

# 基于 SPECT/CT 平台的心电门控钙化积分扫描用于心肌灌注显像衰减校正的可行性

胡瑶 赵艳军 唐平 倪建明

南京医科大学附属无锡第二医院核医学科 214002

通信作者:倪建明, Email: jianming\_ni@163.com

**【摘要】** **目的** 探讨基于 SPECT/CT 平台的心电门控钙化积分(CACS)扫描用于<sup>99m</sup>Tc-甲氧基异丁基异腈(MIBI)心肌灌注显像(MPI)衰减校正的可行性。**方法** 2017 年 1 月至 10 月间 110 例受检者[男 61 例,女 49 例;年龄(68.4±9.4)岁]行常规静息门控 MPI 的同时,分别进行一次心电门控 CACS 扫描和常规非门控的心脏 CT 衰减校正扫描。分别采用 CACS 和 CT 图像对 MPI 进行衰减校正,比较 2 种校正后 MPI 图像左心室各壁段(前壁、侧壁、下壁、间壁和心尖部)显像剂分布的相对百分比及对视觉评估心肌是否缺血的影响。采用配对 *t* 检验和 *Kappa* 检验分析数据。**结果** CACS 扫描和常规 CT 衰减校正的 MPI 图像显像剂分布的相对百分比在左心室(前壁、侧壁、下壁、间壁和心尖部)间的差异均无统计学意义(*t* 值: -0.782~0.456, 均 *P*>0.05); 2 位医师对 2 种衰减校正的 MPI 图像左心室上述各壁是否缺血视觉评估的一致性(加权 *Kappa* 值)分别为 0.864(95% *CI*: 0.749~0.979)、0.795(95% *CI*: 0.717~0.874)、0.494(95% *CI*: 0.076~0.912)、0.724(95% *CI*: 0.321~1.000)和 0.873(95% *CI*: 0.764~0.982), 均 *P*<0.01。**结论** 在 SPECT/CT 平台上用心电门控 CACS 扫描的心脏 CT 扫描图像进行<sup>99m</sup>Tc-MIBI MPI 衰减校正可行。

**【关键词】** 心肌灌注显像; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 体层摄影术, X 线计算机; 心电图记录术; 图像处理, 计算机辅助; <sup>99m</sup>Tc 甲氧基异丁基异腈

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.01.006

## Feasibility of electrocardiogram-gated coronary artery calcium CT scan for attenuation correction of myocardial perfusion imaging based on a hybrid SPECT/CT scanner

Hu Yao, Zhao Yanjun, Tang Ping, Ni Jianming

Department of Nuclear Medicine, Wuxi Second Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi 214002, China

Corresponding author: Ni Jianming, Email: jianming\_ni@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the feasibility of electrocardiogram (ECG)-gated coronary artery calcium scoring (CACS) CT scan for attenuation correction of <sup>99m</sup>Tc-methoxyisobutylisonitrile (MIBI) myocardial perfusion imaging (MPI) based on a hybrid SPECT/CT scanner. **Methods** From January 2017 to October 2017, a total of 110 subjects (61 males, 49 females; age: (68.4±9.4) years) underwent ECG-gated MPI, ECG-gated CACS CT scan and conventional non-gated cardiac CT scan. The gated and non-gated CT scans were used for attenuation correction of MPI separately, then the relative percentage of radioactive distribution of left ventricular (LV) walls (anterior, lateral, inferior, septal and apex) based on different correction methods were compared, and the influences of CACS CT scan and conventional CT scan on visual assessment for myocardial ischemia were also compared. Paired *t* test and *Kappa* test were used to analyze the data. **Results** The relative radioactive distribution percentages of all LV walls in CACS CT corrected MPI and those in conventional CT corrected MPI were not statistically significant (*t* values: from -0.782 to 0.456, all *P*>0.05). The weighted *Kappa* values of LV anterior, lateral, inferior, septal and apex from 2 types of corrected images between 2 physicians were 0.864 (95% *CI*: 0.749-0.979), 0.795 (95% *CI*: 0.717-0.874), 0.494 (95% *CI*: 0.076-0.912), 0.724 (95% *CI*: 0.321-1.000), 0.873 (95% *CI*: 0.764-0.982), respectively (all *P*<0.01). **Conclusion** ECG-gated CACS CT scan can be used for attenuation correction of <sup>99m</sup>Tc-MIBI MPI based on a hybrid SPECT/CT scanner.

**【Key words】** Myocardial perfusion imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed; Electrocardiography; Image processing, computer assisted; Technetium Tc <sup>99m</sup> sestamibi

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.01.006

冠状动脉钙化是冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)的重要危险因素之一,心电门控冠状动脉

钙化积分(coronary artery calcium scoring, CACS)扫描进行定量评估用于冠心病危险性分层的价值已获

得广泛认可,还有研究显示 CACS 对心肌灌注显像 (myocardial perfusion imaging, MPI) 诊断有增益作用<sup>[1-3]</sup>。目前采用同机心脏 CT 扫描对 MPI 进行衰减校正已成为常规,配备诊断级 CT 的 SPECT/CT 还可进行标准 CACS 扫描。Shao 等<sup>[4]</sup>报道了一种基于 SPECT/CT 平台的一站式 CACS 和 MPI 检查技术,并证实 CACS 能显著提高 MPI 的灵敏度。但该方法需独立行心电门控 CACS 扫描和非门控心脏 CT 衰减校正扫描,这会增加检查时间,还会导致患者 CT 辐射剂量的升高。Schepis 等<sup>[5]</sup>最早探讨了采用 CACS 扫描进行衰减校正的可行性,但其 MPI 检查和 CACS 扫描不是在同一时间及相同体位下进行采集,可能存在心脏体位差异导致的配准错误。因此,本研究拟通过比较 CACS 和常规 CT 衰减校正的 MPI 心室壁放射性计数及其对视觉评估 MPI 图像是否缺血的影响,来探讨 CACS 扫描用于 MPI 衰减校正的可行性,以期建立一种新的基于 SPECT/CT 平台的一站式 CACS 和 MPI 检查技术。

### 资料与方法

1.研究对象。以 2017 年 1 月至 10 月于本科行<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-甲氧基异丁基异腈 (methoxyisobutylisonitrile, MIBI) 静息心电门控 MPI 和 CACS 扫描的受检者为研究对象。本研究获得医院伦理委员会批准(批准号:2016026),患者均签署知情同意书。纳入标准:疑诊冠心病、确诊冠心病、心前区疼痛或胸闷;排除标准:心律不齐、冠状动脉支架置入术后或旁路移植术后、ST 段抬高型心肌梗死。共 110 例受检者入组,其中男 61 例,女 49 例,年龄 43~85(68.4±9.4)岁。

2.检查方法。采用荷兰 Philips 公司 SPECT/CT 仪 (Precedence 16) 采集图像。受检者空腹静息状态下注射 900 MBq <sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-MIBI (上海欣科医药有限公司苏州分公司提供,放化纯>95%),注射后 30 min 进脂质食物促进肝脏及胆囊中放射性药物排泄。注射后 1.5~2.0 h 取仰卧双手抱头位进行图像采集。采集顺序:CACS 扫描、常规 CT 和心脏 SPECT。

心脏 CT 扫描(CACS 扫描和常规 CT):范围为气管分叉至心脏下缘,平静浅自由呼吸,管电压 120 kV,管电流 55 mA。心电图门控 CACS 扫描:根据心率自动调整螺距和球管旋转速度,在 R-R 间期 75%用前瞻性心电门控序列对整个心脏图像进行采集。2 种采集方法 CT 图像重建,层厚 5.0 mm,视野 50 cm×50 cm,矩阵 512×512,重建后的图像导入工作站进行分析。SPECT 采集:双探头呈 90°,由右前斜 45°

至右后斜 45°采集 180°,共采集 64 帧,20 s/帧,每个心动周期 16 帧数据,R-R 间期 75%。

3.图像及数据分析。所有原始数据传输到 EBW(2.0)工作站,采用有序子集最大期望值迭代法,分别将 CACS 扫描图像、常规 CT 图像和原始 MPI 图像进行配准,2 种图像间的配准偏差较大时手动调节<sup>[6]</sup>。获得 CACS 和常规 CT 衰减校正的 MPI 图像左心室短轴、水平长轴和垂直长轴心肌图像。

使用定量门控心肌灌注显像 (quantitative perfusion SPECT, QPS) 软件获得 CACS 和常规 CT 衰减校正的 MPI 图像左心室靶心图进行定量分析,将左心室靶心图分为前壁、侧壁、间壁、心尖部和下壁 5 个壁段,计算各壁段显像剂分布的相对百分比<sup>[7]</sup>。

视觉评估分析:由 2 位有经验的核医学医师分别对 2 种方法衰减校正的 MPI 图像进行独立盲法定性分析。参照视觉定性评分系统阅片:1=放射性分布正常,2=放射性分布模糊(疑正常或疑稀疏),3=放射性分布稀疏或缺损<sup>[8]</sup>。

4.统计学处理。采用 IBM SPSS 20.0 软件处理数据。符合正态分布的计量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用配对 *t* 检验比较数据。视觉评估的一致性检验采用加权 *Kappa* 检验:*Kappa* ≤ 0.40,一致性差;0.41~0.60,中度一致性;0.61~0.80,一致性好;0.81~1.00,完全一致。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

### 结 果

受检者典型图像见图 1。CACS 和常规 CT 衰减校正的 MPI 图像左心室各壁(前壁、侧壁、下壁、间壁和心尖部)显像剂分布的相对百分比差异均无统计学意义(*t* 值: -0.782~0.456,均 *P* > 0.05;表 1)。CACS 和常规 CT 衰减校正的 MPI 图像左心室上述各壁视觉评估是否缺血的一致性(总加权 *Kappa* 值)及 95% *CI* 分别为 0.864 (95% *CI*: 0.749~0.979)、0.795 (95% *CI*: 0.717~0.874)、0.494 (95% *CI*: 0.076~0.912)、0.724 (95% *CI*: 0.321~1.000) 和 0.873 (95% *CI*: 0.764~0.982),均 *P* < 0.01。2 位医师对 CACS 衰减校正的 MPI 图像左心室上述各壁是否缺血视觉判读一致性及其 95% *CI* 分别为 0.703 (0.497~0.908)、0.839 (0.744~0.934)、0.855 (0.626~1.000)、0.798 (0.352~1.000)、0.770 (0.569~0.972),均 *P* < 0.01;对常规 CT 衰减校正的 MPI 图像判读相应的一致性及其 95% *CI* 分别为 0.544 (0.268~0.820)、0.746 (0.626~0.866)、0.495 (0.149~0.842)、1、0.904 (0.763~1.000),均 *P* < 0.01。

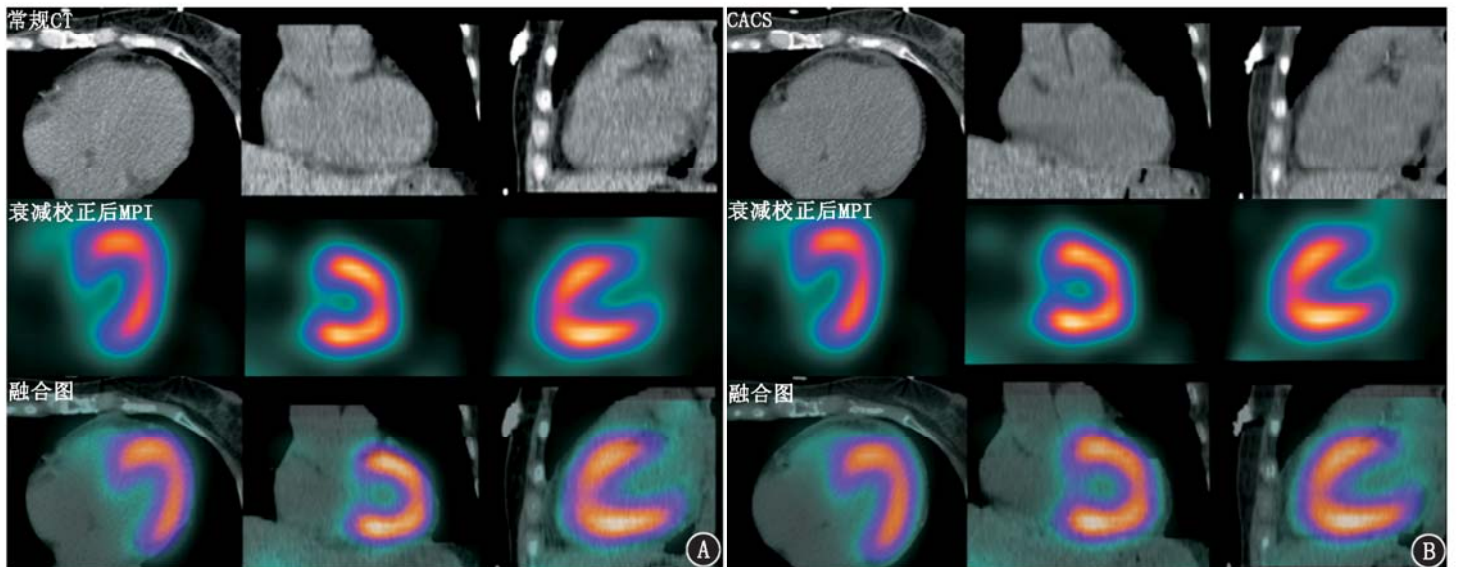


图 1 心前区疼痛就诊患者(男,61 岁)影像学检查图。A.采用常规非门控心肌灌注显像(MPI)衰减校正;B.采用门控心脏冠状动脉钙化积分(CACS)扫描衰减校正。CACS 图像较常规 CT 图像边缘更清晰锐利;常规衰减校正后与 CACS 衰减校正后的 MPI 图像未见明显不同;MPI 与常规 CT(或 CACS 图像)融合过程经手动平移获得良好的配准

表 1 110 例受检者不同衰减校正方法 MPI 图像左心室各壁显像剂分布的相对百分比(%; $\bar{x}\pm s$ )

校正方法	前壁	侧壁	下壁	间壁	心尖
CACS 扫描	75.39±6.01	69.03±6.81	76.98±7.17	65.34±5.79	77.25±9.90
常规 CT	75.61±5.99	69.01±6.82	77.15±7.39	65.32±5.56	77.18±9.99
<i>t</i> 值	-0.782	0.083	-0.701	0.094	0.456
<i>P</i> 值	0.436	0.934	0.485	0.925	0.650

注:CACS 为冠状动脉钙化积分,MPI 为心肌灌注显像

## 讨 论

有研究显示,MPI 异常组 CACS 情况比 MPI 正常组严重;MPI 和 CACS 联合诊断能减少不必要的冠状动脉造影;两者诊断均阳性时,患者多为冠心病,阴性时基本能排除冠心病<sup>[4]</sup>。该研究报道了一种基于 SPECT/CT 平台的一站式钙化积分和 MPI 检查技术,但需独立行 2 次 CT 检查(心电门控 CACS 扫描和常规 CT 衰减校正扫描),导致患者 CT 辐射剂量升高。若心电门控 CACS 扫描图像可用于后续采集 MPI 图像的衰减校正,则既可降低患者的有效辐射剂量,又可评定 CACS,从而提高 MPI 检查的灵敏度。

本研究结果显示,CACS 与常规 CT 衰减校正的 MPI 图像在左心室各室壁显像剂分布的相对百分比间没有差异;视觉评估也显示两者校正的 MPI 图像在左心室前壁、侧壁、间壁和心尖部是否缺血视觉评估的一致性良好;下壁对应的总加权 *Kappa* 值为 0.494,但 2 种方法在下壁视觉评估是否缺血评分中,评分结果相符率为 98.18% (108/110),表明 CACS 进行衰减校正后定性和定量的结果和常规 CT 衰减校正的结果一致。在 CACS 与常规 CT 衰减校

正的 MPI 图像左心室侧壁、间壁和心尖部是否缺血的视觉评估中,2 位医师间视觉判读的一致性良好;虽然常规 CT 衰减校正的 MPI 图像左心室前壁和下壁的加权 *Kappa* 值不高(0.544 和 0.495),但 2 位医师相应视觉评分结果相符率分别为 89.09% (98/110) 和 98.18% (108/110),表明 2 位医师对衰减校正后的 MPI 图像左心室壁视觉判读是否缺血结果一致。

本研究结果和 Schepis 等<sup>[5]</sup>及 Wenning 等<sup>[9]</sup>研究结果一致,但 Schepis 等<sup>[5]</sup>使用非同时非同机 CACS 扫描进行衰减校正,可能会存在患者体位改变导致 CACS 图像和 MPI 图像间的配准错误。有研究提示,CT 图像和 MPI 图像间位置偏差超过 2~3 体素会影响衰减校正,进而导致心肌缺血的诊断结果<sup>[10-11]</sup>。本组受检者均为同一时间进行检查,这会减少体位改变,但校正时发现 CACS 扫描(或常规 CT)与 MPI 图像配准时,仍需手动平移两者图像来减少配准误差。因为 CT 扫描时间远少于 MPI 检查时间,所以在 CT 扫描过程中可屏住呼吸,而在 MPI 过程中则不能;且心脏图像最终位置为 CT 扫描或者 MPI 检查中的平均位置,因此 CT 图像和 MPI 图像间配准仍有误差。研究证实自由呼吸和呼气末屏气比吸气后屏住呼吸对图像的衰减校正更好<sup>[12-13]</sup>,

欧洲核医学学会 SPECT 和 SPECT/CT 核素心肌灌注显像操作指南 2015 年修订版<sup>[14]</sup>亦如此建议,故本研究 2 种校正方法均采用浅而平静的自由呼吸。

有研究显示常规 CT 衰减校正图像的视觉 CACS 和标准 CACS 分级结果一致<sup>[15]</sup>,但心脏搏动会导致非门控图像模糊(图 1A 中的 CT 横断面图),从而影响 CACS 评定;而非门控 CT 扫描会出现扫描间隙导致部分图像丢失,图像模糊和丢失均会影响非门控 CT 的 CACS 评定。因此本研究采用心电门控扫描进行研究。本研究未对所有患者进行负荷心肌显像检查,因此阴性结果较高;但本组数据只是评估 CACS 扫描用于 MPI 图像进行衰减校正的可行性,所以这对本组结果影响不大。

综上,对于需行 CACS 扫描和 MPI 的患者,在一定程度上可通过 SPECT/CT 一站式的检查直接利用 CACS 扫描对 MPI 进行衰减校正,既减少辐射剂量,又可精简流程,并评定 CACS 从而提高 MPI 诊断结果的灵敏度。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Neves PO, Andrade J, Monção H. Coronary artery calcium score: current status[J]. Radiol Bras, 2017, 50(3): 182-189. DOI:10.1590/0100-3984.2015.0235.
- [2] 王建锋,王跃涛,周瑞珏,等.冠状动脉钙化积分对 SPECT 心肌灌注显像诊断冠心病有增益价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(5): 274-278. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.005.  
Wang JF, Wang YT, Zhou RJ, et al. Enhancement with coronary artery calcification score in detection of coronary heart disease by myocardial perfusion SPECT imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(5): 274-278. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.005.
- [3] 薛倩倩,姚稚明,于治国,等.单光子发射断层与透射断层图像融合探查心肌灌注和冠状动脉钙化在老年患者中的临床价值[J].中华老年医学杂志, 2015, 34(3): 238-243. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2015.03.004.  
Xue QQ, Yao ZM, Yu ZG, et al. The clinical value of myocardial perfusion imaging and coronary artery calcification with fusion imaging by acquisition by SPECT/CT in detection of coronary artery disease in elderly patients[J]. Chin J Geriatr, 2015, 34(3): 238-243. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2015.03.004.
- [4] Shao XL, Wang YT, Wang JF, et al. Characteristics of coronary artery calcium and its relationship to myocardial ischemia in Chinese patients with suspected coronary artery disease[J]. Hell J Nucl Med, 2016, 19(2): 105-110. DOI:10.1967/s002449910362.
- [5] Schepis T, Gaemperli O, Koepfli P, et al. Use of coronary calcium score scans from stand-alone multislice computed tomography for attenuation correction of myocardial perfusion SPECT[J]. Eur J Nucl

- Med Mol Imaging, 2007, 34(1): 11-19. DOI:10.1007/s00259-006-0173-8.
- [6] 胡帆,夏晓天,张晓,等.不同处理方法对心肌灌注显像心功能指标的影响[J].中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(9): 564-567. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.009.  
Hu F, Xia XT, Zhang X, et al. Influence of different image processing methods on mensuration of cardiac function in myocardial perfusion imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(9): 564-567. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.009.
- [7] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association[J]. Circulation, 2002, 105: 539-542. DOI:10.1161/hc0402.102975.
- [8] 石洪成.核素心肌灌注显像检查报告书写规范介绍[J].中华核医学杂志, 2009, 29(1): 68-70. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2009.01.028.  
Shi HC. Introduction of the code for the examination of radionuclide myocardial perfusion imaging[J]. Chin J Nucl Med, 2009, 29(1): 68-70. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2009.01.028.
- [9] Wenning C, Rahbar K, Vrachimis A, et al. Myocardial perfusion imaging and coronary calcium scoring with a two-slice SPECT/CT system: can the attenuation map be calculated from the calcium scoring CT scan? [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2013, 40(7): 1069-1076. DOI:10.1007/s00259-013-2360-8.
- [10] Płachcińska A, Włodarczyk M, Drożdż J, et al. Effect of CT misalignment on attenuation-corrected myocardial perfusion SPECT [J]. Nucl Med Rev Cent East Eur, 2015, 18(2): 78-83. DOI:10.5603/NMR.2015.0019.
- [11] 石洪成,姚之丰,陈绍亮,等.双探头 SPECT 心肌灌注显像中位移伪影的实验研究[J].中华核医学杂志, 2003, 23(5): 312-314. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2003.05.021.  
Shi HC, Yao ZF, Chen SL, et al. An experimental study of motion artifacts acquired in myocardial perfusion SPECT with double-head detector[J]. Chin J Nucl Med, 2003, 23(5): 312-314. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2003.05.021.
- [12] Goerres GW, Burger C, Kamel E, et al. Respiration-induced attenuation artifact at PET/CT: technical considerations [J]. Radiology, 2003, 226(3): 906-910. DOI:10.1148/radiol.2263011732.
- [13] Utsunomiya D, Nakaura T, Honda T, et al. Object-specific attenuation correction at SPECT/CT in thorax: optimization of respiratory protocol for image registration [J]. Radiology, 2005, 237(2): 662-669. DOI:10.1148/radiol.2372041387.
- [14] Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C, et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(12): 1929-1940. DOI:10.1007/s00259-015-3139-x.
- [15] Einstein AJ, Johnson LL, Bokhari S, et al. Agreement of visual estimation of coronary artery calcium from low-dose CT attenuation correction scans in hybrid PET/CT and SPECT/CT with standard Agatston score [J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 56(23): 1914-1921. DOI:10.1016/j.jacc.2010.05.057.

(收稿日期:2018-06-28)