

· 临床论著 ·

冠状动脉钙化对 320 排容积 CT 冠状动脉血管成像的影响

孙奥松 孙钢 李敏 彭兆辉

【摘要】 目的 探讨 320 排容积 CT(DVCT) 冠状动脉钙化(CAC)对冠状动脉图像质量及诊断准确性的影响。**方法** 回顾性分析济南军区总医院 2011 年 12 月至 2012 年 3 月行 DVCT 扫描及常规冠状动脉造影检查(ICA)的患者 60 例,计算每例患者总的钙化积分(CS)及四大分支的 CS,以图像质量 4 级(优)至 1 级(差)对每支血管图像质量进行评价,分析患者每支血管的 CS 与图像质量的相关性。对患者及每支冠状动脉血管的明显狭窄(狭窄 $\geq 50\%$)进行判断,以 ICA 为金标准,作出该 60 例患者冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 的 ROC 曲线,获得患者总 CS 的最佳截断点。以最佳截断点为界,将 60 例患者分为高 CS 组和低 CS 组,以每支冠状动脉为研究对象,不可评价的血管作为假阳性处理,对高、低 CS 组的诊断准确性进行比较,同时比较两组 DVCT 冠状动脉成像结果与 ICA 结果的差异性,分析 CS 对冠心病诊断准确性的影响。**结果** 冠状动脉钙化积分(CACS)与图像质量呈负相关,CS 越高,图像质量越差。该 60 例患者的冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 的 ROC 曲线的 CS 最佳截断点为 381.5 分(灵敏度为 81.5%,特异度为 78.8%)。高 CS 组的诊断准确性低于低 CS 组($P=0.009$),而两组 DVCT 结果与 ICA 结果的差异均无统计学意义($P=0.134, 0.607$)。**结论** CAC 仍是 320 排容积 CT 图像质量及诊断准确性下降的重要原因。

【关键词】 冠状动脉疾病; 体层摄影术,螺旋计算机; 冠状血管造影术; 钙化积分

Influence of coronary artery calcification on 320-detector volume CT coronary angiography SUN Ao-song, SUN Gang, LI Min, PENG Zhao-hui. Department of Radiology, Jinan Clinical Medical College of The Second Military Medical University, Jinan 250031, China

Corresponding author: SUN Gang, Email: cjr. sungang@vip. 163. com

【Abstract】 Objective To investigate the impact of coronary artery calcification (CAC) on image quality and diagnostic accuracy of 320-detector volume CT (DVCT). **Methods** 60 patients who underwent DVCT coronary angiography and invasive coronary angiography (ICA) from December 2011 to March 2012 were included. The total calcium score (CS) of each patient and the CS of the four branches were calculated. The image quality of each vessel was scored from 4 (excellent) to 1 (bad). The correlation between the CS and image quality was analyzed. With ICA as the standard reference, significant stenosis (stenosis $\geq 50\%$) of CT angiography was judged. The optimal cut-off point of the total CS to predict coronary stenosis $\geq 50\%$ was investigated by depicting the ROC curve. According to the cut-off point, 60 patients were divided into the high-CS group and the low-CS group. We compared the diagnostic accuracy of high and low CS group, with ICA as standard reference. On artery-level, not-evaluative vasculars were considered false positive. The impact of CS on diagnostic accuracy of coronary heart disease was analyzed. **Results** CACS and the image quality were inversely correlated. The optimal cut-off point of the 60 patients was set at 381.5 (sensitivity 81.5% and specificity 78.8%). Though the differences of the two groups between DVCT and ICA was both not significant ($P=0.134, P=0.607$), the diagnostic accuracy of high-CS group was lower than the low-CS ($P=0.009$). **Conclusions** CAC is still an important reason for the decline of image quality and accuracy of 320-detector volume CT.

【Key words】 Coronary artery disease; Tomography, spiral computed; Coronary angiography; Calcium score

冠状动脉粥样硬化性心脏病是危害人类健康的重大疾病,在许多国家已成为头号死因^[1],多排螺旋CT(MDCT)作为一种非侵入性检查方式,由于其良好的图像质量及很高的诊断准确性,正逐渐成为冠心病的主要检查方法^[2]。尽管技术的发展使MDCT的空间分辨率和时间分辨率都有很大的提高^[3,4],但是与常规冠状动脉造影(ICA)相比,在冠心病的诊断过程中,心律不齐、心率加快等带来的运动伪影及冠状动脉钙化(coronary artery calcification, CAC)带来的硬化伪影仍是16排及64排螺旋CT无法克服的难题^[5]。320排容积CT(320-detector volume CT, DVCT)的问世,由于探测器排数的增多,真正做到了容积扫描能在1个心动周期内完成冠状动脉成像,减少了心律不齐带来的运动伪影^[6],但对CAC带来的影响还不是很确定。本研究将系统分析患者四大分支的钙化积分(calcium score, CS)对320排容积CT冠状动脉成像(DVCT angiography, DVCTA)图像质量的影响;同时以ICA为金标准,探讨诊断冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 的CS阈值以及CS对DVCT诊断准确性的影响。

资料与方法

1. 一般资料:收集2011年12月至2012年3月到我院就诊的60例患者,男42例,女18例,年龄34~82岁,平均(58.6 \pm 8.74)岁,平均心率(68.7 \pm 9.20)次/min。60例患者均有冠心病症状,其中44例有高血压史,22例有血脂异常,18例有糖尿病史,34例有吸烟史,44例心电图有ST-T段改变。60例患者均无冠状动脉旁路移植、支架置入手术史,无严重肾功能不全、碘过敏史。

2. 扫描技术和参数:应用Toshiba Aquilion one 320排容积CT扫描。扫描前喷雾硝酸甘油扩张冠状动脉。心率 > 80 次/min的患者口服美托洛尔25~50 mg,降至70次/min以下扫描。扫描参数为管电压120 kV、管电流200~400 mA,采用前瞻性心电门控,层厚5 mm,0.5 s轴位扫描,Z轴范围120~150 mm。一次屏气下完成扫描,扫描完传至图像工作站进行测量分析。应用双筒高压注射器注射对比剂(优维显)55~60 ml,经右肘前静脉以5.5 ml/s流率注射,继以相同流率注射生理盐水40 ml。扫描范围覆盖气管隆嵴下至膈肌下约1 cm。智能触发扫描采用Sure Start软件,触发点为中央层面的胸主动脉,以180 HU为触发阈值。扫描参数:管电压120 kV,管电流500 mA,容积数据采集范围320 \times 0.5 mm,机架转速350 ms/周。扫描时间0.35~1.40 s。患者均采用前瞻性心电门控,心率 > 70 次/min的采集时相为R-R间期40%~85%;心率 < 70 次/

min的采集时相为R-R间期65%~80%。

3. 图像后处理及积分测定:扫描数据传至Vitrea图像处理工作站,应用后处理软件对图像进行CS测定、多平面重组(MPR)、曲面重建(CPR)、容积再现(VR)。根据心电编辑,沿着血管走向分布的钙化,采用Agaston及其修正方法。通过计算每支冠状动脉密度 ≥ 130 HU区域的积分来得到总的CS。图像中标出所有血管的名称。在本研究中主要为四大血管:左主干(LM)、左前降支(LAD)、左回旋支(LCX)和右冠状动脉(RCA),对角支的钙化归入LAD,钝缘支的钙化归入LCX,锐缘支的钙化归入RCA进行计算。分别得出LM、LAD、LCX和RCA的CS值及总的CS值。

4. 图像质量及血管狭窄评价:采用4分制评分法对四大分支冠状动脉血管图像质量进行评价,分为4~1分,对应4~1级图像,分别为优、良、中、差。图像质量评分为2~4分的血管满足诊断要求,为可评价血管,评分为1分者,为不可评价血管。每支血管的图像质量评价都由两名有经验的影像科医师独立完成,得出每支血管的一致评分。分析患者每支血管的CS与冠状动脉图像质量的相关性。根据各支冠状动脉的DVCTA图像表现,采用二分类,狭窄度 $< 50\%$ 为无明显狭窄,狭窄度 $\geq 50\%$ 为明显狭窄,记录无明显狭窄及明显狭窄的血管。以ICA为金标准,作出该60例患者冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 的ROC曲线,获得总CS的最佳截断点。以最佳截断点为界,将60例患者分为高CS组和低CS组,以每支冠状动脉为研究对象,不可评价的血管作为假阳性处理,计算高CS组和低CS组的敏感度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV),比较两组的诊断准确性差异及两组DVCTA结果与ICA结果的差异性。

5. 冠状动脉造影:采用Seldinger方法,分别行左、右冠状动脉造影,由一名有经验的心内科专业医师在不知道DVCTA结果的情况下评价造影结果,以血管狭窄 $\geq 50\%$ 为标准,记录未明显狭窄及明显狭窄的血管。

6. 统计学分析:统计学采用软件包SPSS 17.0处理所得数据,计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表达,计数资料采用频数、百分比进行统计描述,临床数据用 t 检验来判断差异性。采用双变量非正态分布Spearman秩相关分析患者每支血管的CS与冠状动脉图像质量的相关性。根据患者总CS,作出ROC曲线。利用配对设计两样本率的 χ^2 检验及Pearson χ^2 检验分析CS对诊断准确性的影响。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

60例患者均能很好地屏气配合扫描,扫描前心率

均降至 70 次/min 以下,结合心电图编辑,排除心率及心律对冠状动脉图像质量的影响。共有 240 支冠状动脉血管参与评价,4 分 149 支,3 分 50 支,2 分 31 支,1 分 10 支,可评价血管达到 95.83%;不可评价血管为 4.17%,分别为 3 支 LAD,4 支 LCX,3 支 RCA。患者 LM、LAD、LCX、RCA 的 CS 与相应图像质量的相关性显著,均呈负相关(秩相关系数 $r_s = -0.6、-0.7、-0.7、-0.6, P < 0.05$)。由图中均值 95% 的可信区间可以看出,CS 越高,图像质量越差。LM、LAD、LCX、RCA 的 CS 与相应图像质量的相关性见图 1。

患者总的 CS 为 0~2530 分,平均(606.8 ± 780.4)分,根据 ICA 的诊断结果,将 60 例患者分类,设定:0 = 冠状动脉狭窄 < 50%,1 = 冠状动脉狭窄 ≥ 50%,获得 ROC 曲线,如图 2。选择 Youden 指数最大时为最佳切点,冠状动脉狭窄 ≥ 50% 的 CS 最佳截断点为 381.5 (敏感性 81.5%,特异性 78.8%),曲线下的面积为 0.845 (95% 的可信区间为 74.6%~94.3%)。

以 381.5 分为界,将 60 例患者分为低 CS 组和高 CS 组,低 CS 组共 36 例,平均 CS 为(87.33 ± 98.15)分,高 CS 组共 24 例,平均积分(1386.0 ± 697.6)分。两组患者在平均年龄、性别比例、体重指数(BMI)、心率及心律差异经 *t* 检验均无统计学意义($P > 0.05$)。不可评价的血管作为假阳性处理,高 CS 组诊断正确及错误的血管支数分别为 74 支及 22 支,低 CS 组诊断正确及错误的血管支数分别为 129 支及 15 支,两组 DVCTA 图像结果比较见表 1,提示低 CS 组与高 CS 组的诊断准确性差异有统计学意义($P < 0.05$),低 CS 组的诊断准确性要高于高 CS 组。CAC 影响诊断准确性见图 3。

表 1 低 CS 组与高 CS 组的诊断准确性比较(支)

组别	正确	错误	合计
高 CS 组	74	22	96
低 CS 组	129	15	144
合计	203	37	240

注: $\chi^2 = 6.9, P = 0.009$

对两组患者 CS 采用配对设计两样本率的 χ^2 检验,均 $P > 0.05$,提示两组 DVCT 图像结果与 ICA 结果的差异性均无统计学意义($P = 0.13, P = 0.61$),但低

CS 组的敏感性、特异性、PPV 及 NPV 均比高 CS 组高。两组 DVCTA 结果与 ICA 结果比较见表 2。

讨 论

MDCT 作为一种非侵入性检查方式,由于其高敏感性和 NPV 正逐渐成为冠心病的最佳检查方法^[7]。但 16 层、32 层、64 层等 MDCT 由于时间分辨率、空间分辨率及探测器覆盖范围的限制,无法解决心率加快、心律不齐及钙化导致的伪影问题。320 排容积 CT 旋转 1 圈仅用 0.35 s,Z 轴覆盖范围为 16 cm,实现了真正意义上的容积扫描,最大限度地降低了心律不齐导致的伪影^[8]。但是 DVCT 空间分辨率并无明显提高,理论上 CAC 造成的硬化伪影仍将降低 DVCT 的图像质量及诊断准确性。在本研究中,CAC 引起的模糊伪影及硬化伪影明显降低 DVCTA 的图像质量,患者 LM、LAD、LCX、RCA 的 CS 与相应图像质量的相关性显著,均呈负相关。由图中均值 95% 的可信区间可以看出,CS 越高,图像质量越差。李敏等^[9]研究认为,高心率是造成图像模糊伪影的主要因素。本研究是在服用美托洛尔等减慢心率的药物,排除心率对图像质量的影响之后,认为钙化也是引起图像伪影的因素之一,原因在于钙化的模糊伪影及硬化伪影^[10-11]使观察者很难分清管腔和钙化,加上冠状动脉搏动明显时,钙化斑块会加重图像伪影。此时,最佳的重组期相选择尤为重要。随着技术的发展,减少钙化斑块产生的伪影逐渐依靠提高空间分辨率和改善重建算法^[12]。

有研究证实,16 层、64 层 CT 对重度冠状动脉钙化的诊断准确性要比无钙化或轻度钙化差^[13-14]。本研究利用 DVCT 描绘钙化积分的 ROC 曲线,获得冠状动脉狭窄 ≥ 50% 的 CS 最佳截断点为 381.5 分,这与文献报道的 400 分较接近。以 381.5 分为界,将患者分为高 CS 组和低 CS 组。虽然高 CS 组和低 CS 组的 DVCTA 与 ICA 结果差异无统计学意义,但是两组的诊断准确性差异有统计学意义($P = 0.009$),高 CS 组的诊断准确性要低于低 CS 组。有研究证实,MDCT 常过高估计 CAC 对血管的阻塞^[10,15],本研究中,高 CS 组有 15 支血管为假阳性,造成特异性明显降低为 53.1%,而低 CS 组中,只有 9 支血管为假阳性,特异性为 89.3%。在 DVCTA 的诊断中,仍过高估计了钙化对冠心病的影响,

表 2 低 CS 组与高 CS 组 DVCTA 结果与 ICA 结果比较

组别	真阳性 (支)	真阴性 (支)	假阳性 (支)	假阴性 (支)	敏感性(%) [OR,(95% CI)]	特异性(%) [OR,(95% CI)]	PPV(%) [OR,(95% CI)]	NPV(%) [OR,(95% CI)]
高 CS 组	57	17	15	7	89.1(78.2~95.1)	53.1(35.0~70.5)	79.2(67.7~87.5)	70.8(48.8~86.6)
低 CS 组	54	75	9	6	90.0(78.8~95.9)	89.3(80.2~94.7)	85.7(74.1~92.9)	92.6(84.0~96.9)

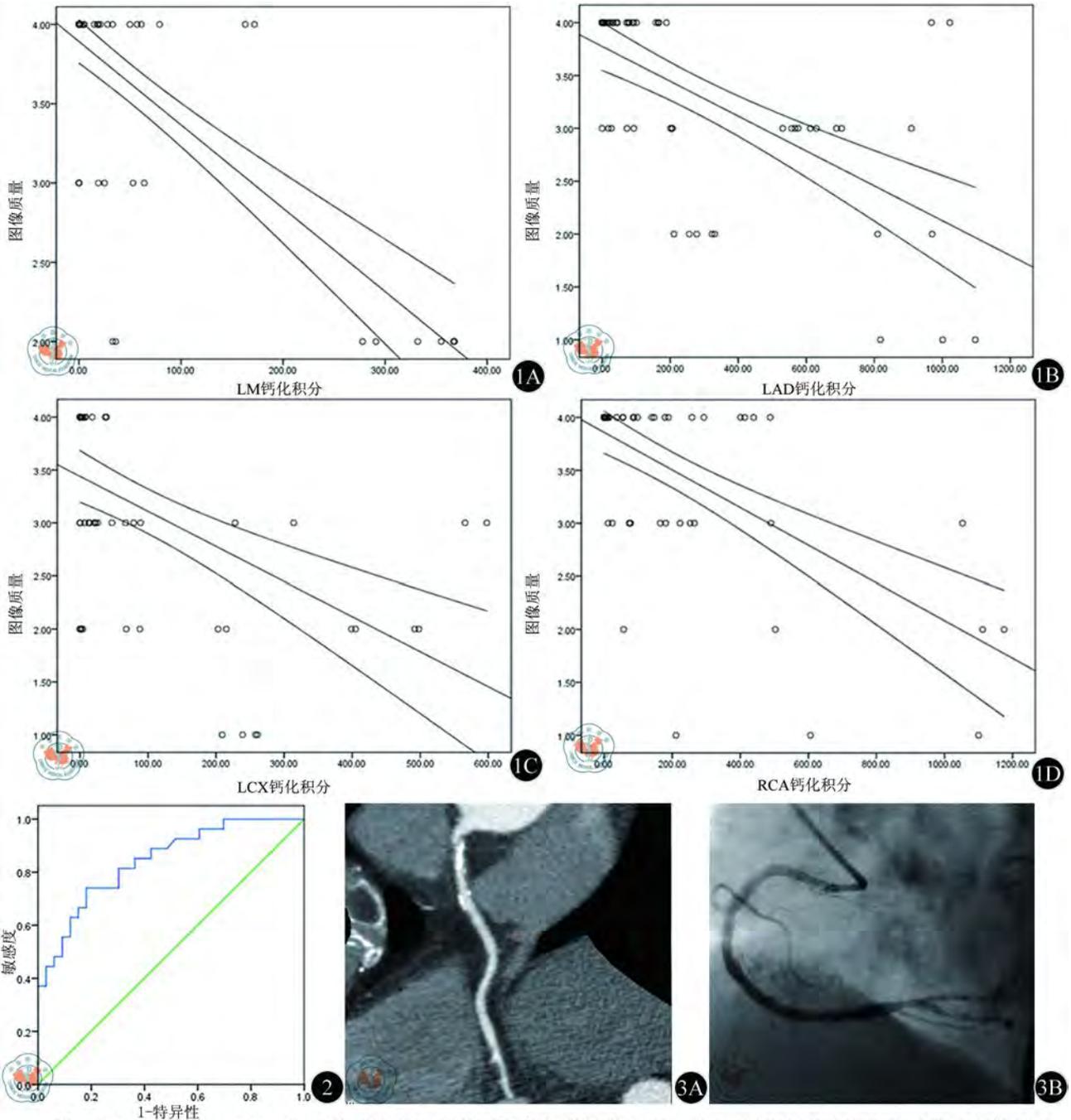


图1 LM、LAD、LCX、RCA的CS与相应图像质量的相关性散点图 图2 钙化积分诊断冠状动脉狭窄的ROC曲线 图3 患者女, 66岁, 钙化积分1488分。DVCTA (3A) 示右冠状动脉近段管壁见钙化性斑块, 管腔狭窄约50%; ICA (3B) 示右冠状动脉近段未见明显狭窄

分析其原因主要有两方面:一方面 CAC 在 CT 扫描中的部分容积效应不可避免,由于部分容积效应,CT 重组图像上管腔与斑块的边界部分 CT 值偏高,误认为边界部分是钙化斑块,使测得的血管管径比实际管腔狭窄,钙化越广泛,CT 值越高,容积效应的影响越明显,越容易高估冠状动脉的狭窄程度^[16],本研究高钙化积分组中,15 支假阳性血管中有 12 支钙化广泛;另一方面可能是患者由于长期代偿性血管重建、管腔扩张,虽然有钙化出现、积分很高,DVCTA 却不提示管腔狭窄,

这种现象更多见于老年患者。本研究 24 支假阳性血管中有 15 支为 70 岁以上老年患者。有学者认为,这种钙化就如同冠状动脉支架一样,使病变趋于稳定,血管不会出现血流动力学意义上的狭窄^[17-18]。Zhang 等^[10]研究证实许多钙化的斑块在经历血管重建后并不会造成管腔狭窄。管壁的钙化和冠状动脉的重建可以在 DVCTA 的横断面图像上观察到,在 DVCTA 图像上比 ICA 图像上更多的受钙化斑块的干扰,ICA 图像上仅能看到管腔内的情况不能看到管壁的斑块和深部的钙化。虽然高 CS 组和低 CS 组的 DVCTA 与 ICA 结果

均无统计学差异,但由于高CS组PPV及NPV均<80%,其指导临床治疗的意义有限。因此,有学者^[19]认为当患者CS较高,进而影响CT造影评价冠状动脉血管狭窄程度时,建议此类患者不必再做CT造影而可以直接做ICA,这样患者可以有效减少费用支出,同时避免CTA带来辐射剂量和造影剂带来的伤害^[20]。

本研究不足之处在于:(1)样本量较小,希望以后能扩大样本量来验证本研究的结论;(2)本研究对冠状动脉狭窄只采用以50%为界二分类,没有进一步分类,在以后的研究中将对冠状动脉狭窄的程度做更详细的分类;(3)由于本研究纳入病例均为临床判断需接受ICA的患者,研究对象多为高危人群,结论可能会产生偏倚。

参 考 文 献

- [1] 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. *Radiology*, 2011, 261:100-108.
- [2] Raff GL. Radiation dose from coronary CT angiography: five years of progress. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2010, 4:365-374.
- [3] Pugliese F, Mollet NR, Hunink MG, et al. Diagnostic performance of coronary CT angiography by using different generations of multisection scanners: single-center experience. *Radiology*, 2008, 246:384-393.
- [4] Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Non-invasive coronary computed tomographic angiography for patients with suspected coronary artery disease: the Coronary Angiography by Computed Tomography with the Use of a Submillimeter Resolution (CACTUS) trial. *Eur Heart J*, 2007, 28:3034-3041.
- [5] Wintersperger BJ, Nikolaou K, von Ziegler F, et al. Image quality, motion artifacts, and reconstruction timing of 64-slice coronary computed tomography angiography with 0.33-second rotation speed. *Invest Radiol*, 2006, 41:436-442.
- [6] Weustink A, Neeffjes L, Kyrzopoulos S, et al. Impact of Heart Rate Frequency and Variability on Radiation Exposure, Image Quality, and Diagnostic Performance in Dual-Source Spiral CT Coronary Angiography. *Radiology*, 2009, 253:672-680.
- [7] Dewey M, Vavere AL, Arbab-Zadeh A, et al. Patient characteristics as predictors of image quality and diagnostic accuracy of MDCT compared with conventional coronary angiography for detecting coronary artery stenoses: CORE-64 multicenter international trial. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 194:93-102.
- [8] 李敏, 孙钢, 彭兆辉, 等. 冠状动脉CT血管成像对无症状人群非钙化性斑块的初步研究[J/CD]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2011, 5:1007-1012.
- [9] 李敏, 孙钢, 李海军, 等. 心率及心律对320排容积CT冠状动脉血管成像及相关辐射剂量的影响[J/CD]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2011, 5:5987-5992.
- [10] Zhang S, Levin DC, Halpern EJ, et al. Accuracy of MDCT in assessing the degree of stenosis caused by calcified coronary artery plaques. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 191:1676-1683.
- [11] Dewey M. Coronary CT versus MR angiography: pro CT--the role of CT angiography. *Radiology*, 2011, 258:329-339.
- [12] Kitagawa K, George RT, Arbab-Zadeh A, et al. Characterization and correction of beam-hardening artifacts during dynamic volume CT assessment of myocardial perfusion. *Radiology*, 2010, 256:111-118.
- [13] Ong TK, Chin SP, Liew CK, et al. Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: influence of calcification. *Am Heart J*, 2006, 151:1323. e1-6.
- [14] Gottlieb I, Miller JM, Arbab-Zadeh A, et al. The absence of coronary calcification does not exclude obstructive coronary artery disease or the need for revascularization in patients referred for conventional coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55:627-634.
- [15] Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46:552-557.
- [16] 赵红, 刘斌, 程自平, 等. 64-CTCA与CCA对钙化及非钙化性冠状动脉狭窄程度评估的一致性分析. *中国医学影像技术*, 2008, 24:231-234.
- [17] Becker CR, Ohnesorge BM, Schoepf UJ, et al. Current development of cardiac imaging with multidetector-row CT. *Eur J Radiol*, 2000, 36:97-103.
- [18] 黄美萍, 刘其顺, 刘辉, 等. 多层螺旋CT冠状动脉成像质量及对冠状动脉病变诊断准确性的评价. *中华放射学杂志*, 2006, 40:984-987.
- [19] Leschka S, Scheffel H, Desbiolles L, et al. Combining dual-source computed tomography coronary angiography and calcium scoring: added value for the assessment of coronary artery disease. *Heart*, 2008, 94:1154-1161.
- [20] Cademartiri F, Mollet NR, Lemos PA, et al. Impact of coronary calcium score on diagnostic accuracy for the detection of significant coronary stenosis with multislice computed tomography angiography. *Am J Cardiol*, 2005, 95:1225-1227.

(收稿日期:2012-06-09)

(本文编辑: 吴莹)

孙奥松, 孙钢, 李敏, 等. 冠状动脉钙化对320排容积CT冠状动脉血管成像的影响[J/CD]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2013, 7(2):529-533.