

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2017)25-06-0594-05

斑块钙化对双源 CT 冠状动脉造影诊断准确性的影响

周逸, 陈曼华, 戴睿, 周炜, 廖华

(武汉市中心医院心内科, 湖北省武汉市 430014)

[关键词] 冠状动脉; 斑块钙化; 双源 CT; 选择性冠状动脉造影

[摘要] **目的** 定性、定量分析斑块钙化对双源 CT 冠状动脉造影诊断准确性的影响。**方法** 回顾性分析双源 CT 冠状动脉造影诊断为冠心病, 后行选择性冠状动脉造影的患者 224 例, 共 375 处明显狭窄病变, 其中 234 处为钙化病变。比较斑块不同钙化程度、钙化斑块血管直径、钙化斑块长度和钙化斑块血管分布对双源 CT 冠状动脉造影诊断冠状动脉狭窄准确性的影响。**结果** 对轻中度钙化斑块和重度钙化斑块, 双源 CT 分别高估管腔狭窄 6.8% ($P=0.0028$) 和 18.8% ($P<0.0001$), 且高估狭窄在重度钙化斑块中更明显 ($P=0.002$)。对血管直径较小和血管直径较大的钙化斑块, 双源 CT 分别高估管腔狭窄 7.2% ($P=0.0026$) 和 17.1% ($P<0.0001$), 且高估狭窄在血管直径较大时更明显 ($P=0.001$)。对不同长度的钙化斑块, 双源 CT 的诊断准确性未见差异 ($P=0.792$)。**结论** 斑块钙化使双源 CT 高估冠状动脉管腔狭窄, 且钙化程度重和血管直径较大时更易出现。

[中图分类号] R54

[文献标识码] A

Influence of plaque calcification on the diagnostic accuracy of dual source CT coronary angiography

ZHOU Yi, CHEN Man-Hua, DAI Rui, ZHOU Wei, LIAO Hua

(Department of Cardiology, the Central Hospital of Wuhan, Wuhan, Hubei 430014, China)

[KEY WORDS] Coronary artery; Plaque calcification; Dual source CT; Selective coronary angiography

[ABSTRACT] **Aim** To qualitatively and quantitatively evaluate the influence of plaque calcification on the diagnostic accuracy of dual source CT (DSCT) coronary angiography for coronary stenosis assessment. **Methods** The retrospective analysis enrolled 224 patients. They were diagnosed as coronary artery disease by DSCT angiography, and then received selective coronary angiography. There were 375 lesions with significant coronary stenosis in 224 patients according to DSCT. Of 375 lesions, 234 lesions were with calcification. The influence of characteristics of lesions on accuracy of DSCT angiography for coronary stenosis assessment was evaluated. These characteristics included calcification degree of lesions, artery external diameter of calcified lesions, length of calcified lesions and location of calcified lesions.

Results For mild to moderate calcified plaque and severe calcified plaque, DSCT overestimated coronary stenosis by 6.8% ($P=0.0028$) and 18.8% ($P<0.0001$) separately, and the overestimation of stenosis was more obvious in severe calcified lesions ($P=0.002$). For calcified lesions with artery external diameter <3 mm and artery external diameter ≥ 3 mm, DSCT overestimated coronary stenosis by 7.2% ($P=0.0026$) and 17.1% ($P<0.0001$) separately, and the overestimation of stenosis was more obvious in calcified lesions with artery external diameter ≥ 3 mm ($P=0.001$). There was no difference in the diagnostic accuracy of DSCT for calcified plaques with different lengths ($P=0.792$). **Conclusion** The lesion calcification makes DSCT angiography overestimate coronary stenosis. This phenomenon is more likely to occur in the severe calcified lesions and calcified lesions with artery external diameter ≥ 3 mm.

双源 CT (dual source computed tomography, DSCT) 较之前的 64 层螺旋 CT, 在空间和时间分辨

率上有了进一步的提升。目前认为 DSCT 冠状动脉造影阴性预测值高, 但特异度和准确性仍相对有

[收稿日期] 2016-07-29

[修回日期] 2017-01-19

[基金项目] 武汉市卫生局临床医学科研项目 (WX12B03)

[作者简介] 周逸, 硕士, 副主任医师, 研究方向为冠心病基础与临床, E-mail 为 coronary@aliyun.com。通讯作者陈曼华, 硕士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向为心血管疾病发病机制及介入治疗, E-mail 为 chenmh@aliyun.com。

限。除运动伪影外,冠状动脉斑块的钙化伪影是导致 DSCT 冠状动脉造影准确性下降的主要原因^[1]。本文通过 DSCT 冠状动脉造影和选择性冠状动脉造影(selective coronary angiography, SCA)对比分析,探讨斑块钙化如何影响 DSCT 管腔狭窄评估的准确性。

1 对象和方法

1.1 研究对象

回顾性分析 2013 年 8 月至 2016 年 5 月间,本院疑诊冠心病,行 DSCT 检查诊断为冠心病,且之后进行了 SCA 的病例。共 224 例,其中男性 156 例,女性 68 例,年龄 41~83 岁,平均年龄 64.43 ± 9.88 岁。2 项检查间隔不超过 2 周,期间无新发心血管事件。排除标准:冠状动脉支架术后;冠状动脉搭桥术后;急性心肌梗死;DSCT 影像有明显运动伪影。

1.2 DSCT 扫描与重建

采用西门子 DSCT(Siemens Somatom Definition)进行冠状动脉造影。检查前监测心率,心率控制在 90 次/分以下。扫描范围根据平扫图像进行调整,包括所有冠状动脉分支。管电压 120 kV,管电流 400~500 mA,图像重建视野 20.0~25.0 cm,准直器宽度 64.0 mm×0.6 mm,机架旋转时间 0.28 s,螺距为 0.2~0.4(根据心率自动调节)。通过 20G 套管针从上肢浅静脉注射造影剂。采用造影剂跟踪技术触发,兴趣区设定在主动脉根部,当兴趣区阈值升至 130 HU 后延迟 5 s 开始触发扫描。造影剂选用碘普罗胺,剂量 70 mL,流速 4 mL/s,注射完毕后同速率注入 30 mL 生理盐水。

采用回顾性心电门控技术,自动进行最佳舒张期和收缩期重建,重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm,重建卷积核 B26f。扫描完成后由 Siemens Syngo Multi Modality Workplace 工作站进行图像后处理。扫描后图像经多平面重建(multi-planar reformation, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、曲面重建(curved planar reformation, CPR)、容积再现(volume rendering, VR)和心血管优化分析软件等处理后,筛选最佳 CT 图像用于血管评价。

1.3 DSCT 图像分析

本院已于 2006 年开展 64 层螺旋 CT 冠状动脉造影检查,故由 2 位具有 5 年以上 CT 冠状动脉造影经验的放射科医师共同阅片定量分析管腔狭窄。管腔狭窄率(%)=(狭窄段近心端正常血管直径-

最狭窄处直径)/狭窄段近心端正常血管直径×100%。钙化斑块依据钙化灶的轴位覆盖范围分为轻中度钙化(钙化灶覆盖角度<180°)和重度钙化(钙化灶覆盖角度≥180°)^[2]。

1.4 SCA 图像分析

SCA 选用 Philips 数字血管造影机(Allura Xper FD-20),常规左冠状动脉造影 4~6 个体位,右冠状动脉造影 2~3 个体位投照,以冠状动脉造影导管直径为基准,对冠状动脉管腔狭窄程度进行定量分析。管腔狭窄率计算方法如前述。

1.5 评价方法

管腔狭窄≥50%定性为明显狭窄,本研究仅将 DSCT 判断为明显狭窄的病变纳入分析。冠状动脉管腔狭窄分级:无狭窄、轻度狭窄(管腔狭窄<50%)、中度狭窄(管腔狭窄≥50%,但<75%)和重度狭窄(管腔狭窄≥75%)。低估管腔狭窄:DSCT 判断为中度狭窄,但 SCA 判断为重度狭窄。高估管腔狭窄:DSCT 判断为中度狭窄,但 SCA 判断为轻度狭窄或无狭窄;或 DSCT 判断为重度狭窄,但 SCA 判断为中度狭窄、轻度狭窄或无狭窄。

1.6 统计学方法

采用 SPSS 13.0 及 MedCalc 16.0 软件进行统计学处理。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。Bland-Altman 分析评价 DSCT 与 SCA 结果的一致性。计数资料组间比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般临床资料

纳入分析的病例共 224 例,单支病变 148 例,多支病变 76 例。患者平均体质指数为 $25.09 \pm 3.57 \text{ kg/m}^2$,吸烟占 60.71%,合并高血压占 76.79%,合并糖尿病占 36.61%。224 例患者纳入分析的病变共 375 处(DSCT 均判断为明显狭窄),其中非钙化病变 141 处,轻中度钙化 112 处,重度钙化 122 处。

2.2 不同性质斑块 DSCT 判断管腔狭窄的准确性

Bland-Altman 一致性分析见图 1。1 例重度钙化斑块致 DSCT 高估管腔狭窄见图 2。对非钙化斑块(-1.4%, $P = 0.4396$),DSCT 未明显低估或高估管腔狭窄。对轻中度钙化斑块(6.8%, $P = 0.0028$)和重度钙化斑块(18.8%, $P < 0.0001$),DSCT 均明显高估管腔狭窄。与轻中度钙化斑块定性分析比较,重度钙化斑块 DSCT 高估管腔狭窄更明显($P = 0.002$)。钙化斑块中 DSCT 判断狭窄不正确占

42.31% (99 处), 其中高估狭窄占到 86.87% (86 处), 说明诊断不正确主要指高估狭窄 (图 3)。

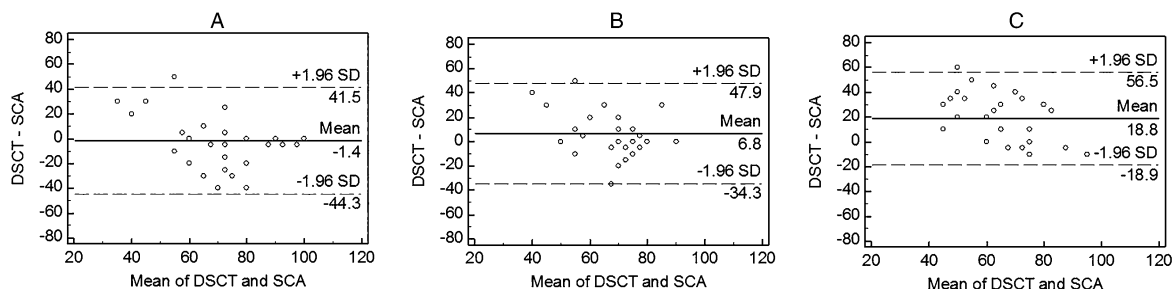


图 1. Bland-Altman 一致性分析 A 为非钙化斑块; B 为轻度/中度钙化斑块; C 为重度钙化斑块。

Figure 1. Consistency analysis of Bland-Altman plots

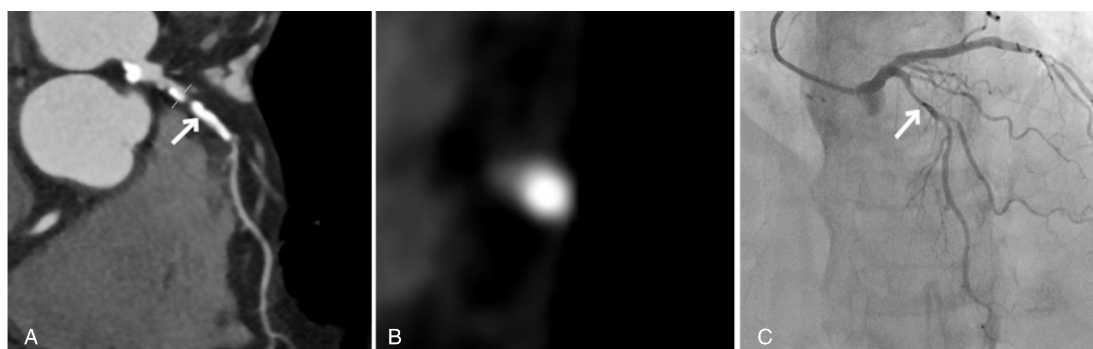


图 2. 前降支近中段重度钙化斑块 A 为 DSCT 的 CPR 图, 箭头指示狭窄最显著部位, DSCT 判断管腔狭窄为 95%; B 为狭窄最显著部位的截面图, 钙化覆盖达 360°, 为重度狭窄; C 为 SCA 影像, 箭头指示前降支近中段病变, SCA 判断管腔狭窄为 55%。

Figure 2. Severe calcified plaque in proximal-middle part of left anterior-descending coronary artery

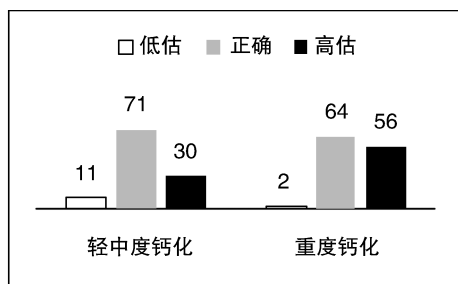


图 3. 不同钙化程度钙化斑块 DSCT 诊断准确性的比较 图中数字为钙化斑块病灶数。

Figure 3. Comparison of diagnostic accuracy of DSCT for calcified plaque with different calcification degree

2.3 钙化斑块血管直径与 DSCT 诊断准确性的关系

钙化斑块血管直径 (外径) 以 3.0 mm 为界, 划分为血管直径较大组 (直径 ≥ 3 mm) 和血管直径较小组 (直径 < 3 mm)。对血管直径较小的钙化斑块 (7.2%, $P = 0.0026$) 和血管直径较大的钙化斑块 (17.1%, $P < 0.0001$), DSCT 均明显高估管腔狭窄。将两组进行定性分析比较, DSCT 高估管腔狭窄在

血管直径较大组更明显 ($P = 0.001$; 图 4)。

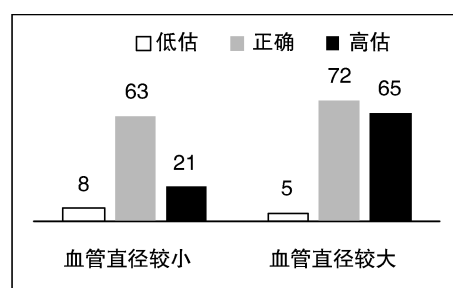


图 4. 不同血管直径钙化斑块 DSCT 诊断准确性的比较 图中数字为钙化斑块病灶数。

Figure 4. Comparison of diagnostic accuracy of DSCT for calcified plaque with different vascular diameter

2.4 钙化斑块长度与 DSCT 诊断准确性的关系

钙化斑块长度以 20 mm 为界, 划分为长病变组 (病变长度 ≥ 20 mm) 和短病变组 (病变长度 < 20 mm)。定性分析比较显示, DSCT 诊断准确性在两组中相似 ($P = 0.792$; 图 5)。

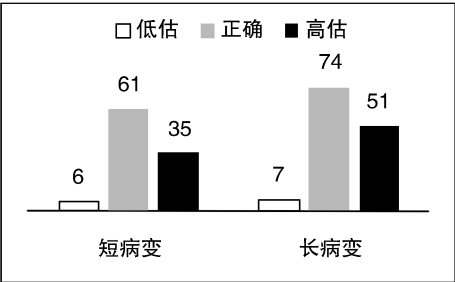


图 5. 不同长度钙化斑块 DSCT 诊断准确性的比较 图中数字为钙化斑块病灶数。

Figure 5. Comparison of diagnostic accuracy of DSCT for calcified plaque with different length

2.5 钙化斑块血管部位与 DSCT 诊断准确性的关系

钙化斑块分布于前降支、右冠状动脉、回旋支分别有 126、61、42 处。左主干病变仅 5 处,未纳入比较。定性分析比较显示,DSCT 诊断准确性在 3 支血管中相似($P=0.892$;图 6)。

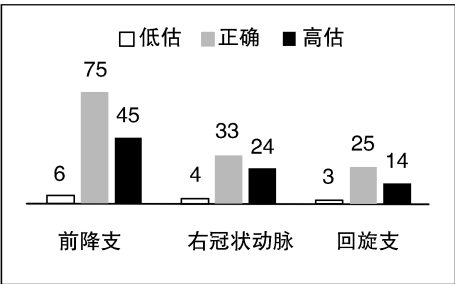


图 6. 不同血管钙化斑块 DSCT 诊断准确性的比较 图中数字为钙化斑块病灶数。

Figure 6. Comparison of diagnostic accuracy of DSCT for calcified plaque in different coronary arteries

3 讨论

多层螺旋 CT (multislice spiral computed tomography, MSCT) 作为一种无创性检查手段,以其较高的空间分辨率和时间分辨率,已成为检查冠心病的常用方法。DSCT 是较新型的 MSCT,它在旋转的机架内设置 2 套 X 线球管和 2 套采集系统,这 2 套采集系统安装在 2 个旋转轴上,呈 90 度排列,使单扇区重建的时间分辨率大幅提高。根据 Salavati 等^[3]的 Meta 分析(样本数为 2303 人),基于病人的分析显示双源 CT 冠状动脉造影的敏感度是 99%,特异度是 89%;基于节段的分析显示敏感度是 94%,特异度是 97%。尽管 DSCT 冠状动脉造影的准确性较

之前的 64 层螺旋 CT 有了进步,但 SCA 仍为公认的冠心病诊断的“金标准”。

冠状动脉钙化斑块产生的钙化伪影,与周围血管结构产生模糊效应,使钙化管壁与含造影剂的管腔之间缺乏明显的对比,观察者很难分清管腔和钙化,会明显影响冠状动脉狭窄判断的准确性。Vavere 等^[2]用 SCA 评价 64 层螺旋 CT 冠状动脉造影的受试者工作特征曲线下面积 (area under curve, AUC),非钙化斑块组、轻度钙化斑块组、中度钙化斑块组和重度斑块组的 AUC 分别为 0.86、0.85、0.82 和 0.81 ($P<0.05$)。Liang 等^[4]将钙化程度按钙化灶在截面上所占象限多少,分为 I 型(占 1 个象限)、II 型(占 2 个象限)、III 型(占 3 个象限)和 IV 型(占 4 个象限),结果 I 型、II 型、III 型和 IV 型的诊断正确率分别为 99.6%、97.3%、84.9% 和 76.8%。这些研究均表明钙化越严重,诊断准确性下降越明显,但这些研究并未将管腔狭窄诊断的错误分为高估和低估。

多数研究显示 DSCT 冠状动脉造影的阴性预测值很高^[5],即对无狭窄和轻度狭窄的诊断正确率高,因此本研究未将无狭窄和轻度狭窄纳入分析。本研究中纳入分析的斑块是 DSCT 诊断为明显狭窄的病变(管腔狭窄 $\geq 50\%$),以 SCA 为“金标准”分析 DSCT 诊断的准确性。本研究的非钙化斑块中,DSCT 低估管腔狭窄程度 1.4%,但未达到统计学差异。钙化斑块中,无论是轻中度钙化还是重度钙化,DSCT 均明显高估管腔狭窄。与轻中度钙化斑块比较,DSCT 高估管腔狭窄在重度钙化斑块更明显 ($P=0.002$)。说明钙化程度越重,容积效应的影响越重,DSCT 越容易高估冠状动脉狭窄。Kruk 等^[6]报道斑块钙化使 MSCT 高估管腔狭窄 5% 左右;本研究中斑块钙化使 DSCT 高估管腔狭窄平均达 13.1%,这是因为本研究未将大量的轻度狭窄纳入分析。

Muzzarelli 等^[1]分析 DSCT 诊断冠状动脉狭窄准确性的影响因素,显示管腔直径较小使 DSCT 准确性下降。目前认为,冠状动脉支架术后如果选择 MSCT 复查,直径较大(直径 ≥ 3 mm)的支架比直径较小(直径 <3 mm)的支架更适合^[7-8];这让我们推测 DSCT 在较小直径冠状动脉组中误判(高估为主)管腔狭窄会较多。本研究显示,无论钙化斑块的血管直径大小,DSCT 均高估管腔狭窄,但与血管直径较小组比较,DSCT 高估管腔狭窄在血管直径较大组更明显 ($P=0.001$);这可能和血管壁正性重构有关。冠状动脉斑块使管腔狭窄,但正性重构使管壁

外弹力膜层扩张,增加血管外径,代偿部分斑块产生的管腔狭窄趋势,尽量维持管腔的通畅^[9]。当钙化斑块厚度相似时(钙化伪影相似),较粗的冠状动脉通过正性重构有可能获得相对大的残余管腔,而较细的冠状动脉即使发生正性重构也难以获得相对大的残余管腔。因此,本研究的钙化斑块中,DSCT 高估管腔狭窄在血管直径较大组中更明显。

本研究将钙化斑块按长度分为 2 个组进行比较,DSCT 诊断准确性在 2 个组中相似($P=0.792$)。说明 DSCT 诊断准确性主要与钙化程度即钙化在横截面上的占比有关,与钙化斑块在血管长轴上的长度无关。

DSCT 虽然在时间分辨率方面有优势,但仍需注意冠状动脉斑块的钙化伪影可使 DSCT 高估管腔狭窄,且这种高估现象在重度钙化时和血管直径较大时更容易发生。我们期望通过一些新技术的应用,如钙化灶减影技术^[10],能减弱钙化伪影的影响,使 DSCT 冠状动脉造影的准确性进一步提高。

[参考文献]

- [1] Muzzarelli S, Suerder D, Murzilli R, et al. Predictors of disagreement between prospectively ECG-triggered dual-source coronary computed tomography angiography and conventional coronary angiography[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(6): 1 138-146.
- [2] Vavere AL, Arbab-Zadeh A, Rochitte CE, et al. Coronary artery stenoses: accuracy of 64-detector row CT angiography in segments with mild, moderate, or severe calcification--a subanalysis of the CORE-64 trial[J]. *Radiology*, 2011, 261(1): 100-108.
- [3] Salavati A, Radmanesh F, Heidari K, et al. Dual-source computed tomography angiography for diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2012, 6(2): 78-90.
- [4] Liang Q, Li-Jun T, Yi X, et al. The diagnostic performance of coronary CT angiography for the assessment of coronary stenosis in calcified plaque[J]. *PLoS One*, 2016, 11(5): e0154 852.
- [5] Sato A, Aonuma K. Role of cardiac multidetector computed tomography beyond coronary angiography[J]. *Circ J*, 2015, 79(4): 712-720.
- [6] Kruk M, Noll D, Achenbach S, et al. Impact of coronary artery calcium characteristics on accuracy of CT angiography[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(1): 49-58.
- [7] Chung SH, Kim YJ, Hur J, et al. Evaluation of coronary artery in-stent restenosis by 64-section computed tomography: factors affecting assessment and accurate diagnosis[J]. *J Thorac Imaging*, 2010, 25(1): 57-63.
- [8] 余波,周逸,陈曼华,等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉支架成像效果的影响因素[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2010, 18(11): 893-896.
- [9] Sangiorgi G, Rumberger JA, Severson A, et al. Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans a histologic study of 723 coronary artery segments using nondecalcifying methodology[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1998, 31(1): 126-133.
- [10] Amanuma M, Kondo T, Sano T, et al. Subtraction coronary computed tomography in patients with severe calcification[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(8): 1 635-642.

(此文编辑 曾学清)