

- of non-small cell lung cancer with higher sensitivity for well-differentiated adenocarcinoma. *J Thorac Oncol*, 2008, 3(12): 1427-1432.
- [31] Shibata H, Nomori H, Uno K, et al. ^{11}C -acetate for positron emission tomography imaging of clinical stage IA lung adenocarcinoma: comparison with ^{18}F -fluorodeoxyglucose for imaging and evaluation of tumor aggressiveness. *Ann Nucl Med*, 2009, 23(7): 609-616.
- [32] Higashi K, Ueda Y, Matsunari I, et al. ^{11}C -acetate PET imaging of lung cancer: comparison with ^{18}F -FDG PET and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI SPET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2004, 31(1): 13-21.
- [33] Kaji M, Nomori H, Watanabe K, et al. ^{11}C -acetate and ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography of pulmonary adenocarcinoma. *Ann Thorac Surg*, 2007, 83(1): 312-314.
- [34] Lee SM, Kim TS, Lee JW, et al. Incidental finding of an ^{11}C -acetate PET-positive multiple myeloma. *Ann Nucl Med*, 2010, 24(1): 41-44.
- [35] Sakurai H, Kaji M, Suemasu K. Thymoma of the middle mediastinum: ^{11}C -acetate positron emission tomography imaging. *Ann Thorac Surg*, 2009, 87(4): 1271-1274.
- [36] Shreve PD, Gross MD. Imaging of the pancreas and related diseases with PET carbon-11-acetate. *J Nucl Med*, 1997, 38(8): 1305-1310.

(收稿日期: 2012-10-07)

·综述·

门控心肌灌注显像相位分析在心血管疾病左室机械不同步中的应用

王建锋 王跃涛

【摘要】 左室机械不同步与心功能不全的严重程度密切相关, 准确评估左室机械不同步, 对预测心脏不良事件、指导心脏再同步治疗及预后评估具有重要的临床意义。门控心肌灌注显像(GMPI)相位分析是一项定量评估左室机械不同步的新技术。通过一次 GMPI 检查既可以得到局部心肌血流灌注的定量指标, 同时还能定量分析左室心功能和左室收缩协调性, 在研究心血管疾病左室机械不同步及预后评估中具有广阔的应用前景。该文着重对 GMPI 相位分析在心血管疾病诊疗中的应用进展进行综述。

【关键词】 门控心肌灌注显像; 心血管疾病; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 相位分析; 左室不同步

The application of phase analysis of gated myocardial perfusion imaging to assess left ventricular mechanical dyssynchrony in cardiovascular disease WANG Jian-feng, WANG Yue-tao.

Department of Nuclear Medicine, the Third Affiliated Hospital of Suzhou University (the First People's Hospital of Chang Zhou), Changzhou 213003, China

Corresponding author: WANG Yue-tao, Email: yuetao-w@163.com

【Abstract】 Left ventricular mechanical dyssynchrony is closely related to the severity of cardiovascular disease, it is essential to assess left ventricular mechanical dyssynchrony accurately for early prediction of adverse cardiac events and prognosis assessment of the cardiac resynchronization therapy. As a new technology to assess left ventricular mechanical dyssynchrony, the phase analysis of gated myocardial perfusion imaging (GMPI) can get both quantitative indicators of regional myocardial perfusion, evaluation of regional myocardial viability and scar tissue, as well as quantitative analysis of left ventricular function and left ventricular mechanical synchrony, it has broad application prospects in cardiovascular disease to assess left ventricular mechanical dyssynchrony and prognosis assessment. This

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2013.04.014

作者单位: 213003 常州, 苏州大学附属第三医院(常州市第一人民医院)核医学科

通信作者: 王跃涛(Email: yuetao-w@163.com)

review mainly described the applications of GMPI phase analysis in the cardiovascular disease.

【Key words】 Gated myocardial perfusion imaging; Cardiovascular disease; Tomography, emission-computer, single-photon; Phase analysis; Left ventricular dyssynchrony

心血管疾病是目前危害人类健康的主要疾病之一,给个人、家庭和社会带来了沉重的经济和精神负担。多项研究发现,慢性心力衰竭、冠心病、原发性心肌病等严重心血管疾病通常伴有房室、室间和(或)室内机械不同步,进而导致严重心脏不良事件的发生^[1-2]。近年来,左室机械不同步在心血管疾病诊疗中越来越受重视,一些研究表明,左室机械不同步不仅可用于心脏不良事件的独立预测^[3-4],而且能进行心脏再同步治疗(cardiac resynchronization therapy, CRT)的预后评估^[5-7]。因此,准确评估左室机械不同步,对预测心脏不良事件及 CRT 预后评估具有重要的临床意义。

评价左室机械不同步的常用方法主要有彩色编码组织多普勒成像(tissue doppler imaging, TDI)、MRI 和放射性核素显像等。目前 TDI 应用较为广泛,其优势在于可以评价心脏瓣膜及各室壁运动情况并能获得相关心功能指标,早先美国心脏病学会和美国心脏学会将 TDI 得到的左室机械不同步参数作为 CRT 应答的重要预测因子^[8]。但一项关于预测 CRT 应答的多中心大型临床研究^[9]报告结果并未证实 TDI 评估左室机械不同步参数的准确可靠性,使单纯 TDI 技术在评价左室机械不同步及预测 CRT 疗效方面的价值受到挑战,主要原因是 TDI 的准确率高度依赖于超声医师的技术水平,导致结果可变性大、可重复性差^[10]。MRI 评估左室机械不同步同样具有较高的应用价值^[11],但该检查时间长,且不适于装有心脏起搏装置的患者,所以临床应用较少。门控心肌灌注显像(gated myocardial perfusion imaging, GMPI)是一种既能评价心肌缺血又能同时测定左室功能的影像学诊断技术。近年来,随着 SPECT 心脏处理软件的不断更新,应用相位分析技术评价左室机械不同步的研究引起了众多学者的密切关注,GMPI 相位分析技术已逐步应用于多种心血管疾病诊疗的临床研究中。

1 放射性核素显像相位分析技术背景

1.1 门控心血池显像相位分析

Botvinick 等^[12]在 20 世纪 80 年代初期通过门控

心血池显像观察心脏运动不同步现象,随后越来越多的学者应用门控心血池显像相位分析评价左右心室收缩、舒张活动的协调性。门控心血池显像从相位直方图中可获得反映心脏运动同步性的几种定量参数:相角程(phase shift)、相位角度平均数(mean phase)、相位角度标准差(phase SD)、偏度(skewness)等。其中相位角度平均数与相位角度标准差最能反映心脏运动同步性:比较左、右心室的相位角度平均数可观察室间运动是否同步,若左、右心室的相位角度平均数差别较大,则表明左、右心室运动不同步;相位角度标准差可反映左心室内机械不同步的程度。门控心血池显像临床应用较为成熟,但也存在局限性,门控心血池显像是采用心电图 R 波作为触发信号,因此当患者出现心律不齐时就无法进行图像采集。此外,门控心血池显像相位分析的主要不足在于其 ROI 是在平面图像上进行勾画,因而 ROI 中可能重叠有非心脏组织,导致其准确率明显降低。尽管门控心血池显像在三维图像上勾画 ROI 可以降低重叠效应的影响,在一定程度上可提高准确率,但由于缺少标准程序,可信度低,临床应用较少。

1.2 GMPI 相位分析

GMPI 是一种临床最常用的冠心病诊断技术之一,其在评价心肌缺血的同时,结合心电门控技术能够同时准确测定左心室功能,评价左心室整体或局部的室壁运动和室壁增厚率等。最早由美国 Emory 大学医学院研发的 Emory cardiac Toolbox (ECToolbox)图像分析软件^[13],对 GMPI 采集的数据进行特殊处理,可直接获得左心室室壁运动的相位直方图,通过对相位直方图的计算和分析,能获得反映左心室机械不同步的多种定量参数。Chen 等^[13]应用 ECToolbox 软件对 45 名健康男性和 45 名健康女性进行 GMPI 相位分析,得到 5 个常用定量参数:带宽(即相位直方图的宽度)、相峰(即相位直方图的峰值)、相位标准差(即相位的分布范围)、偏度(即相位直方图的对称性)、峰态(即相位直方图的起始点到峰值的宽度),其定量数值见表 1。该研究还发现,正常人的相位直方图显示为一个窄而尖的

峰, 两侧协调对称; 而伴有左室机械不同步的心衰患者的相位直方图显示的峰相明显增宽且不对称, 其带宽及相位标准差均明显升高。该结论与 van der Veen 等^[14]及 Atchley 等^[15]的研究结果一致, 所以目前认为, 相位分析中的带宽及相位标准差对评价左室机械不同步最为灵敏。随着多种 SPECT 心脏处理软件程序的相继问世和推广(如密歇根大学研制的 Corridor4DM 软件、Cedars-Sinai 医学研究中心研制的 Cedars QGS 软件等^[16-17]), GMPI 相位分析评价左室机械不同步性已成为新兴的重要诊断方法之一。相关研究报道, GMPI 相位分析与 TDI 评价左室机械不同步有较好的一致性, 并且由于 GMPI 相位分析具有标准的数据采集流程和完全自动化的分析软件, 用其评价左室活动的协调性具有较好的可重复性^[18-19]。因此, 应用 GMPI 相位分析技术评价心血管疾病左室机械不同步具有可靠的临床可行性。

表 1 正常男性和女性 GMPI 相位分析定量参数范围 ($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

性别	相峰	相位标准差	带宽	偏度	峰态
男性	134.5±14.3	14.2±5.1	38.7±11.8	4.19±0.68	19.72±7.68
女性	140.2±14.9	11.8±5.2	30.6±9.6	4.60±0.72	23.21±8.16

注: 表中, GMPI 表示门控心肌灌注显像。

2 GMPI 相位分析在心血管疾病诊疗中的应用

2.1 GMPI 相位分析在慢性心力衰竭中的应用

2.1.1 GMPI 相位分析评价慢性心衰患者左室机械不同步

左室机械不同步是导致和加重心衰的重要原因之一, 评价机械不同步的严重程度有助于心衰的诊断、分级与预后判断。van der Veen 等^[14]对 24 例存在严重心衰症状的患者[纽约心脏协会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级 III~IV 级、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) $\leq 35\%$]以及 40 名男性和 40 名女性正常对照者(总心功能评分 < 2 、LVEF 值位于 $55\% \sim 80\%$)行 2 日法运动/静息心肌灌注显像, 并应用 Corridor4DM 软件进行相位分析以评价左室机械不同步, 结果显示: 健康组所得的同步性定量指标在静息及负荷状态下差异无统计学意义, 心衰患者相位分析所得的相位标准差与带宽分别为 $(18.0^\circ \pm 5.2^\circ)$ 、 $(92.2^\circ \pm 11.1^\circ)$, 明显高于正常对照组 $(3.5^\circ \pm 1.4^\circ)$ 、 $(18.2^\circ \pm 6.0^\circ)$ 。Atchley 等^[15]在一项回顾性研究中, 根据左室功能

不全的程度分级, 比较了重度左室功能不全组(169 例, LVEF $\leq 35\%$)、轻-中度左室功能不全组(93 例, LVEF 为 $35\% \sim 50\%$)以及正常对照组(75 例, LVEF $\geq 55\%$)相位分析的定量指标, 得到相位标准差分别为: $52.0^\circ \pm 21.7^\circ$ 、 $37.7^\circ \pm 17.0^\circ$ 及 $8.8^\circ \pm 3.1^\circ$, 带宽分别为: $158.2^\circ \pm 70.5^\circ$ 、 $113.5^\circ \pm 54.5^\circ$ 及 $28.7^\circ \pm 9.3^\circ$ 。通过 GMPI 相位分析可以发现, 心衰患者通常存在严重左室机械不同步, 并且随着心衰患者严重程度增加, 左室运动协调性越来越差, 其相位标准差及带宽表现为逐渐升高, 表明 GMPI 相位分析能准确定量评估慢性心衰患者左室机械不同步的程度, 为今后心衰的诊断、程度分级及治疗方案的制定提供一定的帮助。

2.1.2 GMPI 相位分析在慢性心衰患者 CRT 中的应用

CRT 可明显改善心衰患者的症状、心功能、运动耐量及左室重构。美国心脏病学会、美国心脏学会和北美心脏起搏电生理学学会指南中明确了 CRT 的指征^[20]: NYHA 心功能分级 III~IV 级、LVEF $\leq 35\%$, 心电图 QRS 间期 ≥ 120 ms, 窦性心律。但临床随访结果发现, 30%~40%患者经 CRT 后并无改善^[21-22]。如何提高 CRT 疗效、减少无应答是目前亟需解决的问题。有学者^[23]认为, 指南中 QRS 间期 ≥ 120 ms 提示室间心电不同步, 并不能准确反映左室机械不同步, 而左室机械不同步对 CRT 的影响最大。因此, 合理选择适合 CRT 的人群至关重要。先前的研究主要集中于超声技术评价左室机械不同步的程度, 近年来, GMPI 相位分析在 CRT 中的应用已备受关注^[24-25]。Boogers 等^[26]对 40 例符合指南标准的严重心衰患者术前分别进行 GMPI 及 TDI 检查, 治疗后 6 个月随访 NYHA 心功能分级及进行 6 min 行走试验和生活质量评分, 其中 24 例(60%)有效, 16 例(40%)无效。研究发现, 有效组和无效组 CRT 术前 GMPI 相位分析中, 有效组相位标准差和带宽明显大于无效组(相位标准差: $26^\circ \pm 6^\circ$, $18^\circ \pm 5^\circ$; 带宽: $94^\circ \pm 23^\circ$, $68^\circ \pm 21^\circ$), 且差异有统计学意义。该研究同时发现, 受试者操作特征曲线显示当带宽截断值为 72.5° (灵敏度为 83%, 特异度为 81%)、相位标准差截断值为 19.6° (灵敏度为 83%, 特异度为 81%)时, GMPI 相位分析对预测慢性心衰患者 CRT 疗效有较好的价值。另一项类似研究则显示, 当带宽截断值为 135° (灵敏度和特异度均为 70%)、相位标准差为 43° (灵敏

度和特异度均为 74%)时, GMPI 相位分析对预测患者 CRT 疗效有较好的价值^[27]。上述研究均显示, GMPI 相位分析可对 CRT 的疗效预测及术前患者的筛选提供重要参考价值。此外, CRT 治疗时, 最理想的左室起搏位置应该是患者心脏收缩最延迟的部位, 如何准确判断左室最晚激动部位、避开瘢痕组织、选择左室电极植入的最佳位置同样是影响 CRT 效果的关键。关于通过 SPECT 指导左室导线植入最佳部位的 CRT 患者的疗效是否优于常规植入的 CRT 患者, 目前尚缺乏前瞻性、多中心研究, 这也是今后研究的重点。

2.2 GMPI 相位分析在冠心病中的应用

冠心病患者左室心肌局部形变能力及同步性多表现为异常, GMPI 作为诊断冠心病常用技术之一, 不仅能够评价心肌血流灌注情况, 还能动态分析局部室壁运动、室壁增厚的程度、定量收缩末室壁厚度和心肌机械收缩起始时间, 并用直方图判断心脏同步性。Horigome 等^[28]的一项研究中, 对经冠状动脉造影证实的 18 例冠心病患者(冠状动脉狭窄>75%)及 18 例无明显冠状动脉狭窄的患者均行腺苷负荷和静息 GMPI, 应用 Cedars QGS 软件进行相位分析, 结果发现冠心病组腺苷负荷后的最大差异-收缩末期时间和最大差异-高峰充盈时间比静息时明显延长, 表明冠心病患者行腺苷负荷后病变部位出现机械不同步, 比静息状态时更为明显, 表现为收缩和舒张功能的不协调。Murrow 等^[29]应用 GMPI 相位分析对 ST 段抬高型心肌梗死患者左室机械不同步的有效性进行了研究, 对 28 例患者经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)术前及术后 6 个月均行 GMPI 相位分析评估左室机械同步性, 结果发现: PCI 术前患者的相位标准差及带宽($35.3^{\circ}\pm 16.9^{\circ}$ 、 $100.3^{\circ}\pm 70.7^{\circ}$)均较正常对照者($7.9^{\circ}\pm 2.1^{\circ}$ 、 $26.5^{\circ}\pm 5.3^{\circ}$)明显升高, 且患者术后左室同步性较术前明显改善, 相位标准差及带宽均明显降低。由此表明, 心肌梗死患者存在着严重的左室机械不同步, 通过 GMPI 相位分析既可以定量诊断也能进行 PCI 术后疗效评估。方晓燕等^[30]对 13 例冠心病患者进行实时三维超声心动图(real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE)与 GMPI 评价冠心病患者左室收缩同步性的相关性研究发现, RT-3DE 的参数左室 16 节段达最小容积时间标准差(Tmsv16-SD)与

GMPI 参数相位标准差、带宽具有很高的相关性($r_{BW}=0.847$, $r_{SD}=0.890$, P 均 <0.001)。基于上述研究发现, GMPI 相位分析在冠心病患者中能较灵敏地检测左室机械不同步, 可为临床诊断及治疗提供更科学更合理的依据, 但目前研究的例数均较少, 有待进一步扩大样本量以得出更可靠的结论。

2.3 GMPI 相位分析在原发性心肌病中的应用

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)因左室壁心肌肥厚的分布不均一性, 常伴有各室壁节段的收缩舒张不同步, 进而造成左室顺应性降低, 快速充盈时间延长, 等容时间延长等病理表现^[31]。Nagakura 等^[32]研究一组不伴有束支传导阻滞的 HCM 患者, 发现普遍存在左室机械不同步, 且这种不同步与心电传导异常无关, 而与心肌非对称性肥厚相关。一项应用磁共振观察 HCM 患者室壁运动的研究也证实, HCM 左室同步性显著低于与之年龄匹配的正常人^[33]。应用 GMPI 相位分析准确评价 HCM 患者左室机械同步性具有较高的研究价值。Matsuo 等^[34]研究 63 例行 CRT 药物抵抗性 HCM 患者的左室机械同步性, 结果证实 GMPI 相位分析可以准确反映 HCM 患者 CRT 后左室机械不同步的改善情况, 认为 GMPI 相位分析可以用于 HCM 患者预后评估。Chen 等^[35]研究 GMPI 相位分析评价 32 例 HCM 患者行酒精消融术(alcohol septal ablation, ASA)前后左室同步性的变化, 观察 ASA 术前、术后的相位带宽、相位标准差以及间-侧壁收缩延迟指数(septal-lateral delay, SLD)等定量指标来评价左室运动同步性的变化, 结果证实: ASA 能明显降低 HCM 患者左室间壁收缩延迟并显著提高左室运动同步性, 表现为 HCM 患者 ASA 术后带宽、相位标准差($10.3^{\circ}\pm 5.0^{\circ}$ 、 $35.6^{\circ}\pm 14.7^{\circ}$)均明显低于术前($17.9^{\circ}\pm 7.3^{\circ}$ 、 $52.9^{\circ}\pm 16.40^{\circ}$)。

Fauchier 等^[36]应用门控心血池显像技术对 103 例原发性扩张型心肌病(idiopathic dilated cardiomyopathy, IDCM)患者进行左室运动同步性的大样本研究, 结果证实: IDCM 患者普遍存在左室机械不同步, 其左室带宽较正常组明显升高, 并且该研究通过多变量分析得出, 左室机械不同步是 IDCM 患者心脏不良事件的独立预测因素。Henneman 等^[24]研究 26 例 IDCM 患者的 GMPI 相位分析定量数据与左室机械不同步的相关性, 结果发现, 其带宽及相位标准差与左室机械不同步具有较高的相关性, 表

现为 IDCM 患者的带宽及相位标准差均明显升高。

3 结语与展望

综上所述, GMPI 相位分析是一项定量评估左室机械不同步的新技术, 在心血管疾病中展现了广阔的应用前景。通过一次 GMPI 检查既可以得到局部心肌血流灌注定量指标评价心肌血供及瘢痕组织, 同时还能评估左室功能和左室机械不同步的情况, 可广泛应用于左室机械不同步的诊断及指导 CRT 应用。但目前仍有以下问题亟待解决: ①目前 GMPI 相位分析所得定量数据尚缺乏统一的标准来界定左室机械不同步; ②GMPI 相位分析对 CRT 患者术前筛选及术后疗效评估的应用价值已逐步被临床证实, 但如何合理利用 GMPI 指导左室电极植入最佳部位, 目前尚缺乏前瞻性、多中心研究; ③GMPI 相位分析在其他心血管疾病诊疗中的应用尚未全面开展。

参 考 文 献

- [1] Lee PW, Zhang Q, Yip GW, et al. Left ventricular systolic and diastolic dyssynchrony in coronary artery disease with preserved ejection fraction. *Clin Sci*, 2009, 116(6): 521-529.
- [2] Takahashi N, Yamamoto A, Tezuka S, et al. Assessment of left ventricular dyssynchrony during development of heart failure by a novel program using ECG-gated myocardial perfusion SPECT. *Circ J*, 2008, 72(3): 370-377.
- [3] Pazhenkottil AP, Buechel RR, Husmann L, et al. Long-term prognostic value of left ventricular dyssynchrony assessment by phase analysis from myocardial perfusion imaging. *Heart*, 2011, 97(1): 33-37.
- [4] Aljaroudi WA, Hage FG, Hermann D, et al. Relation of left-ventricular dyssynchrony by phase analysis of gated SPECT images and cardiovascular events in patients with implantable cardiac defibrillators. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(3): 398-404.
- [5] Bax JJ, Marwick TH, Molhoek SG, et al. Left ventricular dyssynchrony predicts benefit of cardiac resynchronization therapy in patients with end-stage heart failure before pacemaker implantation. *Am J Cardiol*, 2003, 92(10): 1238-1240.
- [6] van Bommel RJ, Bax JJ, Abraham WT, et al. Characteristics of heart failure patients associated with good and poor response to cardiac resynchronization therapy: a PROSPECT(Predictors of Response to CRT)sub-analysis. *Eur Heart J*, 2009, 30(20): 2470-2477.
- [7] Dauphin R, Nonin E, Bontemps L, et al. Quantification of ventricular resynchronization reserve by radionuclide phase analysis in heart failure patients: a prospective long-term study. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2011, 4(2): 114-121.
- [8] Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, et al. ACC/AHA 2005 guideline update for the diagnosis and management Of chronic heart failure in the adult: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force Oil Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management Of Heart Failure). *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46(6): e1-82.
- [9] Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, et al. Results of the Predictors of Response to CRT(PROSPER)Trial. *Circulation*, 2008, 117(20): 2608-2616.
- [10] Yu CM, Bax JJ, Gorcsan J 3rd. Critical appraisal of methods to assess mechanical dyssynchrony. *Curr Opin Cardiology*, 2009, 24(1): 18-28.
- [11] Westenberg JJ, Lamb HJ, vander Geest RJ, et al. Assessment of left ventricular dyssynchrony in patients with conduction delay and idiopathic dilated cardiomyopathy: head-to-head comparison between tissue doppler imaging and velocity-encoded magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2006, 47(10): 2042-2048.
- [12] Botvinick E, Dunn R, Fraix M, et al. The phase image: its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation*, 1982, 65(3): 551-560.
- [13] Chen J, Garcia EV, Folks RD, et al. Onset of left ventricular mechanical contraction as determined by phase analysis of ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging: development of a diagnostic tool for assessment of cardiac mechanical dyssynchrony. *J Nucl Cardiol*, 2005, 12(6): 687-695.
- [14] van der Veen BJ, Al Younis I, Ajmone-Marsan N, et al. Ventricular dyssynchrony assessed by gated myocardial perfusion SPECT using a geometrical approach: a feasibility study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2012, 39(3): 421-429.
- [15] Atchley AE, Trimble MA, Samad Z, et al. Use of phase analysis of gated SPECT perfusion imaging to quantify dyssynchrony in patients with mild-to-moderate left ventricular dysfunction. *J Nucl Cardiol*, 2009, 16(6): 888-894.
- [16] Ficaro EP, Lee BC, Kritzman JN, et al. Corridor4DM: The Michigan method for quantitative nuclear cardiology. *J Nucl Cardiol*, 2007, 14(4): 455-465.
- [17] Germano G, Kavanagh PB, Slomka PJ, et al. Quantitation in gated perfusion SPECT imaging: the Cedars-Sinai approach. *J Nucl Cardiol*, 2007, 14(4): 433-454.
- [18] Trimble MA, Velazquez EJ, Adams GL, et al. Repeatability and reproducibility of phase analysis of gated single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging used to quantify cardiac dyssynchrony. *Nucl Med Commun*, 2008, 29(4): 374-381.
- [19] Lin X, Xu H, Zhao X, et al. Repeatability of left ventricular dyssynchrony and function parameters in serial gated myocardial perfusion SPECT studies. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(5): 811-816.
- [20] Epstein AE, DiMarco JP, Ellenbogen KA, et al. ACC/AHA/HRS 2008 Guidelines for Device-Based Therapy of Cardiac Rhythm

- Abnormalities: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the ACC/AHA/NASPE 2002 Guideline Update for Implantation of Cardiac Pacemakers and Antiarrhythmia Devices) developed in collaboration with the American Association for Thoracic Surgery and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*, 2008, 117(21): e350-408.
- [21] Bax JJ, Abraham T, Barold SS, et al. Cardiac resynchronization therapy: Part 2-issues during and after device implantation and unresolved questions. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 46(12): 2168-2182.
- [22] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 慢性心力衰竭诊断治疗指南. *中华心血管病杂志*, 2007, 35(12): 1076-1095.
- [23] Suffoletto MS, Dohi K, Cammesson M, et al. Novel speckle-tracking radial strain from routine black-and-white echocardiographic images to quantify dyssynchrony and predict response to cardiac resynchronization therapy. *Circulation*, 2006, 113(7): 960-968.
- [24] Henneman MM, Chen J, Ypenburg C, et al. Phase analysis of gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography compared with tissue Doppler imaging for the assessment of left ventricular dyssynchrony. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 49(16): 1708-1714.
- [25] Trimble M, Borges-Neto S, Smallheiser S, et al. Evaluation of left ventricular mechanical dyssynchrony as determined by phase analysis of ECG-gated myocardial perfusion SPECT imaging in patients with left ventricular dysfunction and conduction disturbances. *J Nucl Cardiol*, 2007, 14(3): 298-307.
- [26] Boogers MM, Van Kriekinge SD, Henneman MM, et al. Quantitative gated SPECT-derived phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT detects left ventricular dyssynchrony and predicts response to cardiac resynchronization therapy. *J Nucl Med*, 2009, 50(5): 718-725.
- [27] Henneman MM, Chen J, Dibbets-Schneider P, et al. Can LV dyssynchrony as assessed with phase analysis on gated myocardial perfusion SPECT predict response to CRT?. *J Nucl Med*, 2007, 48(7): 1104-1111.
- [28] Horigome M, Yamazakib K, Ikeda U, et al. Assessment of left ventricular dyssynchrony in patients with coronary artery disease during adenosine stress using ECG-gated myocardial perfusion single-photon emission computed tomography. *Nucl Med Commun*, 2010, 31(10): 864-873.
- [29] Murrow J, Esteves F, Galt J, et al. Characterization of mechanical dyssynchrony measured by gated single photon emission computed tomography phase analysis after acute ST-elevation myocardial infarction. *J Nucl Cardiol*, 2011, 18(5): 912-919.
- [30] 方晓燕, 孙敏敏, 石洪成, 等. 斑点追踪显像、实时三维超声心动图与门控心肌灌注 SPECT 显像评价左心室收缩同步性的相关性研究. *中华超声影像学杂志*, 2011, 20(10): 833-837.
- [31] Plehn G, Vormbrock J, Meissner A, et al. Effects of exercise on the duration of diastole and on interventricular phase differences in patients with hypertrophic cardiomyopathy: relationship to cardiac output reserve. *J Nucl Cardiol*, 2009, 16(2): 233-243.
- [32] Nagakura T, Takeuchi M, Yoshitani H, et al. Hypertrophic cardiomyopathy is associated with more severe left ventricular dyssynchrony than is hypertensive left ventricular hypertrophy. *Echocardiography*, 2007, 24(7): 677-684.
- [33] Mishiro Y, Oki T, Iuchi A, et al. Regional left ventricular myocardial contraction abnormalities and asynchrony in patients with hypertrophic cardiomyopathy evaluated by magnetic resonance spatial modulation of magnetization myocardial tagging. *Jpn Circ J*, 1999, 63(6): 442-446.
- [34] Matsuo S, Sato Y, Nakae I, et al. Evaluation of cardiac resynchronization therapy in drug-resistant dilated-phase hypertrophic cardiomyopathy by means of Tc-99m sestamibi ECG-gated SPECT. *Ann Nucl Med*, 2006, 20(9): 643-647.
- [35] Chen J, Nagaraj H, Bhambhani P, et al. Effect of alcohol septal ablation in patients with hypertrophic cardiomyopathy on left-ventricular mechanical dyssynchrony as assessed by phase analysis of gated SPECT myocardial perfusion imaging. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2012, 28(6): 1375-1384.
- [36] Fauchier L, Marie O, Casset-Senon D, et al. Interventricular and intraventricular dyssynchrony in idiopathic dilated cardiomyopathy: a prognostic study with fourier phase analysis of radionuclide angioscintigraphy. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 40(11): 2022-2030.

(收稿日期: 2012-10-29)