

• 心脏介入 Cardiac intervention •

320 排动态容积 CT 冠状动脉成像诊断 冠心病的初步应用

戴 煌, 秦永文, 萧 毅

【摘要】 目的 探讨 320 排动态容积 CT 冠状动脉成像(CTA)诊断冠心病的准确性。**方法** 2010 年 3 月至 2010 年 9 月对临床拟诊为冠心病的 82 例患者先后行冠状动脉 CTA 及冠状动脉造影(ICA)检查,并以 ICA 为金标准,评估 320 排 CTA 诊断冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$ 及 $\geq 70\%$ 的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值。**结果** CTA 成像质量 4 分 71 例 (86.6%), 平均心率为 67 次/min;3 分 10 例 (12.2%), 平均心率为 74 次/min;2 分 1 例 (1.2%), 心率为 83 次/min;1 分 0 例,全部病例均无阶梯伪影。CTA 发现 174 个狭窄 $\geq 50\%$ 的节段,ICA 发现 144 个。以 ICA 为金标准,320 排 CTA 诊断狭窄 $\geq 50\%$ 的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 93.1%、96.0%、77.0%和 99.0%。CTA 发现 40 个狭窄 $\geq 70\%$ 的节段,ICA 发现 40 个。以 ICA 为金标准,320 排 CTA 诊断狭窄 $\geq 70\%$ 的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 100%、95.6%、45.5%和 100%。**结论** 320 排 CTA 图像质量好,诊断冠心病准确可靠。

【关键词】 冠心病,冠状血管造影; 320 排动态容积 CT

中图分类号:R541.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2012)-07-0541-06

Preliminary application of 320-detector row dynamic volume CT angiography in diagnosing coronary heart diseases DAI Huang, QIN Yong-wen, XIAO Yi. Department of Cardiology, the Affiliated Changhai Hospital, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: QIN Yong-wen, E-mail: qyw2009@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the diagnostic accuracy of 320-detector row dynamic volume CT angiography (CTA) for coronary heart diseases. **Methods** During the period from March 2010 to Sep. 2010, a total 82 consecutive patients suspected of having coronary heart diseases were enrolled in this study. CTA with a 320-detector row CT unit and invasive coronary angiography (ICA) were performed in all patients to clarify the diagnosis. Taking ICA as gold standard, the sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) of $\geq 50\%$ and $\geq 70\%$ luminal stenosis obtained from 320-detector row dynamic volume CTA were evaluated. The results were analyzed. **Results** On CTA, excellent image quality (score of 4) was obtained in 71 cases (86.6%) with an average heart rate of 67 bpm. Good image quality (score of 3) was seen in 10 cases (12.2%) with an average heart rate of 74 bpm, while acceptable image quality (score of 2) was seen only in 1 case (1.2%) with an average heart rate of 83 bpm. No unacceptable image quality (score of 1) was found. No stair-step artifact was found in all cases. A total of 174 segments with $\geq 50\%$ luminal stenosis were demonstrated on CTA, while a total of 144 segments with $\geq 50\%$ luminal stenosis were shown on ICA. Using ICA as gold standard, the sensitivity, specificity, PPV and NPV of $\geq 50\%$ luminal stenosis on CTA were 93.1%, 96.0%, 77.0% and 99.0%, respectively. CTA discovered 40 segments having $\geq 70\%$ luminal stenosis, and ICA also revealed 40 segments with $\geq 70\%$ luminal stenosis. With ICA as gold standard, the sensitivity, specificity, PPV and NPV of $\geq 70\%$ luminal stenosis on CTA were 100%, 95.6%, 45.5% and 100%, respectively. **Conclusion** Dynamic volume CT

coronary angiography with a 320-detector row CT unit can provide high quality images as well as a precise and reliable diagnosis for coronary heart

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2012.07.003

作者单位:200433 上海 第二军医大学附属长海医院心内科

通信作者:秦永文 E-mail:qyw2009@163.com

diseases.(J Intervent Radiol, 2012, 21: 541-546)

【Key words】 coronary heart diseases; coronary angiography; 320-detector row dynamic volume CT scanning

冠心病严重危害着人类健康,其发病率逐年上升,早期诊断冠心病有着重要的临床意义。在目前的各种检查手段中,选择性冠状动脉造影(ICA)仍是诊断冠心病的金标准。随着 CT 技术的发展特别是 64 排 CT 的出现,冠状动脉 CT 血管成像(CTA)技术广泛应用于临床,在诊断冠状动脉病变方面与 ICA 具有相似的效能,已成为诊断冠心病首选的非侵入性检查手段^[1]。目前最先进的 320 排动态容积 CT 的特点是具有 160 mm 的宽探测器可完全覆盖心脏,在 1 个心动周期内即可完成对整个心脏的扫描,获得高质量的冠脉图像,更精确的显示冠状动脉及其病变情况。本文旨在以 ICA 为金标准,评估 320 排动态容积 CT 诊断冠心病的精确性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2010 年 3 月至 2010 年 9 月对我院拟诊冠心病的 82 例患者(男 58 例,女 24 例)先行 320 排冠状动脉 CTA 检查,并在随后的 2 周内完成 ICA 检查,2 周内患者病情无明显变化。排除严重的肝肾功能不全、对比剂过敏以及有冠状动脉搭桥术史的患者。

1.2 检查方法

采用东芝 320 排动态容积 CT (Aquilion ONE)对患者进行容积扫描。为获得高质量图像,对心率 > 65 次/min 的患者检查前 1 h 给予口服 25 ~ 50 mg 美托洛尔(倍他乐克)。在患者胸部指定位置粘贴电极,正确连接心电监护检测心率,在肘静脉埋置 20 G 静脉留置针,采用双筒高压注射器注入非离子对比剂(优维显)370 mgI/ml 60 ~ 80 ml,流速为 5.0 ml/s,注射完毕后再以同样流速注入生理盐水 40 ml,扫描模式为容积采集,管电压为 120 kV,管电流根据患者体形设为 350 ~ 580 mA,扫描视野为 FOV-M,转速为 0.35 s,探测器准直为 320 mm × 0.5 mm,增强扫描应用 SureStart 对比剂追踪技术,设定容积扫描中心层面的主动脉阈值为 300 Hu。所有患者均采用前瞻性心电门控方式,心率 < 70 次/min 的采集时相为 R-R 间期 70% ~ 80%;心率 ≥ 70 次/min 的采集时相为 R-R 间期 30% ~ 80%。扫描后将数据导入 Vitrea Fx 工作站进行后处理重建图像。

1.3 图像后处理方法

选择心动周期 75%时相的数据重组冠状动脉图像,层厚 0.5 mm,间距 0.5 mm。若某支或某段冠状动脉显示不佳,则选取该动脉横轴位增强扫描图像中某层面,间隔 20 ms 选择冠状动脉显示最清晰的层面重组图像。采用 Vitrea FX 软件进行后处理重组图像,行容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)、多平面重建(MPR)及曲面重建(CPR)。

1.4 图像评价方法

根据 Frank 等^[2]的冠状动脉 CTA 图像质量评价标准,将冠状动脉 CTA 图像质量分为 1 ~ 4 分。4 分:优秀,无伪影;3 分:良好,轻度伪影;2 分:中等,中度伪影,但仍可做出诊断;1 分:较差,重度伪影,无法作出诊断。根据美国心脏协会(American Heart Association, AHA)分类指南,将冠状动脉分为 15 段^[3],中间支记为第 16 段。应用软件血管自动分析功能,对直径 ≥ 1.5 mm 的冠状动脉节段测量管腔狭窄率,由 2 位经验丰富的放射科医师对诊断结果及图像质量进行评价,不一致时由 2 人商议后决定,不可评估节段被认为存在明显狭窄。

1.5 ICA 检查方法

左冠状动脉造影采用蜘蛛位、左肩位、右肩位及肝位等 4 个投照体位。右冠状动脉采用左前斜、右前斜及头位 3 个投照体位。使用软件自带的 QCA 工具对直径 ≥ 1.5 mm 的冠状动脉节段测量管腔狭窄率,狭窄率 ≥ 50% 定义为明显狭窄并诊断为冠心病,狭窄率 ≥ 70% 定义为严重狭窄,需进行介入治疗。以 ICA 结果作为参照,计算 320 排冠状动脉 CTA 诊断冠状动脉狭窄的敏感度、特异度、阳性预测价值和阴性预测价值。

2 结果

82 例中 1 例为房颤心律,其余 81 例均为窦性心律;其中 3 例有室性早搏,12 例有房性早搏。入选患者的平均心率为(65 ± 11)次/min。

因本研究患者大部分是右冠优势型没有回旋支的第 15 段,部分患者也没有前降支的第 10 段,且完全闭塞病变之后的血管段不显影,故实际 ICA 显示共有 1 139 段。82 例患者经 ICA 确诊 61 例冠心病(74.4%),涉及 108 支血管的 144 个节段,其中

单支血管病变 31 例 (50.8%), 2 支血管病变 15 例 (24.6%), 多支血管病变 15 例 (24.6%)。

82 例患者冠状动脉 CTA 获得的图像均可用于诊断, 评定结果见表 1。房颤患者的图像质量为 3

表 1 冠状动脉图像质量评定结果

评分	例数 (%)	平均心率 (次/min)	运动伪影	阶梯伪影	低信噪比
4 分	71 (86.6)	67 (46-92)	无	无	无
3 分	10 (12.2)	74 (57-86)	轻度	无	轻度
2 分	1 (1.2)	83	中度	无	中度
1 分	0	-	-	-	-

分, 15 例早搏患者的图像质量均为 4 分。

ICA 显示的 1 139 个节段中, CTA 可评价其中的 1 130 个节段, 可评估率为 99.2%, 9 个不可评估

的节段分布在前降支远段及分支 2 个, 回旋支远段及分支 6 个, 右冠状动脉远段 1 个。不可评估的节段被认为存在严重狭窄。ICA 共发现 144 个狭窄 $\geq 50\%$ 的节段, 有 134 个狭窄节段被 CTA 正确诊断, 10 个被漏诊的节段中, 5 个因运动伪影导致, 1 个因钙化导致, 2 个因低信噪比导致, 2 个无明显原因。有 40 个节段被 CTA 误诊为明显狭窄, 其中 19 个因明显钙化导致, 4 个因运动伪影导致, 3 个因低信噪比导致, 9 个是不可评估节段, 另外 5 个无明显原因。

320 排动态容积 CTA 诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 93.1%、96.0%、77.0% 和 99.0%, 准确度为 95.6% (表 2)。

表 2 320 排 CT 冠状动脉成像诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄的结果

部位	真阳性 (段)	真阴性 (段)	假阳性 (段)	假阴性 (段)	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	准确度 (%)
LM	2	80	0	0	100	100	100	100	100
LAD	67	312	18	4	94.4	94.5	78.8	98.7	94.5
LCX	34	279	14	3	91.9	95.2	70.8	98.9	94.8
RCA	31	284	8	3	91.2	97.3	79.5	99.0	96.6
合计	134	955	40	10	93.1	96.0	77.0	99.0	95.6

LM = 左主干, LAD = 前降支, LCX = 回旋支, RCA = 右冠状动脉

具体分析各支主要血管的近段、中段、远段及分支, 前降支及回旋支近段的敏感度均为 100%, 回

旋支远段及分支的敏感度最低, 为 75 %, 各节段的阴性预测值均在 93% 以上 (表 3)。

表 3 320 排 CTA 诊断 3 支血管近、中、远段及分支 $\geq 50\%$ 狭窄结果

部位	真阳性 (段)	真阴性 (段)	假阳性 (段)	假阴性 (段)	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性 预测值 (%)	阴性 预测值 (%)	准确度 (%)
LAD 近段	17	60	5	0	100	93.8	77.3	100	93.9
LAD 中段	28	42	8	3	90.3	84.0	77.8	93.3	86.4
LAD 远段及分支	22	210	5	1	95.7	97.7	81.5	99.5	97.5
LCX 近段	10	70	2	0	100	97.2	83.3	100	97.6
LCX 中段	18	59	2	1	94.7	96.7	90.0	98.3	96.3
LCX 远段及分支	6	150	10	2	75.0	93.8	37.5	98.7	92.9
RCA 近段	5	71	5	1	83.3	93.4	50.0	98.6	92.7
RCA 中段	8	72	1	1	88.9	98.6	88.9	98.6	97.6
RCA 远段	18	141	2	1	94.7	98.6	90.0	90.0	98.1

LM = 左主干, LAD = 前降支, LCX = 回旋支, RCA = 右冠状动脉

总体分析 320 排 CTA 对冠脉的近、中、远段及分支诊断的敏感度分别为 97.0%、91.5%、92.0%, 阴性预测值分别达 99.5%、97.2%、99.2% (表 4)。

ICA 共发现 40 个狭窄 $\geq 70\%$ 的节段, 全部被 CTA 正确检出。有 48 个节段被 CTA 误诊为严重狭

窄, 其中 28 个因明显钙化导致, 5 个因运动伪影导致, 1 个因低信噪比导致, 9 个是不可评估节段, 另外 5 个无明显原因。320 排 CTA 诊断冠状动脉 $\geq 70\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 100%、95.6%、45.5% 和 100%, 准确度

表 4 320 排 CT 诊断冠脉的近段、中段、远段及分支 $\geq 50\%$ 狭窄的结果

部位	真阳性 (段)	真阴性 (段)	假阳性 (段)	假阴性 (段)	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性 预测值 (%)	阴性 预测值 (%)	准确度 (%)
近段	32	201	12	1	97.0	94.4	72.7	99.5	94.7
中段	54	173	11	5	91.5	94.0	83.1	97.2	93.4
远段及分支	46	501	17	4	92.0	96.7	73.0	99.2	96.3

为 95.8%(表 5)。

表 5 320 排 CTA 诊断冠脉 $\geq 70\%$ 狭窄的结果

部位	真阳性 (段)	真阴性 (段)	假阳性 (段)	假阴性 (段)	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性 预测值 (%)	阴性 预测值 (%)	准确度 (%)
LM	0	82	0	0	—	100	—	100	100
LAD	18	363	20	0	100	94.8	47.4	100	95.0
LCX	14	299	17	0	100	94.6	45.2	100	94.8
RCA	8	307	11	0	100	96.5	42.1	100	96.6
合计	40	1 051	48	0	100	95.6	45.5	100	95.8

LM = 左主干, LAD = 前降支, LCX = 回旋支, RCA = 右冠状动脉

分析心率快慢对 CTA 诊断准确性的影响: 在心率 < 65 次/min 患者诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 91.0%、95.9%、76.3% 和 98.7%, 诊断冠状动脉 $\geq 70\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 100%、95.6%、43.5% 和 100%。心率 ≥ 65 次/min 患者诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 95.5%、96.1%、77.8% 和 99.3%, 诊断冠状动脉 $\geq 70\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 100%、95.6%、47.6% 和 100%(表 6)。两组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。

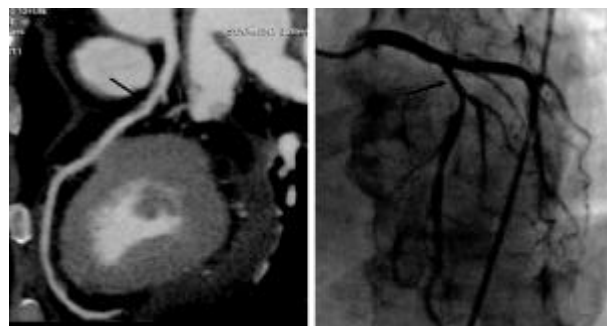
表 6 心率对 320 排 CTA 诊断结果的影响 (n, %)

参数	< 65 次/min (n = 44, 共 617 段)	≥ 65 次/min (n = 38, 共 522 段)	P 值
CTA 诊断冠脉 $\geq 50\%$ 狭窄			
敏感度	71/78(91.0%)	63/66(95.5%)	0.476
特异度	517/539(95.9%)	438/456(96.1%)	0.914
阳性预测值	71/93(76.3%)	63/81(77.8%)	0.823
阴性预测值	517/524(98.7%)	438/441(99.3%)	0.495
准确度	588/617(95.3%)	501/522(96.0%)	0.578
CTA 诊断冠脉 $\geq 70\%$ 狭窄			
敏感度	20/20(100%)	20/20(100%)	—
特异度	571/597(95.6%)	480/502(95.6%)	0.982
阳性预测值	20/46(43.5%)	20/42(47.6%)	0.697
阴性预测值	571/571(100%)	480/480(100%)	—
准确度	591/617(95.8%)	500/522(95.8%)	1.000

3 讨论

目前, 冠状动脉 CTA 已在临床广泛应用, 研究显示 64 排螺旋 CT 探测冠状动脉有意义狭窄的敏感度和特异度分别为 79% ~ 99%、86% ~ 98%, 阳性预测值和阴性预测值分别为 56% ~ 97%、92% ~ 100%^[4]。2010 冠状动脉 CTA 专家共识中指出: 冠状动脉 CTA 在排除冠心病(存在 $\geq 50\%$ 的管腔狭窄)方面具有很高的应用价值(阴性预测值 $> 95\%$), 但

在狭窄率的精确诊断上有一定限度(假阳性或高估病变的比率较大), 特别是对于钙化病变^[5]。双源 CT 的多个研究也得出相似结果^[6]。本研究对比分析 82 例患者 1 139 个冠状动脉节段, 结果显示 320 排动态容积 CTA 诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 93.1%、96.0%、77.0% 和 99.0%, 诊断各主要分支狭窄均有较高的敏感度及阴性预测值, 与国外文献相似^[7-9]。诊断冠状动脉 $\geq 70\%$ 狭窄的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 100%、95.9%、50.0% 和 100%, 尽管能够准确识别严重狭窄的病变, 不存在假阴性, 但假阳性例数较多, 其中大部分是因为严重钙化病变导致。但心率的快慢不会影响诊断的准确性, 不论是在诊断冠状动脉 $\geq 50\%$ 狭窄还是 $\geq 70\%$ 狭窄方面。本研究数据还显示, 320 排 CTA 诊断冠心病对冠状动脉的近、中及远段的判断均具有较高的敏感度和阴性预测值, 但阳性预测值偏低, 相对于 64 排螺旋 CT 而言未显示出明显优势。对冠脉血管的近段及中段显示较好(图 1), 对血管的远段及分支的显示不及 ICA, 尤其是回旋支远段及分支, 可能与这部分血管纤细、运动幅度大、对比剂充盈相对较差和操作者的技术水平有关。钙化病变的存在容易导致高估病变程度, 运动伪影及低信噪比也是造成误诊或漏诊的主要原因之一。



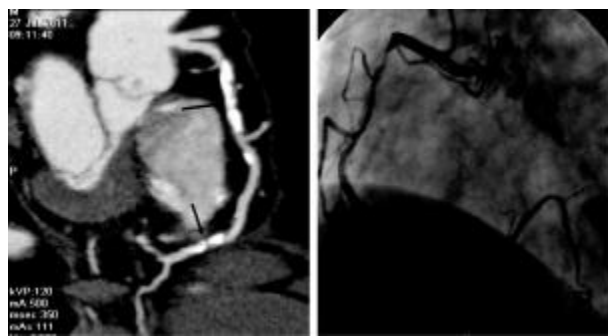
1a 冠状动脉前降支 CTA 曲面重建成像 1b 冠状动脉造影截图

图 1 前降支近段软斑块导致管腔中度狭窄, 与冠状动脉造影结果高度符合

但 320 动态容积 CT 具有以下优势: ① 获得图像质量高。因其 160 mm 宽探测器可覆盖整个心脏, 心率 < 65 次/min 时能在 1 个心动周期内完成数据采集, 无需螺旋方式扫描, 因此完全消除阶梯伪影, 缩短扫描时间的同时提高图像质量。有研究比较 320 排与 64 排 CT 的图像质量, 结果显示获得的 CTA 图像中由于质量差不能用于诊断的比例前者为 0.1%, 而后者为 3.33%^[10]。另有研究表明, 320 排

CT 可获得 90% 以上高质量的冠状动脉图像, 影响图像质量的主要因素是运动伪影和图像低信噪比^[11], 严重钙化病变的存在也明显降低图像质量^[12]。本研究获得的 82 例患者 CTA 图像均可用于诊断, 但仍有 9 个血管节段因图像质量较差无法评估, 可评估率达到 99.2%, 图像质量优秀的患者心率相对较慢, 平均为 67 次/min。而既往 64 排 CT 的数个相似研究中有高达 4% ~ 12% 的血管段因图像质量差而无法评估^[13-16]。② 图像质量受心率快慢及心律不齐影响小。尽管有研究显示, 心率快慢及心律不齐不会明显影响 320 排 CT 的图像质量^[17-18], 但为尽可能获得清晰图像, 本研究仍给心率 > 65 次/min 的患者口服美托洛尔处理, 力求在 1 个心动周期内完成扫描, 最终获得的 CT 图像数据中, 1 例房颤(心率 86 次/min)及 15 例早搏(心率 64 ~ 75 次/min)图像质量均在良好以上。而 64 排 CT 图像质量受心率快慢影响较大, 检查时需严格控制心率, 甚至有研究排除心率 > 80 次/min 的患者^[19], 对房颤患者更无法获得清晰图像。本研究发现心率快慢不会影响 320 排 CT 的诊断准确性, 得益于图像质量受心率影响小。③ 射线曝光量明显降低。320 排 CT 因扫描时间缩短并采用前瞻性心电门控技术可明显减少射线曝光量^[20], 在减少射线曝光量的同时仍可获得高质量的冠状动脉图像^[21]。本研究对此未作分析。④ 评估斑块性质。不稳定斑块的破裂出血继发血栓形成是急性冠状动脉综合征的病理基础, 而许多易损斑块为非钙化性斑块, 在破裂前并未造成严重的管腔狭窄。冠状动脉造影虽能准确评价血管腔, 但不能正确识别血管壁的病变。CTA 可清楚的显示斑块位置、形态及与冠状动脉管壁的关系, 并根据 CT 值初步区分斑块性质。既往研究表明, 64 排 CT 诊断斑块性质与 IVUS 具有很强的相关性, 但存在较大的标准差^[22-23]。另有研究显示 320 排 CT 在预测斑块进展及潜在破裂风险方面具有应用价值^[24]。本研究发现 320 排 CT 仍无法准确区分斑块与正常血管的界限, 特别是钙化斑块。存在明显钙化的节段容易被诊断为明显狭窄, 而冠状动脉造影仅显示轻度狭窄甚至无狭窄(图 2)。

本研究有以下局限: ① 部分入选患者因行 CTA 检查发现病变后再安排 ICA, 对那些 CTA 检查正常或仅轻度病变的患者则排除在外, 而部分病情较重的患者则直接安排 ICA 未做 CTA 检查, 导致选择偏倚, 可能影响最后结果。② 由于图像质量的关系, 个别血管段 QCA 工具不能准确识别血管边



2a 显示右冠近段长钙化病变及远段的局限性钙化病变(箭头所指处), 因无法准确区分钙化斑块与正常血管界限, 均被认为存在明显狭窄
2b 经冠状动脉造影证实, 右冠近段相应部位存在明显狭窄, 而远段相应部位无狭窄

图 2 右冠状动脉 CTA 曲面重建成像(2a)及冠状动脉造影截图(2b)

缘, 错误的判断血管狭窄率, 这种情况在 ICA 和 CTA 中均存在。③ 本研究是单中心小样本研究。

总之, 320 排动态容积 CTA 作为一种无创、低廉的检查手段, 其成像质量好, 检查时间短, 射线曝光量少, 是诊断冠心病及术后复查的首选无创检查方式, 但仍不能完全取代 ICA, 存在一定的局限性, 如何进一步提高诊断的准确性减少误差值得进一步研究。

[参考文献]

- [1] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT [J]. N Engl J Med, 2008, 359: 2324 - 2336.
- [2] Frank J, Rybicki, Hansel J, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2008, 24: 535 - 546.
- [3] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association [J]. Circulation, 1975, 51: 5 - 40.
- [4] Roberts WT, Bax JJ, Davies LC. Cardiac CT and CT coronary angiography: technology and application [J]. Heart, 2008, 94: 781 - 792.
- [5] Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents [J]. Circulation, 2010, 121: E1 - 42.
- [6] 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: 78 - 90.

- [7] Dewey M, Zimmermann E, Deissenrieder F, et al. Noninvasive coronary angiography by 320-row computed tomography with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy: comparison of results with cardiac catheterization in a head-to-head pilot investigation[J]. *Circulation*, 2009, 120: 867 - 875.
- [8] Nasis A, Leung MC, Antonis PR, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography with 320-detector row computed tomography[J]. *Am J Cardiol*, 2010, 106: 1429 - 1435.
- [9] de Graaf FR, Schuijf JD, van Velzen JE, et al. Diagnostic accuracy of 320-row multidetector computed tomography coronary angiography in the non-invasive evaluation of significant coronary artery disease[J]. *Eur Heart J*, 2010, 31: 1908 - 1915.
- [10] Khan A, Khosa F, Nasir K, et al. Comparison of radiation dose and image quality: 320-MDCT versus 64-MDCT coronary angiography[J]. *Am J Roentgenol*, 2011, 197: 163 - 168.
- [11] Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2008, 24: 535 - 546.
- [12] Gang S, Min L, Li L, et al. Evaluation of CT coronary artery angiography with 320-row detector CT in a high-risk population [J]. *Br J Radiol*, 2011, 85: 562 - 570.
- [13] Ropers D, Rixe J, Anders K, et al. Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64-x 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses [J]. *Am J Cardiol*, 2006, 97: 343 - 348.
- [14] Nikolaou K, Knez A, Rist C, et al. Accuracy of 64-MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease [J]. *Am J Roentgenol*, 2006, 187: 111 - 117.
- [15] Ehara M, Surmely JF, Kawai M, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography for detecting angiographically significant coronary artery stenosis in an unselected consecutive patient population: comparison with conventional invasive angiography[J]. *Circ J*, 2006, 70: 564 - 571.
- [16] Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of non-invasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46: 552 - 557.
- [17] Lee AB, Nandurkar D, Schneider-Kolsky ME, et al. Coronary image quality of 320-MDCT in patients with heart rates above 65 beats per minute: preliminary experience[J]. *Am J Roentgenol*, 2011, 196: W729- W735.
- [18] Uehara M, Funabashi N, Ueda M, et al. Quality of coronary arterial 320-slice computed tomography images in subjects with chronic atrial fibrillation compared with normal sinus rhythm[J]. *Int J Cardiol*, 2011, 150: 65 - 70.
- [19] Miller LM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT [J]. *N Engl J Med*, 2008, 359: 2324 - 2336.
- [20] 覃杰, 刘凌云, 董云旭, 等. 320排CT前瞻性和回顾性心电门控冠状动脉成像: 放射剂量、图像质量及诊断结果的对照观察[J]. *中国医学影像技术*, 2010, 26: 951 - 954.
- [21] Khan A, Khosa F, Nasir K, et al. Comparison of radiation dose and image quality: 320-MDCT versus 64-MDCT coronary angiography[J]. *Am J Roentgenol*, 2011, 197: 163 - 168.
- [22] Leber AW, Becker A, Knez A, et al. Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system: a comparative study using intravascular ultrasound [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47: 672 - 677.
- [23] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT [J]. *N Engl J Med*, 2008, 359: 2324 - 2336.
- [24] Rybicki FJ, Melchionna S, Mitsouras D, et al. Prediction of coronary artery plaque progression and potential rupture from 320-detector row prospectively ECG-gated single heart beat CT angiography; Lattice Boltzmann evaluation of endothelial shear stress[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2009, 25: 289 - 299.

(收稿日期:2012-02-04)

(本文编辑:侯虹鲁)