takx RA, de Jong PA, et al. The impact of CT radiation dose reduction and iterative reconstruction algorithms from four different vendors on coronary calcium scoring[J]. Eur Radiol, 2014, 24(9): 2201-2212.
- [11] 樊荣荣, 施晓雷, 钱懿, 等. 不同迭代重组技术在低剂量胸部 CT 平扫中评估冠状动脉钙化积分在筛查心血管疾病风险的准确性研究[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(3): 504-509.
- [12] Hecht HS, Blaha MJ, Kazerooni EA, et al. CAC-DRS: coronary artery calcium data and reporting system. An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT)[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2018, 12(3): 185-191.
- [13] 侯志辉, 安云强, 高扬, 等. 不同胸痛类型冠状动脉粥样硬化性心脏病: 基于冠状动脉 CTA 的对比分析[J]. 放射学实践, 2020, 35(8): 1015-1019.
- [14] 詹友军, 彭俊红, 胡浩, 等. 基于冠状动脉 CTA 的血流储备分数对冠心病心肌缺血诊断价值的 Meta 分析[J]. 放射学实践, 2019, 34(5): 495-500.
- [15] Sandfort V, Bluemke DA. CT calcium scoring. History, current status and outlook[J]. Diagn Interv Imaging, 2017, 98(1): 3-10.
- [16] 侯志辉, 吕滨. 冠状动脉 CT 成像对急性冠状动脉事件的预测价值[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(4): 382-384.
- [17] Obmann VC, Klink T, Heverhagen JT, et al. Impact of hybrid iterative reconstruction on agatston coronary artery calcium scores in comparison to filtered back projection in native cardiac CT[J]. Rofo, 2015, 187(5): 372-379.
- [18] Takahashi M, Kimura F, Umezawa T, et al. Comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques in quantifying coronary calcium[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2016, 10(1): 61-68.
- [19] Gebhard C, Fiechter M, Fuchs TA, et al. Coronary artery calcium scoring: Influence of adaptive statistical iterative reconstruction using 64-MDCT[J]. Int J Cardiol, 2013, 167(6): 2932-2937.