

# 冠状动脉粥样硬化管腔重构与斑块形态的320排CT研究

董莘 秦崇 时文伟 敖国昆

**【摘要】** 目的 探讨320排冠状动脉CT造影(CCTA)血管重构和动脉斑块形态学的关系。方法 纳入经320排CCTA检查的382例冠心病患者。男279例(73.0%),女103例(27.0%),年龄36~86岁,平均(58±11)岁。CCTA分析包括阳性重构、钙化斑块(CP)、非钙化斑块(NCP)、混合斑块(MP)、梗阻性斑块、偏心性斑块。通过手工测量血管横截面积定义重构指数(RI), $RI = \text{病变处血管横截面积} / (\text{病变处近端正常血管面积} + \text{远端血管面积}) / 2$ 。RI>1.10为PR,RI<0.95为NR,RI=0.95~1.10为无重构。结果 382例1255个节段被发现存在动脉斑块,其中PR 121例(31.7%)148个节段(11.8%);NR 82例(21.4%)91个节段(7.3%)和无重构179例(46.9%)1016个节段(81.0%)。CP 159个节段(12.7%)、NCP 549个节段(43.7%)和MP 547个节段(43.6%);梗阻性病变194个节段(15.6%),非梗阻性病变1061个节段(84.4%);偏心性斑块1054个节段(84.0%),同心性斑块201个节段(16.0%)。单因素分析显示PR组MP、非梗阻性病变和偏心性斑块百分率高于NR和无重构组(75.0%、57.1%和40.8%,93.9%、82.4%和83.4%,99.3%、16.5%和87.8%, $P$ 值为0.034、0.041、0.044,均<0.05)。在多因素Cox比例风险回归模型分析中,只有偏心性斑块是发生PR的独立因素。结论 CCTA表现为MP、非梗阻性斑块和偏心性斑块,PR发生率高,而偏心性斑块是发生PR的独立因素。

**【关键词】** 冠心病; 体层摄影术, X线计算机; 阳性重构

**Coronary atherosclerotic vascular remodeling and plaque morphological 320-row coronary computed tomography angiography** DONG Xin, QIN Chong, SHI Wen-wei, AO Guo-kun. Department of Radiology, the 309th Hospital of PLA, Beijing 100091, China

Corresponding author: DONG Xin, Email: dongxin1963@sina.com

**【Abstract】 Objective** To investigate relation of coronary atherosclerotic vascular remodeling and plaque morphological 320-row coronary computed tomography angiography(CCTA) in patients with coronary artery diseases. **Methods** This study consisted of 382 consecutive patients with coronary artery diseases who underwent 320-row CCTA examination, male 279 cases(73.0%), female 103 cases(27.0%), age 36-86(58±11)years. The CCTA analysis included the presence of positive remodeling (PR), calcified plaque(CP), non-calcified plaque(NCP), mixed plaque(MP), obstructive plaque, and eccentric plaque. The manual inspection was used to define the remodeling index(RI) in the axial cross section area.  $RI = \text{the axial cross section area at the plaque site} / \text{the axial cross section area proximal to the plaque site in a normal-appearing vessel segment} + \text{the axial cross section area distal to the plaque site in a normal-appearing vessel segment} / 2$ . The PR was defined by a  $RI > 1.10$ , The NR was defined by a  $RI < 0.95$ , and non-remodeling was defined by a  $RI = 0.95 - 1.10$ . **Results** Of the 382 patients, the 1255 plaques were observed, including PR in 121 cases (31.7%), 148 segments(11.8%), NR in 82 cases(21.4%), 91 segments(7.3%) and non-remodeling in 179 cases (46.9%), 1016 segments(81.0%), CP in 159 segments(12.7%), NCP in 549 segments (43.7%) and MP in 547 segments(43.6%), obstructive plaque in 194 segments(15.6%), non-obstructive plaque in 1061 segments(84.4%); eccentric plaque in 1054 segments(84.0%), concentric plaque in 201 segments(16.0%). Segment-based single factor analysis showed that MP, non-obstructive plaque and eccentric plaque had a higher prevalence with PR compared with NR and non-remodeling(75.0% vs. 57.1% vs. 40.8%; 93.9% vs. 82.4% vs. 83.4%; 99.3% vs. 16.5% vs. 87.8%;  $P = 0.034, 0.041, 0.044$ , respectively). Segment-based Cox proportional hazards

models analysis showed that only eccentric plaque were independent predictive factors for PR ( $HR=2.15$ , 95%  $CI$ : 0.81-6.70,  $P<0.05$ ). **Conclusion** The present study demonstrated that the MP, non-obstructive plaque and eccentric plaque had a higher prevalence with PR compared with NR and non-remodeling, then only eccentric plaque were independent predictive factors for PR.

**【Key words】** Coronary disease; Tomography, X-ray computed; Positive remodeling

冠状动脉粥样硬化过程中部分血管会发生代偿性扩张, 又称为正性重构 (positive remodeling, PR), 发生 PR 后可以代偿由于粥样硬化斑块增长而导致的管腔丢失<sup>[1]</sup>。后来的研究发现, 在冠状动脉粥样硬化过程中, 血管除了发生代偿性扩张外, 也存在皱缩现象<sup>[2]</sup>, 称为负性重构 (negative remodeling, NR)。血管内超声显像 (intravascular ultrasound, IVUS) 和冠状动脉 CT 血管造影 (coronary computed tomographic angiography, CCTA) 研究都证实了这种病变的存在, 并阐述了血管重构与冠状动脉粥样斑块稳定性的关系<sup>[3-4]</sup>。然而, 用 CCTA 研究血管重构与冠状动脉粥样斑块形态的关系的报道尚不多见, 本研究以 CCTA 为研究手段, 分析了冠状动脉重构与斑块形态的关系, 为临床及预后研究提供影像学支持。

## 资料与方法

### 一、一般资料

2010年8月至2011年8月1704例在我院行320排CTCA的患者, 男1248例(73.2%), 女456例(26.8%)。患者年龄33~86岁, 平均(57±12)岁。其中常规体检770例(45.2%), 无明显临床表现, 但均存在冠心病危险因素, 包括高血压[收缩压≥140 mm Hg和(或)舒张压≥90 mm Hg]、糖尿病[(1)糖化血红蛋白(HbA1c)≥6.5%; (2)空腹血糖(FPG)≥7.0 mmol/L; (3)口服糖耐量试验时2 h血糖≥11.1 mmol/L; (4)伴有典型的高血糖或高血糖危象症状的患者, 随机血糖≥11.1 mmol/L]、血脂异常(空腹血清总胆固醇>5.72 mmol/L, 甘油三酯>1.70 mmol/L)、高尿酸血症(非同日2次空腹血尿酸水平男>420 mmol/L, 女>360 mmol/L)、吸烟(在过去的1个月中吸烟)以及冠心病家族史(父母、兄弟姐妹或子女, 男<55岁, 女<65岁)。胸痛641例(37.6%), 已知冠心病219例(12.9%)。74例(4.3%)由于严重心脏瓣膜病、心肌病、严重的心律不齐以及冠状动脉旁路移植术和支架植入术被排除。按照 Duke 危险分层<sup>[5]</sup>将其分为冠心病低度可能组(患冠心病的可能性为1%~30%)、中度可能组(患冠心病的可能性为31%~70%)和高度可能组(患冠心病的可能性为71%~99%)。

### 二、320排CT冠状动脉血管成像

1. 成像技术: 扫描前获得患者或其家属知情同意,

充分交代注意事项, 训练患者呼吸。为获得理想的冠状动脉成像, 检查前测量心率, 对安静状态下心率>80次/min者, 舌下含服β受体阻滞剂(倍他乐克)降低心率。肘中静脉留置20 G套管针, 采用双通道高压注射器, 以流速4.5~5.5 ml/s注入60 ml非离子型对比剂优维显(370 mg I/ml)后以相同速率注入0.9%氯化钠注射液30 ml。采用东芝Aquilion one 320排动态容积CT机进行检查。扫描范围自气管隆突下1 cm至心脏膈面下, 采用Sure start对比剂示踪技术自动模式触发, 设定左心室水平降主动脉触发阈值为200 HU。扫描模式为volume采集, 球管转速为0.35 s/圈, 容积数据采集范围160 mm。管电压范围为80~120 kV, 管电流范围为350~550 mA。所有患者均采用前瞻性心电图门控, 心率<70次/min时采集时相为70%~80%, 心率≥70次/min时采集时相为R-R间期35%~80%。

2. 图像重建: 将原始数据传至Vitrea FX 3.1后处理工作站。浏览机器自动重建的最佳收缩期或舒张期图像, 利用最清晰的一期图像进行轴位重建, 层厚0.5 mm, 然后以此时相数据进行最大密度投影(MIP)、多平面重建(MPR)、曲面重建(CPR)和容积再现(VR)重建。行电影模式显示。

3. 图像分析: 所有图像均由2位有经验的放射科医师进行盲法分析, 均不了解患者的临床资料, 如果双方观点不一致, 则由其讨论后得出共同结论。根据4点等级标尺将冠状动脉图像质量分为4级<sup>[6]</sup>。1级: 极好, 清晰的血管轮廓, 无运动伪影; 2级: 好, 有较小的运动伪影和血管边缘略模糊; 3级: 中等, 中等的运动伪影和中度的血管模糊, 无血管结构不连续; 4级: 差, 严重的运动伪影和重度的血管模糊并有血管重影或不连续。

根据中华放射学杂志心脏冠状动脉多排CT临床应用协作组《心脏冠状动脉多排CT临床应用专家共识》<sup>[7]</sup>将冠状动脉分为四支15个节段。冠状动脉硬化性斑块被定义为至少在两个扫描平面显示冠状动脉壁存在清晰可辨的不同于管腔和围绕血管心外脂肪的异常结构。根据组成又将斑块分为钙化斑块(calcified plaque, CP)、非钙化斑块(non-calcified plaque, NCP)和混合斑块(mixed plaque, MP)三类, NCP定义为斑块的密度值高于周围软组织的密度而低于管腔的密度, CP定义为斑块密度值高于管腔的密度值, 如果斑

块中钙化成分所占体积<25%则归为 NCP; 钙化所占体积>75%则归为 CP; 钙化所占体积在 25%~75%定义为 MP<sup>[8]</sup>。斑块的范围是指存在斑块节段数的连续变量。同时描述病变导致的管腔狭窄程度,分为 5 级,即无狭窄或管腔不规则(狭窄<25%)、轻度狭窄(25%≤狭窄<50%)、中度狭窄(50%≤狭窄<75%)、重度狭窄(75%≤狭窄<100%)和闭塞(100%狭窄)<sup>[7]</sup>。在患者水平,不论哪支血管的哪个节段,只要有 1 个冠状动脉节段狭窄≥50%,即认为该患者有梗阻性病变。当梗阻性病变只限于 1 个冠状动脉节段,即认为是单发梗阻性狭窄;当梗阻性病变在 2 个冠状动脉节段以上,则认为是多发梗阻性狭窄<sup>[7]</sup>。最后冠状动脉粥样硬化斑块按管腔扩张或缩窄分为 PR 和 NR。参考 IVUS 的标准确定重构指数(RI)<sup>[9]</sup>,RI=病变处血管横截面积/(病变处近端正常血管面积+远端血管面积)/2。RI>1.10 为 PR,RI<0.95 为 NR。RI=0.95~1.10 为无重构。再将斑块分为偏心性及同心性,偏心性指斑块偏于管壁一侧,未累及血管全周,造成管腔偏心性狭窄;同心性指斑块累及血管全周,造成管腔环状狭窄<sup>[10]</sup>。

### 三、统计学分析

所有数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行统计学分析。设定统计显著性  $P<0.05$ 。单因素计数资料分析用  $\chi^2$  检验。多因素分析使用 Cox 比例风险回归模型。

## 结 果

1. 基线特征: 1630 例中, 33 例由于图像质量为 4 级, 被排除; 1597 例中共 382 例 1255 个节段发现存在动脉斑块, 纳入研究。男 279 例(73.0%), 女 103 例(27.0%), 年龄 36~86 岁, 平均(58±11)岁。其中

PR 121 例(31.7%) 148 个节段(11.8%)、NR 82 例(21.4%) 91 个节段(7.3%)和无重构 179 例(46.9%) 1016 个节段(81.0%)。CP 159 个节段(12.7%)、NCP 549 个节段(43.7%)和 MP 547 个节段(43.6%); 梗阻性病变 194 个节段(15.6%), 非梗阻性病变 1061 个节段(84.4%); 偏心性斑块 1054 个节段(84.0%), 同心性斑块 201 个节段(16.0%)。

动脉管腔重构的基线特征见表 1。三组患者比较, 其性别和年龄相似, 无统计学意义( $P$ 值分别为 0.624 和 0.851, 均>0.05)。PR 和无重构组患糖尿病的百分率低于 NR(22.3%、27.9%和 86.6%,  $P=0.033<0.05$ )。PR 吸烟的百分率高于 NR 和无重构组(65.3%、31.7%和 40.8%,  $P=0.039<0.05$ ); 三组患高血压、血脂异常、高尿酸血症、冠心病家族史以及多支血管病变的百分率相似(分别为 35.5%、41.5%和 46.9%, 37.2%、42.7%和 43.6%, 18.2%、24.4%和 25.1%, 8.3%、14.6%和 10.6%, 40.0%、53.7%和 45.3%,  $P$  值为 0.307、0.641、0.792、0.435、0.086, 均>0.05)。三组 Duke 低、中、高危分层相似(分别为 50.4%、40.0%和 42.5%, 38.8%、26.8%和 35.8%, 18.2%、17.1%和 23.5%,  $P$  值为 0.337、0.285、0.518, 均>0.05)。

2. 动脉管腔重构与斑块形态学关系(表 2): PR 和 NR 组未见 CP, 全部 CP 均见于无重构组。三组 NCP 百分率相似(25.0%、42.9%和 43.6%,  $P=0.135>0.05$ )。PR 组 MP、非梗阻性病变和偏心性斑块百分率高于 NR 和无重构组(75.0%、57.1%和 40.8%, 93.9%、82.4%和 83.4%, 99.3%、16.5%和 87.8%,  $P$  值为 0.034、0.041、0.044, 均<0.05)(图 1, 2)。

在多因素 Cox 比例风险回归模型分析(表 3)中, 只有偏心性斑块是发生 PR 的独立因素。

表 1 动脉管腔重构的基线特征

组别	例数	男性 [例,(%)]	年龄 (岁, $x\pm s$ )	高血压 [例,(%)]	糖尿病 [例,(%)]	血脂异常 [例,(%)]	高尿酸血 症[例,(%)]	吸烟 [例,(%)]	冠心病家族 史[例,(%)]	多支血管病 变[例,(%)]	Duke 分层[例,(%)]		
											低度可能组	中度可能组	高度可能组
PR	121	87(71.9)	55±11	43(35.5)	27(22.3)	45(37.2)	22(18.2)	79(65.3)	10(8.3)	48(40.0)	61(50.4)	47(38.8)	22(18.2)
NR	82	62(75.6)	57±13	34(41.5)	71(86.6)	35(42.7)	20(24.4)	26(31.7)	12(14.6)	39(53.7)	32(40.0)	22(26.8)	14(17.1)
无重构	179	131(73.2)	60±13	84(46.9)	50(27.9)	78(43.6)	45(25.1)	73(40.8)	19(10.6)	81(45.3)	76(42.5)	64(35.8)	42(23.5)
$P$ 值		0.624	0.851	0.307	0.033	0.641	0.792	0.039	0.435	0.086	0.337	0.285	0.518

表 2 基于节段的动脉管腔重构与斑块形态学对比

组别	斑块 (个)	CP [个,(%)]	NCP [个,(%)]	MP [个,(%)]	梗阻性斑块 [个,(%)]	非梗阻性斑块 [个,(%)]	偏心性斑块 [个,(%)]	同心性斑块 [个,(%)]
PR	148	0	37(25.0)	111(75.0)	9(6.1)	139(93.9)	147(99.3)	1(0.7)
NR	91	0	39(42.9)	52(57.1)	24(26.4)	75(82.4)	15(16.5)	76(83.5)
无重构	1016	159(15.6)	443(43.6)	414(40.8)	161(15.9)	847(83.4)	892(87.8)	123(12.1)
$P$ 值			0.135	0.034	0.041	0.048	0.044	0.044

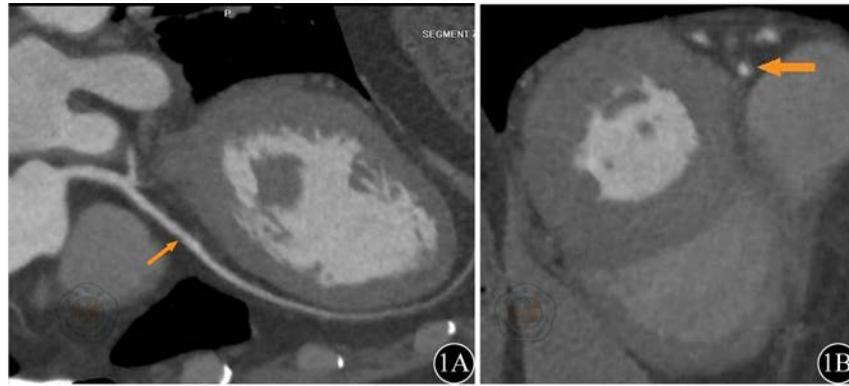


图1 冠状动脉硬化前降支管腔偏心性轻度狭窄，管腔PR，RI=1.15。1A：血管曲面断层像；1B：血管轴位像

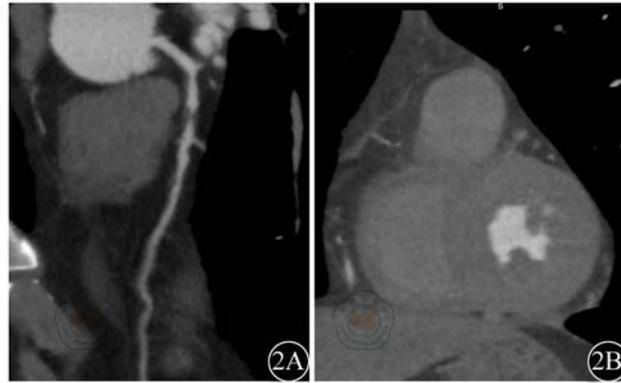


图2 冠状动脉硬化前降支管腔同心性重度狭窄，管腔NR，RI=0.18。2A：血管曲面断层像；2B：血管轴位像

表3 基于节段的发生PR的Cox比例风险回归分析

斑块特征	危害比(95% CI)	P 值
MP	1.61(0.62~4.17)	0.317
非梗阻性斑块	2.05(0.77~5.69)	0.056
偏心性斑块	2.15(0.81~6.70)	0.043

3. 辐射剂量和造影剂用量：患者接受的有效辐射剂量为(7.11±3.87) mSv。对比剂为优维显 370，用量为40~50 ml。全部患者在接受 CCTA 检查后复查血清肌酐和尿素氮水平均无明显升高。

### 讨 论

通常认为 PR 发生在动脉斑块形成的早期阶段，扩张的管腔代偿了斑块导致的管腔狭窄，而斑块早期并非侵入管腔，直到斑块占 40%横断面积<sup>[1]</sup>。血管重构是弹力型动脉粥样硬化过程中血管的几何形态对血管损伤产生的一种适应性变化，表现为血管腔/壁比例的改变。PR 可以延缓血管狭窄的进程，避免冠状动脉血流灌注量的下降，但由于斑块拥有更大的液性脂核及更多的巨噬细胞，斑块破裂的可能性增大；而 NR 可见压缩性的外膜纤维化和增厚。虽然 NR 的血管病变狭窄程度更重，但是斑块却相对稳定<sup>[9-10]</sup>。

本研究的三组病例的年龄和性别组成相似，差异无统计学意义，使得研究结果更为可靠。李敬伟等<sup>[11]</sup>的 IVUS 结果显示，糖尿病组重构指数显著小于非糖尿病组，两组均以负性重构为主，但糖尿病组负性重构更为常见。提示合并 2 型糖尿病的冠心病患者，其冠状动脉粥样硬化病变进展迅速，血管狭窄程度更严重。本研究亦显示糖尿病与 NR 相关。本研究的其他基线特征显示吸烟与 PR 相关，而高血压、血脂异常、冠心病家族史、多支血管病变以及 Duke 低、中、高危分层与 PR 无关，与文献报道相似<sup>[3-4,9-10,12-13]</sup>。

斑块的组成对于预测发生冠状动脉不良事件是非常重要的。通常 CP 被认为很少引起急性冠状动脉综合征<sup>[7]</sup>。而 NCP 和 MP 则更多地引起急性冠状动脉事件。Hong 等<sup>[14]</sup>的血管内超声结果显示易碎性特征，包括更大的坏死脂核、更多的薄纤维帽斑块以及更高的炎症标记物水平。有一项有关斑块组成的 CTCA 与血管内超声对比研究显示，与 CP 和 NCP 比较，薄纤维帽斑块更常见于 MP，这种斑块有着更高的引起急性冠状动脉综合征的破裂倾向<sup>[3]</sup>。本研究单因素分析显示 PR 与 MP 有关，显示 PR 更多见于 MP。

冠状动脉 CCTA 对管腔狭窄研究表明有意义狭窄界定于 50%，当有一个冠状动脉节段狭窄≥50%，即

认为该患者有梗阻性病变<sup>[7]</sup>。CCTA 判断的有梗阻性狭窄的患者其预后较无明显狭窄者差。然而事实上心肌梗死和不稳定心绞痛更多的是由非梗阻性斑块 (< 50%) 病变引起的, CCTA 提示管腔轻度狭窄的患者中每年心血管事件的发生率约为 1.5%, 而冠状动脉完全正常者每年事件发生率不到 0.7%<sup>[15-16]</sup>。本研究显示 PR 与非梗阻性斑块相关, 也间接证明 PR 发生在斑块形成的早期。

同心性斑块与动脉中膜和外膜增厚有关, 由于外膜纤维化和增厚挤压导致了动脉收缩, 使血管发生负性重构, 而偏心性斑块对侧完整的血管内皮相对完整, 保留了对一氧化氮的敏感反应, 以及斑块中的脂质诱发的巨噬细胞浸润和明胶酶谱活性增高均促使偏心性斑块的血管壁发生外向扩张形成正性重构, 因此同心性斑块相对偏心性斑块更稳定<sup>[17-21]</sup>。Varnava 等<sup>[21]</sup>的 88 例尸检病理研究发现同心性斑块与偏心性斑块相比较, 冠状动脉管腔狭窄程度更明显, 斑块脂质含量更低, 巨噬细胞计数更少, 提示冠状动脉斑块破裂可能更容易发生在中度狭窄的管腔 (但并有明显的 PR)。本研究单因素分析显示偏心性狭窄与 PR 有关, 而多因素 Cox 比例风险回归模型分析显示仅偏心性斑块是发生 PR 的独立风险因素。

本研究使用 320 排 CT 检查所有患者, 患者接受的有效辐射剂量为 (7.11 ± 3.87) mSv, 明显低于 64 排 CT 的 (13.21 ± 0.82) mSv<sup>[22]</sup>。对比剂为优维显 370, 用量为 40~50 ml, 亦低于 64 排 CT 的 50~70 ml<sup>[23]</sup>。全部本研究患者在接受 320 排 CCTA 检查后均无肾功能损害。

本研究尚有一定的局限性: (1) 本研究为单中心研究, 有待于大规模的多中心研究证实本研究的结果; (2) 仅研究 PR 与斑块形态学的关系, 并未量化斑块的体积和密度; (3) 未与 IVUS 对照; (4) 未研究 PR 与发生冠状动脉不良事件的关系。

### 参 考 文 献

- [1] Glagov S, Weisenberg E, Zarins CK, et al. Compensatory enlargement of human atherosclerotic coronary arteries. *N Engl J Med*, 1987, 316: 1371-1375.
- [2] Pasterkamp G, Wensing PJ, Post MJ, et al. Paradoxical arterial wall shrinkage may contribute to luminal narrowing of human atherosclerotic femoral arteries. *Circulation*, 1995, 91: 1444-1449.
- [3] Matsuo Y, Takumi T, Mathew V, et al. Plaque characteristics and arterial remodeling in coronary and peripheral arterial systems. *Atherosclerosis*, 2012, 223: 365-371.
- [4] Nozue T, Yamamoto S, Tohyama S, et al. Comparison of arterial remodeling and changes in plaque composition between patients with progression versus regression of coronary atherosclerosis during statin

- therapy (from the TRUTH study). *Am J Cardiol*, 2012, 109: 1247-1253.
- [5] Pryor DB, Shaw L, McCants CB, et al. Value of the history and physical in identifying patients at increased risk for coronary artery disease. *Ann Intern Med*, 1993, 118: 81-90.
- [6] Matt D, Scheffel H, Leschka S, et al. Dual-source CT coronary angiography: image quality, mean heart rate, and heart rate variability. *AJR Am J Roentgenol*, 2007, 189: 567-573.
- [7] 中华放射学杂志心脏冠状动脉多排 CT 临床应用协作组. 心脏冠状动脉多排 CT 临床应用专家共识. *中华放射学杂志*, 2011, 45: 9-17.
- [8] Cheng VY, Wolak A, Gutstein A, et al. Low-density lipoprotein and noncalcified coronary plaque composition in patients with newly diagnosed coronary artery disease on computed tomographic angiography. *Am J Cardiol*, 2010, 105: 761-766.
- [9] Imazeki T, Sato Y, Inoue F, et al. Evaluation of coronary artery remodeling in patients with acute coronary syndrome and stable angina by multislice computed tomography. *Circ J*, 2004, 68: 1045-1050.
- [10] Varnava AM, Mills PG, Davies MJ. Relationship between coronary artery remodeling and plaque vulnerability. *Circulation*, 2002, 105: 939-943.
- [11] 李敬伟, 金喆. 冠心病合并 2 型糖尿病患者冠状动脉重构的研究. *天津医科大学学报*, 2005(2): 299-301.
- [12] Schmid M, Pfleiderer T, Jang IK, et al. Relationship between degree of remodeling and CT attenuation of plaque in coronary atherosclerotic lesions: an in-vivo analysis by multi-detector computed tomography. *Atherosclerosis*, 2008, 197: 457-464.
- [13] Tanaka M, Tomiyasu K, Fukui M, et al. Evaluation of characteristics and degree of remodeling in coronary atherosclerotic lesions by 64-detector multislice computed tomography (MSCT). *Atherosclerosis*, 2009, 203: 436-441.
- [14] Hong YJ, Jeong MH, Choi YH, et al. Plaque characteristics in culprit lesions and inflammatory status in diabetic acute coronary syndrome patients. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2009, 2: 339-349.
- [15] Gopal A, Nasir K, Ahmadi N, et al. Cardiac computed tomographic angiography in an outpatient setting: an analysis of clinical outcomes over a 40-month period. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2009, 3: 90-95.
- [16] van Werkhoven JM, Schuijff JD, Gaemperli O, et al. Prognostic value of multislice computed tomography and gated single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 53: 623-632.
- [17] Cilla M, Peña E, Martínez MA, et al. Comparison of the vulnerability risk for positive versus negative atheroma plaque morphology. *J Biomech*, 2013, 46: 1248-1254.
- [18] Cilla M, Peña E, Martínez MA. 3D computational parametric analysis of eccentric atheroma plaque: influence of axial and circumferential residual stresses. *Biomech Model Mechanobiol*, 2012, 11: 1001-1013.
- [19] Voros S, Rinehart S, Qian Z, et al. Coronary atherosclerosis imaging by coronary CT angiography: current status, correlation with intravascular interrogation and meta-analysis. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011, 4: 537-548.
- [20] Opolski MP, Kepka C, Witkowski A. CT evaluation of vulnerable plaque: noninvasive fortune-telling? *Int J Cardiovasc Imaging*, 2012, 28: 1613-1615.
- [21] Varnava AM, Mills PG, Davies MJ. Relationship between coronary artery remodeling and plaque vulnerability. *Circulation*, 2002, 105: 939-943.
- [22] Cho I, Min HS, Chun EJ, et al. Coronary atherosclerosis detected by coronary CT angiography in asymptomatic subjects with early chronic kidney disease. *Atherosclerosis*, 2010, 208: 406-411.
- [23] Xu L, Zhang Z. Coronary CT angiography with low radiation dose. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2010, 26 Suppl 1: 17-25.

(收稿日期: 2013-06-04)

(本文编辑: 吴莹)