

· 心血管影像学 ·

低剂量联合措施在前门控冠状动脉 CT 血管成像中的应用价值

李瑛, 苏秉亮, 赵磊, 王泽锋, 刘挨师

【摘要】 目的:评价低管电压及短重叠时间联合设置措施在前瞻性心电门控冠状动脉 CT 血管成像(CCTA)中的应用价值。**方法:**选取拟行 CCTA 检查的受检者 80 例, 心率(HR) < 65 次/分、心率变异(HRv) < 5 次/分、体质量指数(BMI) ≤ 24 kg/m²。将受检者随机分为 A、B 两组进行前门控 CCTA 检查, A 组管电压设置为 120 kV, 管电流 400 mA, 重叠时间(PT) 100 ms, B 组管电压设置为 100 kV, 管电流 400 mA, PT 50 ms。采用 SPSS 13.0 软件包对 A、B 两组的图像质量及辐射剂量进行统计学分析, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。**结果:**A、B 两组冠脉主观评分差异具有统计学意义($Z=-8.534, P<0.00001$), 而可用于诊断的冠脉节段比例的差异无统计学意义($\chi^2=0.677, P=0.411$); A、B 两组主动脉根部平均衰减、噪声值、信噪比及对比度噪声比差异均具有统计学意义(P 均 < 0.05); A、B 两组平均辐射剂量分别为 (3.35 ± 0.49) 和 (1.57 ± 0.23) mSv, 且差异有统计学意义($t=20.084, P<0.00001$)。**结论:**低管电压及短 PT 联合措施在前门控 CCTA 中可获得满足诊断需求的图像, 且辐射剂量大幅降低。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 冠状动脉; 辐射剂量

【中图分类号】 R541.4; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)02-0159-04

Low-dose CT coronary angiography for prospectively gated axial technique: image quality and radiation dose LI Ying, SU Bing-liang, ZHAO-Lei, et al. Department of Radiology, the Affiliated Hospital Of Inner Mongolia Medical Collage, Hohhot 010050, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate image quality and radiation dose for coronary artery computed tomographic angiography (CTA) obtained with low tube voltage and short padding time setting for a prospectively gated axial (PGA) CT technique at low heart rate (HR) and heart rate variation (HRv). **Methods:** Eighty patients enrolled in this study were randomly divided into two groups. Group A consisted of 40 patients with average body mass index (BMI) 20.12 using PGA scan technique (tube voltage was 120kV and tube current was 400mA). Image acquisition was performed at 75% of the R-R interval, and the padding time setting was 100ms. Group B consisted of 40 patients with BMI 20.42 using PGA scan technique (tube voltage was 100kV and tube current was 400mA). Image acquisition was performed at 75% of the RR interval, and the padding time setting was 50ms. The two groups were evaluated for image quality, mean attenuation, noise, signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise (CNR) in aortic root and radiation dose. Image quality and radiation dose were analyzed by Mann-Whitney U-test and unpaired t-test. A P value below 0.05 was considered to be statistically significant. **Results:** The mean effective dose, being statistically significant, for Group A was 3.35mSv versus 1.57mSv for Group B ($t=20.084, P<0.00001$). The mean image quality score was 4.69 for Group A versus 4.37 for Group B ($Z=-8.534, P<0.00001$). The mean attenuation, noise, SNR and CNR were statistically significant for group A versus group B ($P<0.05$). The percentage of assessable coronary artery segments was not statistically significant for group B versus group A ($\chi^2=0.677, P=0.411$). **Conclusion:** Low tube voltage and short padding time setting for PGA CT technique could offer assessable image quality and substantially reduced effective radiation dose at low HR and HRv.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Coronary artery; Radiation dosage

随着多层螺旋 CT 的投入使用, 冠状动脉 CT 血管成像(CCTA)不断成熟与进步, 较高的阳性预测值与极高的阴性预测值, 使其在冠状动脉粥样硬化性心脏病的排查中发挥着重要作用; 同时 CCTA 在冠状动脉支架置入术后及冠状动脉旁路移植术后随访中的应用, 改变了临床诊疗模式^[1]。然而 CCTA 具有较高的辐射量, 前瞻性心电门控的应用使辐射量大幅降低, 结

合适当的减低球管输出措施可进一步降低辐射量。本研究拟通过在前门控模式下降低管电压及减少曝光时间行 CCTA 检查, 探讨减低球管输出在前门控 CCTA 中的应用价值。

材料与方法

1. 病例来源

搜集 2011 年 9 月—2011 年 12 月临床拟诊或确诊冠状动脉粥样硬化性心脏病的受检者 80 例, 心率(HR) < 65 次/分, 心率变异(HRv) < 5 次/分, 体质量指数(BMI) ≤ 24 kg/m², 年龄 36~74 岁, 中位年龄 58 岁。排除标准为心肾功能不全、碘对比剂过敏、屏气不

作者单位: 010050 呼和浩特, 内蒙古医科大学附属医院 CT 室
作者简介: 李瑛(1963—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 主管技师, 主要从事 CT 影像技术工作。
通讯作者: 刘挨师, E-mail: liuaishi@sina.com
基金项目: 内蒙古财政厅科研项目(NC20080018); 内蒙古高等学校科学研究项目(NJZY07091)

佳。所选受检者按就诊顺序分为 A、B 两组(A 组为对照组,B 组为实验组)进行前瞻性心电门控 CCTA 检查。

2. 方法

设备与药品:GE lightspeed VCT-XT 机,对比剂为优维显(370 mg I/ml)。

扫描方法:受检者取仰卧位,足先进,行定位像扫描后以流率 4.5 ml/s 于肘静脉注入 20 ml 对比剂及 20 ml 生理盐水,在主动脉根部选取感兴趣区(ROI)测定峰值时间,确定扫描延迟时间。扫描参数:机架转速 0.35 s/r,准直器宽度 0.625 mm×64 层,重组层厚 0.625 mm,矩阵 512×512。设定流率 4.5 ml/s,静脉注射 55 ml 对比剂及 40 ml 生理盐水。管电流设置为 400 mA。A 组管电压 120 kV,重叠时间(padding time,PT)100 ms,B 组管电压 100 kV,PT 50 ms。扫描结束后 A、B 两组所有数据传入 ADW4.4 工作站。

图像后处理:对冠脉每支血管进行曲面重组,结合横轴面图像进行冠状动脉评分。

3. 辐射剂量评价

A、B 两组均由计算机自动生成剂量长度乘积(DLP),有效剂量(ED)为 DLP×k,其中 k 为剂量转换系数,本研究 k 取 0.017^[2]。

4. 图像质量评价

图像质量主观评分:按照美国心脏协会(American Heart Association,AHA)的冠状动脉 15 段分段法^[3]进行评价。冠脉图像质量分级采用 1~5 级评分法^[4]:分别为 5 分(无运动伪影,无明显噪声)、4 分(有轻度运动伪影、噪声)、3 分(较多运动伪影、噪声较大但不影响管腔评价)、2 分(运动伪影严重或噪声大严重影响管腔评价)和 1 分(明显运动伪影致管腔无法评价)。由两位从事 CCTA 诊断工作 4 年的放射科医师对全部受检者的冠脉节段进行评价及对比,意见不一致时由两人协商后统一意见。

图像质量定量评价:在主动脉根部设置 ROI 测量平均衰减值及其标准差,以标准差作为噪声值并记录,根据公式(1)计算信噪比(SNR);在主动脉周围脂肪组织设置 ROI 测量其平均衰减值,根据公式(2)计算对比度噪声比(CNR)。

$$SNR = \frac{\text{平均衰减值}}{\text{噪声值}} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{\text{主动脉平均衰减值} - \text{组织平均衰减值}}{\text{噪声值}} \quad (2)$$

5. 统计学分析

比较 A、B 两组受检者一般情况,包括年龄、性别、曝光心率、体质量指数、扫描长度;比较 A、B 两组冠脉图像质量主观评分、可用于诊断的冠脉节段比例(主观评分≥3 分者认为可以满足诊断需求);比较 A、B 两

组主动脉根部平均衰减值、噪声值、信噪比及对比度噪声比;比较 A、B 两组辐射剂量。

统计方法:采用 SPSS13.0 软件包进行统计学分析,所有计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。对于服从正态分布的计量资料采用两独立样本 *t* 检验,不服从正态分布的计量资料采用两独立样本秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

80 例受检者均顺利完成 CCTA 扫描,受检者一般情况见表 1。

表 1 80 例受检者一般情况

项目	A 组	B 组	统计量	P 值
年龄(岁)	53.87±8.21	56.02±9.28	-1.092 ^a	0.278
性别(男/女)	23/17	25/15	0.208 ^b	0.820
曝光心率(次/分)	56.33±4.51	55.23±4.26	1.108 ^a	0.271
体质量指数(kg/m ²)	20.12±2.13	20.42±1.89	-0.645 ^a	0.521
扫描长度(cm)	11.99±1.75	12.65±1.90	-1.620 ^a	0.109

注:^a为 *t* 值,^b为 χ^2 值,A、B 两组受检者一般情况均无统计学差异(*P* 均>0.05)。

A、B 两组冠脉主观评分比较:A 组共计 569 个冠脉节段纳入分析,平均显示 14.22 个;B 组共计 557 个冠脉节段纳入分析,平均显示 13.93 个。A、B 两组主观评分分别为(4.69±0.63)和(4.37±0.78)分,且具有统计学差异(*Z*=-8.534,*P*<0.00001);A、B 两组≥3 分冠脉节段与<3 分冠脉节段比例比较:A 组(557/12)与 B 组(541/16)无统计学差异($\chi^2=0.677$,*P*=0.411,图 1~2)。

A、B 两组主动脉根部平均衰减值分别为(359.85±27.48)和(394.07±29.71) HU,二者有统计学差异(*t*=-5.279,*P*<0.00001,图 3);A、B 两组主动脉根部噪声值分别为 A 组(21.73±2.19)和(29.62±2.52) HU,二者具有统计学差异(*t*=-14.74,*P*<0.00001,图 4);A、B 两组主动脉根部信噪比分别为(16.74±2.06)和(13.51±1.51),二者有统计学差异(*t*=7.908,*P*<0.00001,图 5);A、B 两组主动脉根部对比度噪声比分别为(20.92±2.46)和(16.63±1.65),二者具有统计学差异(*t*=9.163,*P*=0.008,图 6);采用 100 kV 代替 120 kV 后平均衰减值提高 9.5%,噪声值提高 36.3%,信噪比降低 19.3%,对比度噪声比降低 20.5%。A、B 两组 DLP 分别为(197.01±28.63)和(92.13±13.49) mGy·cm,两组差异有统计学意义(*t*=20.156,*P*<0.00001);A、B 两组 ED 分别为(3.35±0.49)和(1.57±0.23) mSv,二者差异有统计学意义(*t*=20.084,*P*<0.00001)。结合窄 PT 设置,B 组较 A 组辐射剂量降低 53%。

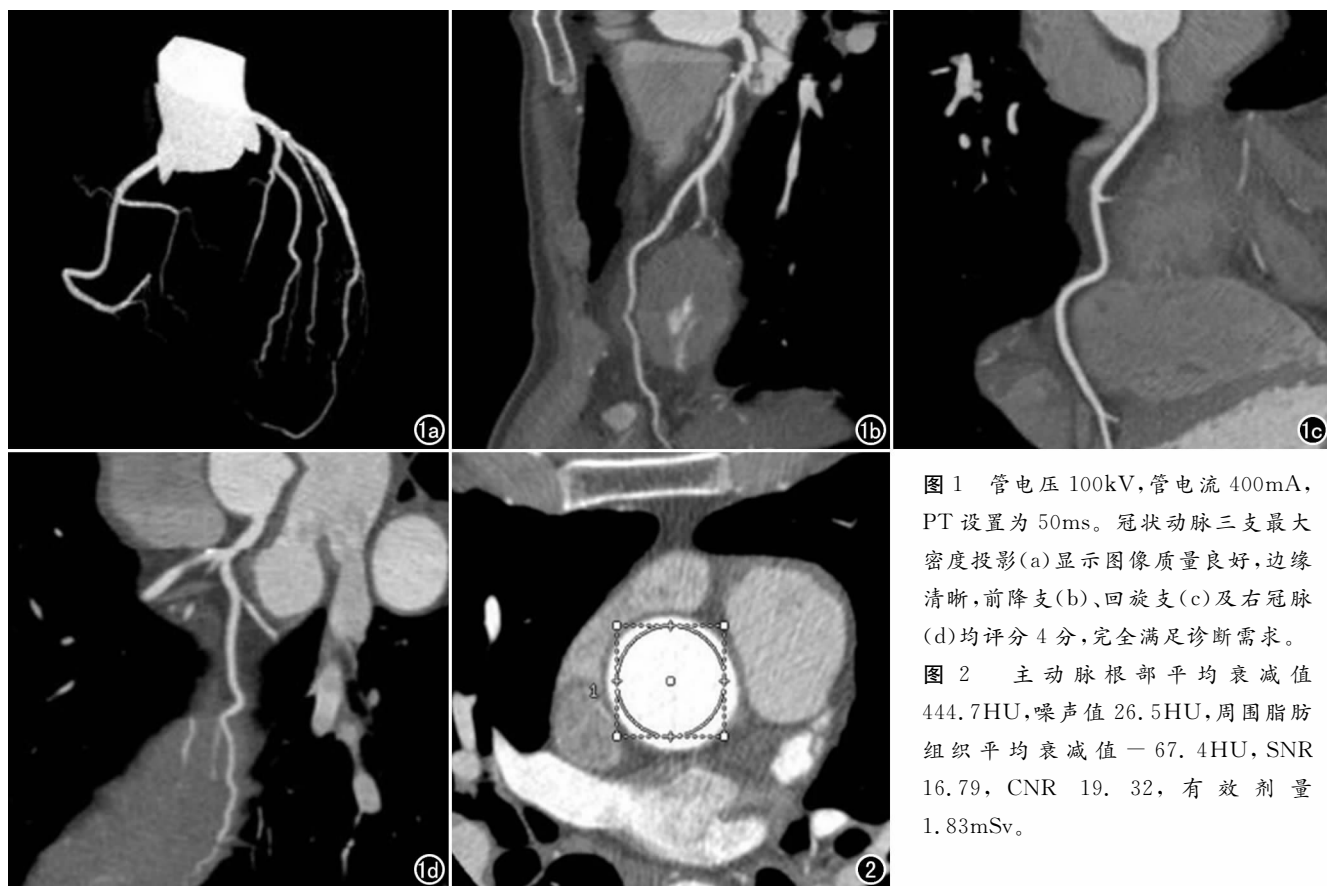


图 1 管电压 100kV,管电流 400mA,PT 设置为 50ms。冠状动脉三支最大密度投影(a)显示图像质量良好,边缘清晰,前降支(b)、回旋支(c)及右冠脉(d)均评分 4 分,完全满足诊断需求。
图 2 主动脉根部平均衰减値 444.7HU,噪声値 26.5HU,周围脂肪组织平均衰减値 -67.4HU,SNR 16.79, CNR 19.32,有效剂量 1.83mSv。

讨论

CT 软、硬件的长足进步使 CCTA 得以简单实现,但随之而来的高辐射剂量问题限制其广泛应用。100 mSv 以下的电离辐射已具有足够能量产生电离损伤,引发癌症。遵循最低剂量原则进行 CCTA 低辐射剂量研究是非常有益的尝试。Hsieh 等^[5]开发的前瞻性心电门控技术是目前被证实的最有效的减剂量扫描方式。此外,通过应用智能滤过技术及球管输出设置也可以达到减低辐射剂量的目的。辐射剂量与管电压的平方成正比,因此降低管电压可最大限度的

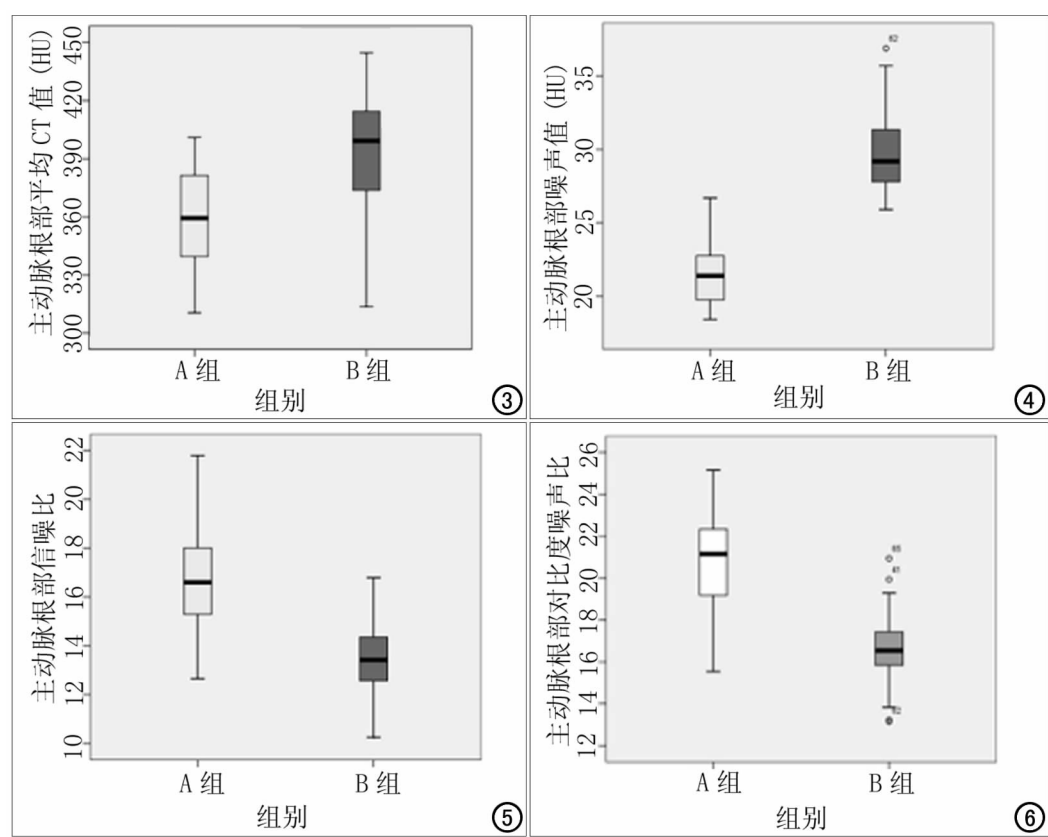


图 3 A、B 两组主动脉根部平均衰减値箱式图。图 4 A、B 两组主动脉根部噪声値箱式图。
图 5 A、B 两组主动脉根部信噪比箱式图。图 6 A、B 两组主动脉根部对比度噪声比箱式图，

发挥球管作用。

康普顿散射是 X 线与组织相互作用的重要形式。X 线光子与电子碰撞时使电子脱离原子,而另一部分能量仍存在于光子中,且在一般情况下偏离初始路径,形成散射光子,被探测器接收时增加噪声,降低信噪比^[6]。碘产生光电效应的临界能量是 33 keV,因此适当减低管电压可增强光电效应,减少康普顿散射^[7],本研究 A、B 两组在对比剂注射流率及总量一致的情况下,主动脉根部衰减值差异具有统计学意义,B 组较 A 组高约 9.5%。另外,低管电压产生的特征光谱能量变低,使探测器对低能射线的相对采集数增多,亦会造成噪声的增加,本研究中 B 组噪声较 A 组高约 36.3%。

前门控主要是通过采集前的多次心动周期来预测曝光期相,在受检者心率不齐时,单纯单扇区采集与预测曝光期相不能完全吻合,3~4 个横断面扫描模块就不能处于同一期相,冠状动脉的位移也不尽相同,发生阶梯状伪影。PT 设置是前门控适应心率变异的重要技术,即在单扇区横断面扫描的前后叠加一定曝光时间,扩大采集期相,将预设采集期相(如 R-R 间期的 75%期相)包含在一个区间内,从而重组出单一期相的冠状动脉,大大减低错层发生概率^[8]。一项研究认为在受检者心率小于 65 次/分,心率变异小于 5 次/分情况下,50 ms 与 200 ms 的 PT 设置所获得的图像质量差异无统计学意义($P=0.1437$)^[9]。

减低管电压需满足的最基本条件为达到诊断所需,本研究中 A、B 组的图像质量未见明显差异,而 B 组的辐射剂量却低于 A 组。同其他采用降低管电压减低辐射剂量的研究^[10-12]相比,本研究同时缩短 PT 设置,探讨前门控模式下低管电压与窄 PT 设置的共同作用对图像质量与辐射剂量的影响。

本研究的不足是采用配对样本研究可以减少选择偏倚,但应用体模研究无法模拟受检者的个体差异。A、B 两组虽然达到诊断需求的冠脉节段比例差异无统计学意义,但冠脉主观评分及一系列定量研究显示 100 kV 组图像质量较 120 kV 组低,有研究认为 CCTA 图像质量的优劣将影响其阳性预测值^[13];由于图像噪声受到管电流与管电压的双重制约,本研究通过固定管电流探讨降低管电压的功效,具有一定的局限性。

总之,通过降低管电压减低辐射剂量将逐渐成为一种适用于较低体重^[10-11]及体质量指数^[12]受检者的有效方法,而低管电压及窄 PT 设置可不同程度的影响图像质量。目前图像质量的对比均基于 X 线衰减的定量研究及读片者的主观评价,且尚缺乏大宗样本

的循证医学证据,低管电压及窄 PT 设置联合措施的有效性尚需与侵入性冠脉造影进行对照研究证实。

参考文献:

- [1] Maffei E, Martini C, De Crescenzo S, et al. Low dose CT of the heart: a quantum leap into a new era of cardiovascular imaging [J]. Radiol Med, 2010, 115(8): 1179-1207.
- [2] Guidelines on Radiation Dose to the Patient[M]//European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 EN. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. <http://www.dr.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>. Accessed 20 January 2010.
- [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(4 suppl): 5-40.
- [4] 王妍焱, 吴国庚, 周诚, 等. 64 层螺旋 CT 前门控冠状动脉横断面扫描低剂量技术的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(10): 1018-1021.
- [5] Hsieh J, Londt J, Vass M, et al. Step-and-shoot data acquisition and reconstruction for cardiac X-ray computed tomography[J]. Med Phys, 2006, 33(11): 4236-4248.
- [6] 余晓鹄, 卢广文. CT 设备原理、结构与质量保证[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 107-116.
- [7] Ertl-Wagner BB, Hoffmann RT, Bruning R, et al. Multi-detector row CT angiography of the brain at various kilovoltage settings [J]. Radiology, 2004, 231(2): 528-535.
- [8] 赵磊, 刘挨师. 64 层 CT 前瞻性心电图门控冠状动脉成像中重叠时间设置的合理应用[J]. 实用放射学杂志, 2011, 27(11): 1735-1739.
- [9] Kimura F, Umezawa T, Asano T, et al. Coronary computed tomography angiography using prospective electrocardiography-gated axial scans with 64-detector computed tomography: evaluation of stair-step artifacts and padding time [J]. Jpn J Radiol, 2010, 28(6): 437-445.
- [10] Pflederer T, Rudofsky L, Ropers D, et al. Image quality in a low radiation exposure protocol for retrospectively ECG-gated coronary CT angiography [J]. AJR, 2009, 192(4): 1045-1050.
- [11] Gopal A, Mao SS, Karlsberg D, et al. Radiation reduction with prospective ECG-triggering acquisition using 64-multidetector computed tomographic angiography [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2009, 25(4): 405-416.
- [12] Bischoff B, Hein F, Meyer T, et al. Impact of a reduced tube voltage on CT angiography and radiation dose: results of the Protection I study [J]. JACC, 2009, 2(8): 940-946.
- [13] Meijboom WB, Meijjs MF, Schuijf JD, et al. Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study [J]. JACC, 2008, 52(25): 2135-2144.

(收稿日期: 2012-08-14 修回日期: 2012-11-16)