

第二代运动校正算法对心肌桥-壁冠状动脉 CT 血管成像图像质量及测量可重复性的影响

张卓璐, 刘卓, 陈雷, 洪楠

【摘要】 目的:评价第二代运动校正算法对心肌桥-壁冠状动脉 CT 血管成像图像质量及测量可重复性的影响,并与第一代校正算法及未经校正图像相比较。**方法:**回顾性分析 66 例前降支心肌桥-壁冠状动脉 CT 图像。在 45% 及 75% 心动周期重建未经校正的标准图像、经第一代算法校正的图像及第二代算法校正图像。图像质量由两位观察者应用 4 分制评分(1 分不合格,4 分优秀)并比较。测量并比较心肌桥深度、长度以及壁冠状动脉管腔截面积及最小直径。**结果:**在 45% 心动周期,标准、第一代、第二代校正图像中壁冠状动脉图像质量评分分别为 1.59 ± 0.78 , 2.21 ± 0.97 , 3.21 ± 0.62 ;心肌桥图像质量评分分别为 2.48 ± 0.79 , 2.76 ± 0.75 , 3.58 ± 0.58 。在 75% 心动周期,标准、第一代、第二代校正图像中壁冠状动脉图像质量评分分别为 2.26 ± 0.60 , 3.03 ± 0.89 , 3.59 ± 0.55 ;心肌桥图像质量评分分别为 3.00 ± 0.93 , 3.17 ± 0.83 , 3.80 ± 0.44 。对于壁冠状动脉的显示第一代算法优于标准算法,而对与心肌桥两算法无统计学差异($P > 0.05$)。与标准算法及第一代校正算法相比,第二代算法提高了心肌桥与壁冠状动脉的图像质量,并且在 45% 和 75% R-R 间期的测量中有更窄的观察者间一致性区间。**结论:**与常规算法及第一代运动校正算法相比,第二代算法可提高心肌桥-壁冠状动脉 CT 图像质量及测量可重复性。

【关键词】 冠状血管;体层摄影术,X 线计算机;心肌桥;算法

【中图分类号】 R322.12;R814.4;R541.1;R195.1 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2024)10-1349-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.10.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of second-generation motion correction algorithm on image quality and measurement reproducibility of coronary CT angiography in patients with myocardial bridge and mural coronary artery ZHANG Zhuo-lu, LIU Zhuo, CHEN Lei, et al. Department of Radiology, People's Hospital, Peking University, Beijing 100044

【Abstract】 Objectives: To determine the effect of second-generation motion correction (MC2) on image quality and measurement reproducibility of cardiac CT images in patients with myocardial bridge and mural coronary artery (MB-MCA) compared to standard (STD) images without motion correction and with first-generation motion correction (MC1). **Methods:** A total of 66 patients with MB-MCA in the left anterior descending branch were analyzed retrospectively. Images were reconstructed at 45% and 75% R-R intervals using STD, MC1, and MC2 algorithms. Image quality for MB-MCA was assessed by two observers using a four-point scale (1 = poor and 4 = excellent) and compared among STD, MC1, and MC2. Depth and length of MB, lumen area and minimal diameter of MCA were measured and compared. **Results:** At 45% R-R interval, image quality scores were 1.59 ± 0.78 , 2.21 ± 0.97 , and 3.21 ± 0.62 for MCA, and 2.48 ± 0.79 , 2.76 ± 0.75 , and 3.58 ± 0.58 for MB with STD, MC1 and MC2, respectively. At 75% R-R interval, these values were 2.26 ± 0.60 , 3.03 ± 0.89 , and 3.59 ± 0.55 for MCA and 3.00 ± 0.93 , 3.17 ± 0.83 , and 3.80 ± 0.44 for MB. Although MC1 was superior to STD in displaying MCA, there was no statistical difference between the two algorithms for MB ($P > 0.05$). Compared with STD and MC1, MC2 statistically improved image quality for both MCA and MB and

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,博士研究生,主治医师,主要从事心脏及胸部 CT 诊断工作。

通讯作者:洪楠, E-mail: hongnanrmyy@sina.cn

had narrower limits in interobserver agreement for measurements at both 45% and 75% R-R intervals. **Conclusion:** MC2 improves CT image quality and measurement reproducibility in patients with MB-MCA compared to STD and MC1.

【Key words】 Coronary vessels; Tomography, X-ray computed; Myocardial bridging; Algorithms

正常冠状动脉及其分支走行于心外膜脂肪组织内,但有时会走行于心肌组织内,局部冠状动脉被心肌完全包埋,其中覆盖于冠脉表面的心肌称为心肌桥(myocardial bridge, MB),而走行于心肌纤维下的冠脉称为壁冠状动脉(mural coronary artery, MCA)。大多数心肌桥患者没有症状,部分患者可出现心绞痛、心肌梗死、用力时心肌缺血、猝死等症状。心肌桥收缩期压迫壁冠状动脉可导致舒张期心肌灌注降低引起各种缺血性心肌病^[1-2]。因此,对心肌桥-壁冠状动脉的准确诊断具有重要临床意义。

冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)通过直接显示冠状动脉血管节段走行于心肌内可以诊断 MB-MCA。凭借较高的时间分辨率及丰富实用的后处理技术, CCTA 可直观显示冠状动脉与心肌的空间关系,提高 MB-MCA 的检出率^[3-7]。然而,受限于时间分辨率, CCTA 常受到冠脉运动伪影的影响,严重时可能造成无法诊断、检查失败。提高冠脉成像时间分辨率,抑制运动伪影是提高图像质量及检查成功率的关键。冠状动脉运动校正算法(motion-correction algorithm)是提高成像时间分辨率、抑制冠脉运动伪影的有效途径之一^[8]。本研究旨在评价第一代、第二代冠脉运动校正算法抑制 MB-MCA 运动伪影的效果。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析 2022 年 4 月于本院 256 排探测器 CT (Revolution Apex, GE Healthcare)完成的冠状动脉 CT 血管成像且诊断为前降支(left anterior descending artery, LAD)单发心肌桥-壁冠状动脉的病例共 66 例,其中男 30 例,女 36 例,平均年龄 $62 \pm 11(40 \sim 81)$ 岁,心率 $71 \pm 10(53 \sim 107)$ bpm。通过轴面、曲面重组(curved planar reformation, CPR)图像及血管横截面图像观察冠状动脉与心肌的关系,判定 MB-MCA: MB 定义为血管节段性被心肌完全包绕或环周 1/2 以上被心肌包绕,而其近、远端走行在心外膜脂肪组织中,该段冠状动脉即为 MCA。由于 MB-MCA 多发于 LAD^[9-10],本研究只评价 LAD 单发 MA-MCA 以获得更大的样本量。

2. 扫描方案

扫描范围自气管分叉至心底。管电压、管电流由自动曝光控制系统设定(表 1)。以 $4 \sim 5$ mL/s 的流率经肘正中静脉注射对比剂碘普罗胺(370 mg I/mL) $40 \sim 50$ mL。对比剂注射后以相同流率追加生理盐水 30 mL。应用自动触发技术,触发感兴趣区置于气管分叉层面的降主动脉内。感兴趣区 CT 值增幅超过 80 HU 后,延时 6 s 启动扫描。

表 1 扫描、重建参数

扫描参数	设定值
管电压	80, 100, 120 kVp
管电流	200~1000 mA
球管转速	0.28 s/rot
重建层厚	0.625 mm
重建间隔	0.625 mm
混合迭代权重	DL-H
预设噪声指数	20 HU
重建类型	标准
曝光时间窗	40%~80%RR 间期

3. 主观评分

重建未经校正算法处理的标准图像,记为 STD 组;重建经第一代算法处理的图像,记为 MC1 组;重建经第二代 SSF 算法处理的图像,记为 MC2 组。针对每一病例,每种算法均重建两期图像,即收缩末期(45% R-R 间期)与舒张末期(75% R-R 间期)。

轴面图像传输至后处理工作站(AW 4.7, GE Healthcare),后处理得到 CPR 图像及横截面图像。图像由两位具备 10 年以上诊断经验的放射医师盲法评价。阅片者观察轴面图像、CPR 图像及横截面图像,针对心肌桥与壁冠状动脉图像质量分别评分。评分标准:1 分伪影严重,不可诊断;2 分有伪影,但仍可诊断;3 分伪影轻,不影响诊断;4 分无伪影,可诊断。

4. 测量

测量心肌桥长度及最深处的心肌厚度、壁冠状动脉最狭窄处最小直径、截面积。MB 长度定义为自冠状动脉进入心肌开始到走出心肌的管腔中心线长度。在血管横截面图像上测量 MB 深度,从心肌表面垂直于血管腔段取其最深的一处测量。测量由两名 10 年以上后处理工作站应用经验技师完成。

5. 统计方法

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。连续变量采用平均值±标准差表示。使用 Wilcoxon 配对符号秩检验比较任意两种算法(STDvs. MC1, STDvs.

MC2 和 MC1 vs. MC2)之间的图像质量得分。使用 Cohen k 系数分析观察者一致性, ≤ 0.20 、 $0.21 \sim 0.40$ 、 $0.41 \sim 0.60$ 、 $0.61 \sim 0.80$ 及 ≥ 0.81 分别代表一致性差、一般、适中、好及极好。使用 Bland Altman 比较两名观察者的评分。 $P < 0.05$ 具有统计学意义。

结果

1. 图像质量

MCA 在 45% R-R 间期 STD、MC1 和 MC2 组的图像质量观察者间一致性 Kappa 系数分别为 0.905 ($P < 0.01$)、0.833 ($P < 0.01$) 和 0.752 ($P < 0.01$); 75% R-R 间期 Kappa 系数分别为 0.885 ($P < 0.01$)、0.969 ($P < 0.01$) 和 0.822 ($P < 0.01$)。MB 在 45% R-R 间期 STD、MC1 和 MC2 组的图像质量观察者间一致性 Kappa 系数分别为 0.909 ($P < 0.01$)、0.839 ($P < 0.01$) 和 0.752 ($P < 0.01$); 75% R-R 间期 Kappa 系数分别为 0.891 ($P < 0.01$)、0.982 ($P < 0.01$) 和 0.902

($P < 0.01$)。Kappa 值表明在所有评估中两位观察者均达到好或极好的一致性。

对于 MCA, STD, MC1 和 MC2 算法平均图像质量评分在 45% R-R 间期分别为 1.59 ± 0.78 、 2.21 ± 0.97 和 3.21 ± 0.62 ; 75% R-R 间期分别为 2.26 ± 0.60 、 3.03 ± 0.89 和 3.59 ± 0.55 。对于 MB, STD, MC1 和 MC2 算法平均图像质量评分在 45% R-R 间期分别为 2.48 ± 0.79 、 2.76 ± 0.75 和 3.58 ± 0.58 ; 75% R-R 间期分别为 3.00 ± 0.93 、 3.17 ± 0.83 和 3.80 ± 0.44 。

结果表明尽管 MC1 算法在 MCA 评分优于 STD 算法,但对于 MB 评分,两种算法之间没有统计差异 ($P > 0.05$)。与 STD 和 MC1 算法相比 MC2 算法显著提高 MCA 和 MB 图像质量评分(表 2,图 1、2)。

2. 测量结果观察者间一致性

45% R-R 间期与 STD、MC1 算法相比 MC2 算法观察者间一致性区间较窄,包括深度(偏差 0.01 vs.

表 2 不同算法图像质量及可诊断性

评分、可诊断性	STD	MC1	MC2	P (STD v MC1)	P (STD v MC2)	P (MC1 v MC2)
45% R-R 评分						
MCA	1.59 ± 0.78	2.21 ± 0.97	3.21 ± 0.62	< 0.001	< 0.001	< 0.001
MB	2.48 ± 0.79	2.76 ± 0.75	3.58 ± 0.58	0.223	< 0.001	< 0.001
75% R-R 评分						
MCA	2.26 ± 0.60	3.03 ± 0.89	3.59 ± 0.55	< 0.001	< 0.001	0.002
MB	3.00 ± 0.93	3.17 ± 0.83	3.80 ± 0.44	0.889	< 0.001	< 0.001
45% R-R 可诊断性						
MCA	43.4% (28/66)	83.3% (50/66)	100% (66/66)	0.012	< 0.001	0.110
MB	89.4% (59/66)	95.5% (63/66)	100% (66/66)	1.000	1.000	1.000
75% R-R 可诊断性						
MCA	72.7% (48/66)	95.5% (63/66)	100% (66/66)	0.151	0.056	1.000
MB	92.4% (61/66)	100% (66/66)	100% (66/66)	1.000	1.000	1.000

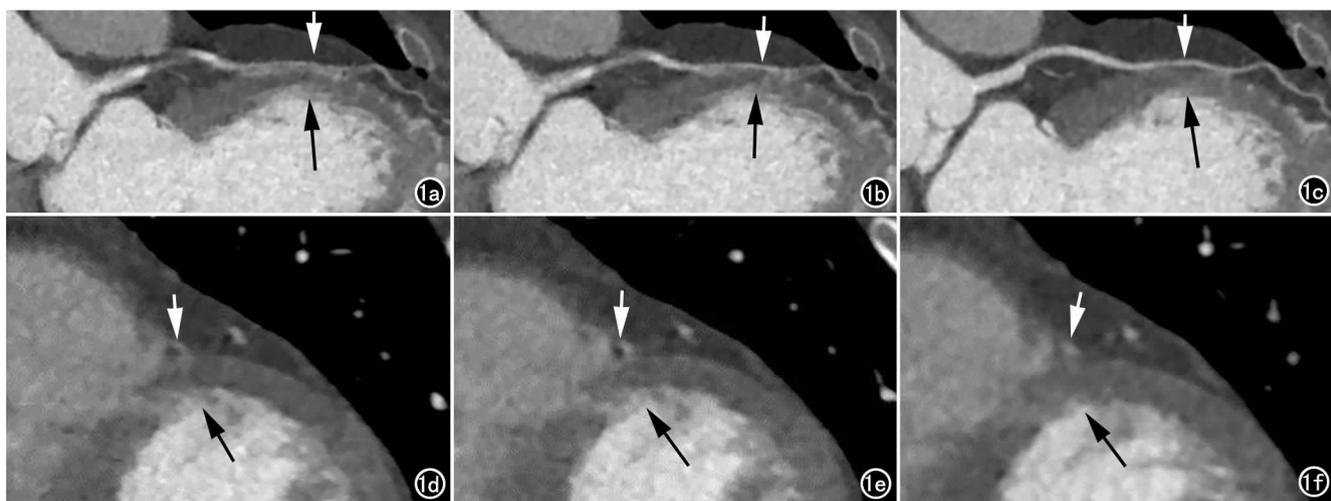


图 1 女,59岁,75%心动周期图像。a)未经校正 CPR 图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 1 分;b)经第一代算法校正 CPR 图像,血管(短箭)评价 2 分,心肌(箭)评价 1 分;c)经第二代算法校正 CPR 图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 3 分;d)未经校正横断位图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 1 分;e)经第一代算法校正横断位图像,血管(短箭)评价 2 分,心肌(箭)评价 1 分;f)经第二代算法校正横断面图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 3 分。

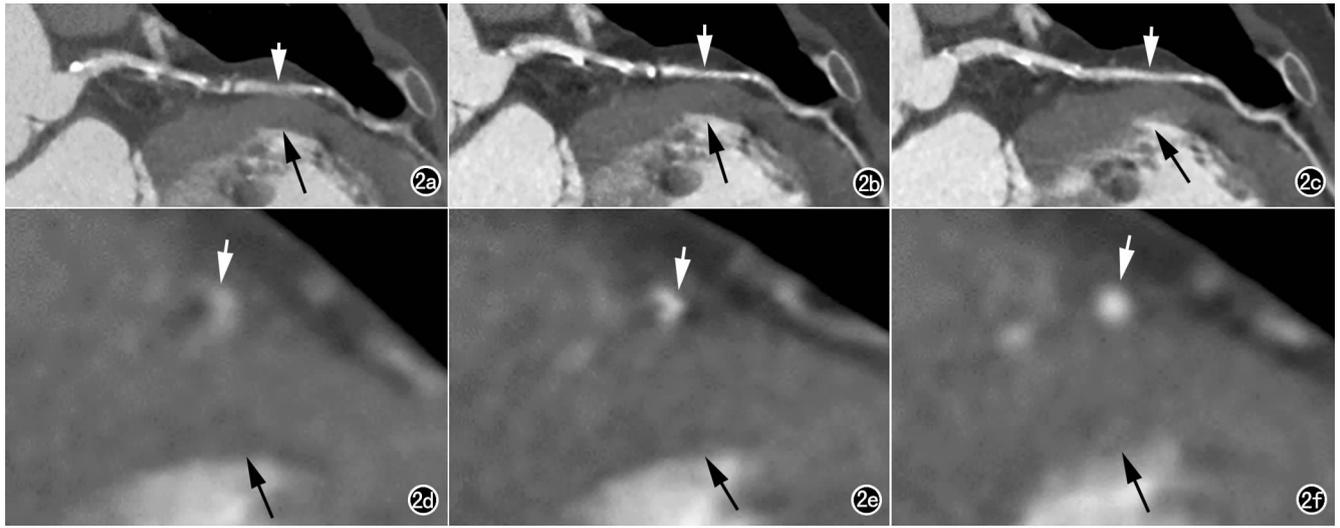


图 2 男,66 岁,45%心动周期图像。a)未经校正 CPR 图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 1 分;b)经第一代算法校正 CPR 图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 2 分;c)经第二代算法校正 CPR 图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 4 分;d)未经校正横断面图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 1 分;e)经第一代算法校正横断面图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 2 分;f)经第二代算法校正横断面图像,血管(短箭)、心肌(箭)均评价 4 分。

0.03 vs -0.02 mm, 极差 -0.91~0.93 mm vs. -0.64~0.70 mm vs. -0.32~0.28 mm)、长度(偏差 -0.2 vs 0.1 vs. -0.2 mm, 极差 -5.2~4.9 mm vs. -3.9~4.0 mm vs. -2.2~1.8 mm)、直径(偏差 -0.14 vs. -0.11 vs. -0.01 mm, 极差 -0.93~0.65 mm vs. -0.66~0.45 mm vs. -0.17~0.15 mm)以及面积(偏差 -0.26 vs. -0.13 vs. -0.04 mm², 极差 -2.13~1.62 mm² vs. -1.50~1.23 mm² vs. 0.40~0.32 mm²)。观察者对 MC2 算法深度、长度、管腔面积和最小直径一致性极好(PC 0.97~1.00, 表 3, 图 3)。

75% R-R 间期与 STD、MC1 算法相比 MC2 算法观察者间一致性区间较窄,包括深度(偏差 0.10 vs. 0.02 vs. 0.03 mm, 极差 -0.64~0.85 mm vs. -0.56~0.60 mm vs. -0.20~0.25 mm)、长度(偏差 -0.1 vs. -0.1 vs. -0.1 mm, 极差 -4.4~4.1 mm vs. -3.4~3.1 mm vs. -2.0~1.9 mm)、直径(偏差 0.00 vs. -0.05 vs. -0.02 mm, 极差 -0.67~0.68 mm vs. -0.56~0.46 mm vs.

-0.19~0.16 mm)以及面积(偏差 -0.02 vs. -0.03 vs. 0.00 mm², 极差 -1.38~1.33 mm² vs. -0.11~1.04 mm² vs. -0.35~0.34 mm²)。观察者对 MC2 算法深度、长度、管腔面积和最小直径一致性极好(PC 0.96~1.00, 表 3)。

讨论

心肌桥作为冠状动脉的一种发育变异,因其对壁冠状动脉的挤压作用可造成其相应供血区域的心肌缺血而导致心动过速、心律失常,心绞痛,甚至急性冠状动脉事件的发生。目前临床诊断心肌桥的常用方法为经导管冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)和 CCTA 检查^[13]。ICA 诊断心肌桥的标准为“挤牛奶效应”即冠状动脉收缩期一过性狭窄,而舒张期恢复。ICA 检查有创,检出率低,对一些壁冠状动脉轻度受压或无明显受压的心肌桥不能显示。空间分辨率、时间分辨率虽不及 ICA,但 CCTA 凭借较高的密度分辨率及丰富且实用的图像后处理技术能够直观、清晰显示冠状动脉与心肌的解剖关系,有助于判定心

表 3 STD, MC1 和 MC2 算法的一致性相关系数(PC)

测量参数	45% STD	45% MC1	45% MC2	75% STD	75% MC1	75% MC2
Depth (95% CI)	0.96($P<0.001$) (0.93~0.97)	0.98($P<0.001$) (0.97~0.99)	1.00($P<0.001$) (0.99~1.00)	0.97($P<0.001$) (0.95~0.98)	0.98($P<0.001$) (0.97~0.99)	1.00($P<0.001$) (0.99~1.00)
Length (95% CI)	0.96($P<0.001$) (0.93~0.97)	0.97($P<0.001$) (0.95~0.98)	0.99($P<0.001$) (0.99~1.00)	0.97($P<0.001$) (0.95~0.98)	0.98($P<0.001$) (0.97~0.99)	0.99($P<0.001$) (0.99~1.00)
Diameter (95% CI)	0.67($P<0.001$) (0.54~0.77)	0.77($P<0.001$) (0.67~0.84)	0.97($P<0.001$) (0.95~0.98)	0.71($P<0.001$) (0.57~0.81)	0.80($P<0.001$) (0.72~0.87)	0.96($P<0.001$) (0.94~0.98)
Area (95% CI)	0.74($P<0.001$) (0.62~0.83)	0.83($P<0.001$) (0.74~0.89)	0.98($P<0.001$) (0.97~0.99)	0.83($P<0.001$) (0.74~0.89)	0.85($P<0.001$) (0.77~0.91)	0.98($P<0.001$) (0.97~0.99)

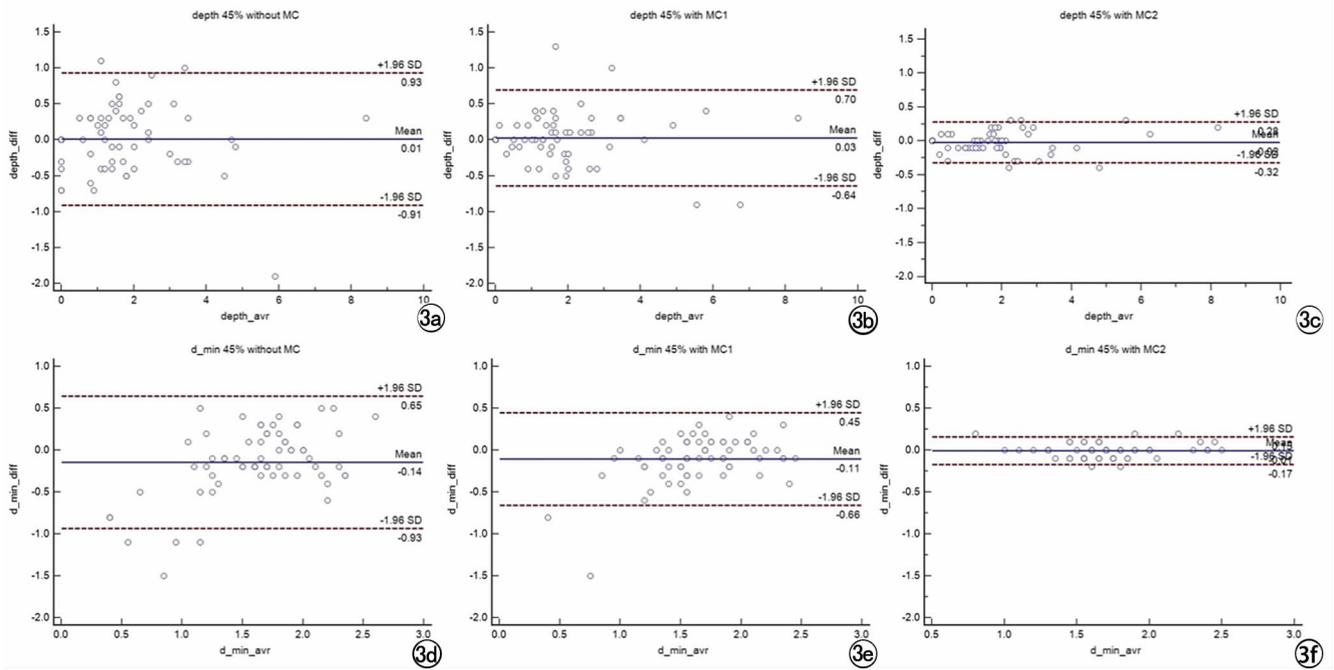


图 3 45%心动周期, 3 种算法图像所得深度、直径 Bland-Altman 分析。a) STD 深度; b) MC1 深度; c) MC2 深度; d) STD 直径; e) MC1 直径; f) MC2 直径。

肌桥-壁冠状动脉的存在, 已成为诊断心肌桥-壁冠状动脉的首选检查技术^[14]。

既往研究表明 MB 引起的心肌缺血不仅与冠状动脉收缩期受压迫有关, 还与舒张期血流持续充盈不全相关。MB 的压迫会引起 MCA 收缩期和舒张期的不同变化, 两期导致的后果既有独立的方面, 又相互作用。收缩期狭窄程度与 MCA 近端血管粥样硬化的发生率相关。舒张期血管狭窄可直接导致心肌灌注减少、心肌缺血。通过双期图像评价心肌桥-壁冠状动脉可对临床诊疗提供有力支持。另一方面, 双期相采集模式必然导致曝光时间窗的延长及辐射剂量的增加。本研究中采用的曝光时间窗位于 40%~80% 心动周期, 其平均 CTDIvol 达到 11.3 mGy, 大于刘卓等^[15]采用的优化曝光时间窗所得的 CTDIvol (平均 9.7 mGy)。

既往文献显示^[16-17] 通常低心率受检者舒张末期 (75% R-R 间期) 运动伪影较小, 收缩末期 (45% R-R 间期) 运动伪影较大, 相反, 高心率受检者舒张末期 (75% R-R 间期) 运动伪影较大, 收缩末期 (45% R-R 间期) 运动伪影较小。由于 CT 成像时间分辨率不足, 目前大部分设备无法同时获得高质量的收缩末期及舒张末期图像。亦有文献证实 SSF 算法利用单个心脏周期内相邻期相的信息来描述血管运动路径和速度, 从而确定目标期相血管的实际位置, 并对该期相中其他运动进行适应性补偿, 进而提高冠脉成像时间分辨率。第一代 SSF 仅能改善冠状动脉搏动伪影, 而第二

代 SSF 可进一步抑制冠脉、瓣膜及心肌等结构的运动伪影, 故称之为全心运动校正算法^[18-22]。

本研究结果显示与第一代相比, 第二代 SSF 可进一步抑制冠脉、心肌、瓣膜等结构的运动伪影, 使 MB-MCA 在舒张期和收缩期均能获得高质量的图像, 有利于测量心肌桥长度、厚度、壁冠状动脉管径等。对于壁冠状动脉的显示第一代算法优于标准算法, 而对与心肌桥两算法无统计学差异。与标准算法及第一代校正算法相比, 第二代算法提高了心肌桥与壁冠状动脉的图像质量, 并且在 45% 和 75% R-R 间期的测量中, 有更窄的观察者一致性区间。

本研究尚存不足: 首先, 为提高样本量, 本研究只分析单发于 LAD 的 MB-MCA, 未分析右冠状动脉、回旋支及多发 MB-MCA 等情况。其次, 由于样本量小, 未搜集到相关 ICA, 血管内超声等检查结果作为参考用以评价测量的可靠性。

综上所述, 本研究结果显示全心运动校正算法即第二代运动校正算法较第一代算法可进一步抑制 CT 图像中心肌桥-壁冠状动脉的运动伪影, 提高了对病变测量的可重复性。

参考文献:

- [1] 叶佳琦, 鲁翔. 探讨心肌桥与冠心病的相关性[J]. 临床心血管病杂志, 2020, 36(11): 1057-1060.
- [2] 徐敏雯, 韦凡平, 钱菊英, 等. 心肌桥的检出率及其临床意义[J]. 中国医学科学院学报, 2006, 28(6): 862-864.
- [3] 国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工作组, 中华医学会放射学分会心胸学组. 《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排

- CT 临床应用指南写作专家组. 冠状动脉 CT 血管成像的适用标准及诊断报告书写规范[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(11): 1044-1055.
- [4] 张极平, 李丽, 王敏. 冠状动脉 CTA 管腔密度梯度参数预测心肌桥收缩压迫程度的价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2020, 31(5): 338-342.
- [5] 余蒙蒙, 李跃华, 李文彬, 等. 舒张期冠状动脉 CTA 管腔内密度衰减率预测心肌桥收缩压迫程度[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(8): 1143-1147.
- [6] 施进喜, 蔡东旭, 赵新斌, 等. 校正的管腔内密度衰减梯度与桥前段冠状动脉粥样硬化的相关性[J]. 中国医学科学院学报, 2020, 42(3): 354-358.
- [7] 李红文, 赵韧, 李小虎, 等. 心外膜脂肪体积与冠状动脉粥样硬化及心肌桥的关系[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(1): 64-67.
- [8] 杨仁杰, 查云飞, 杨文兵, 等. 基于运动校正算法的高心率低剂量冠状动脉 CT 血管成像的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(11): 1703-1707.
- [9] 李荣先, 袁明远, 王培培, 等. 右冠状动脉心肌桥 CT 血管成像及心电图表现初步分析[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(10): 1584-1587.
- [10] 袁明远, 李荣先, 贾雷, 等. 左回旋支心肌桥 CTA 表现特点分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(1): 21-24.
- [11] Liu G, Qu Y, Chen X, et al. Measurements of myocardial bridges on computed tomography predict presence of clinical symptoms and outcomes of adverse heart events: a retrospective study in a large population from China[J]. Acta Radiol, 2017, 58(9): 1068-1076.
- [12] 王海蓉, 宋文豪, 涂佩, 等. 心肌桥的临床特征及其影像学指标与心肌缺血症状的相关性[J]. 中国动脉硬化杂志, 2017, 25(1): 43-47.
- [13] 谢伟, 谢元亮, 王翔, 等. 冠状动脉血管密度梯度参数对伴收缩期压迫的心肌桥的诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(7): 1107-1112.
- [14] 袁明远, 张慧群, 李荣先, 等. 无症状冠状动脉单纯心肌桥的 CTA 表现[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(4): 581-584.
- [15] 刘卓, 王征, 洪楠, 等. 优化采集时间窗对冠状动脉 CT 血管成像图像质量及辐射剂量的影响[J]. 放射学实践, 2019, 34(9): 984-988.
- [16] 中华医学会放射学分会心胸学组, 《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 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.
- [17] 张卓璐, 李少朕, 洪楠, 等. 采集时间窗对冠状动脉 CT 图像质量及辐射剂量的影响[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(2): 338-341.
- [18] 李昊岩, 孙记航, 田宏伟, 等. 第二代全心运动校正算法改善高心率儿童心脏 CTA 瓣膜图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12): 1880-1884.
- [19] 王彪, 陈兴灿, 应小丰, 等. 冠状动脉追踪冻结技术在回顾性心电图门控下改善冠脉 CTA 图像质量的应用价值[J]. 放射学实践, 2017, 32(4): 427-430.
- [20] Liang J, Sun Y, Ye Z, et al. Second-generation motion correction algorithm improves diagnostic accuracy of single-beat coronary CT angiography in patients with increased heart rate[J]. Eur Radiol, 2019, 29(8): 4215-4227.
- [21] Sun J, Okerlund D, Cao Y, et al. Further improving image quality of cardiovascular computed tomography angiography for children with high heart rates using second-generation motion correction algorithm[J]. J Comput Assist Tomogr, 2020, 44(5): 790-795.
- [22] Goldberg A, Adams WH, Thomsen B, et al. Validation of second-generation motion-correction software for computed tomography coronary angiography with novel quantitative approach[J]. J Comput Assist Tomogr, 2021, 45(3): 403-407.

(收稿日期: 2023-06-03 修回日期: 2023-11-06)