

·论著·

ECToolbox 软件 4 种公式计算左心室射血分数的比较分析

魏之星 王嵩 苏晓丽 王燕 王磊 秦伟 苏丽杏

【摘要】目的 比较爱莫瑞心脏工具箱(ECToolbox)4种公式(R0、R1、R2、R3)计算心电图门控核素心肌灌注 SPECT(G-MPS)左心室射血分数(LVEF)与平衡法核素心室造影(ERNV)所得结果的相关性和一致性,并判断4种公式所得结果的诊断阈值。**方法** 选取63例患者,其中,23例有心肌梗死病史,40例为可疑冠心病患者。同一患者在一周内完成 ^{99m}Tc -MIBI静息态G-MPS和 ^{99m}Tc -红细胞ERNV,用ECToolbox软件中的R0、R1、R2、R3公式分别计算LVEF,将计算结果与ERNV结果进行对比分析,并以后者所得的LVEF $\geq 50\%$ 作为标准,通过受试者操作特征曲线判断R0~R34个公式的最佳诊断阈值。**结果** ERNV得到的LVEF的平均值为 $55.41\% \pm 17.49\%$,R0~R34种公式得到的LVEF分别为 $63.75\% \pm 16.63\%$ 、 $55.87\% \pm 15.99\%$ 、 $69.22\% \pm 18.83\%$ 、 $56.32\% \pm 14.47\%$ 。4种公式所得结果与ERNV所得结果具有较强的相关性(r 均 >0.95 , P 均 <0.01);4种公式计算的LVEF平均值均高于ERNV的LVEF平均值,其中,R0和R2公式所得结果与ERNV结果的差异具有统计学意义($t=15.775$ 和 21.525 , P 均 <0.01);R1和R3公式所得结果与ERNV结果的差异无统计学意义($t=0.848$ 和 1.448 , $P>0.05$)。以ERNV的LVEF $\geq 50\%$ 作为正常诊断值,R0~R3公式所得LVEF的最佳诊断阈值分别为56.5%、51.5%、64.5%和52.5%。**结论** 用于G-MPS的ECToolbox的4种公式与ERNV计算的LVEF具有较强的相关性,但LVEF平均值有差异,同一患者在随访过程中应采用同一个公式进行计算,用于诊断心功能时,每个公式应选用不同的阈值。

【关键词】 每搏输出量;门控血池显像;ECToolbox软件

Comparison of the four formulas of software ECToolbox for the assessment of left ventricular ejection fraction with the equilibrium radionuclide ventriculography WEI Zhi-xing, WANG Song, SU Xiao-li, WANG Yan, WANG Lei, QIN Wei, SU Li-xing. Department of Radiology, the Affiliated Longhua Hospital of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200032, China
Corresponding author: WANG Song, Email: wangson0829@sina.com

【Abstract】 Objective To compare the correlation and consistency of left ventricular ejection fraction(LVEF) obtained by electrocardiography gated myocardial perfusion SPECT(G-MPS) using the four formulas(R0-R3) in Emory cardiac toolbox(ECToolbox) software and by equilibrium radionuclide ventriculography(ERNV), and determine the optimal diagnostic thresholds of the four formulas. **Methods** Sixty-three patients, including 23 patients with a history of myocardial infarction and 40 patients with suspected coronary heart disease, underwent both ^{99m}Tc -MIBI rest G-MPS and ^{99m}Tc labeled red blood cell ERNV within a week. The LVEF values calculated by R0, R1, R2 and R3 formulas of ECToolbox were compared with those obtained by ERNV. Using LVEF $\geq 50\%$ obtained by ERNV as the gold standard, the optimal diagnostic thresholds of the four formulas(R0-R3) were assessed by receiver operating characteristic(ROC) curve. **Results** The mean LVEF of ERNV was $55.41\% \pm 17.49\%$. The mean LVEF values of the four formulas were $63.75\% \pm 16.63\%$, $55.87\% \pm 15.99\%$, $69.22\% \pm 18.83\%$ and $56.32\% \pm 14.47\%$, respectively. On correlation analysis, a strong positive correlation was observed between LVEF values derived by ERNV and those derived by the four formulas(all $r>0.95$, all $P<0.01$). The differences of

LVEF were statistically significant between ERNV and the two formulas R0 and R2 ($t=15.775$ and 21.525 , both $P<0.01$), while between ERNV and the two formulas R1 and R3 ($t=0.848$ and 1.448 , both $P>0.05$). Normal cutoff values for LVEF on R0, R1, R2, R3 were 56.5%, 51.5%, 64.5% and 52.5% respectively, using a 50% or more cutoff value on ERNV. **Conclusions** A strong correlation was observed among the four formulas of ECToolbox software programs when compared with ERNV. However, there are subtle differences in the objective values of LVEF generated by individual calculation methods, which must be taken into account for clinical studies.

【Key words】 Stroke volume; Gated blood-pool imaging; ECToolbox software

心肌灌注 SPECT 在临床中的应用日益增多, 已成为心脏病诊断的重要工具, 心电图门控核素心肌灌注 SPECT (gated myocardial perfusion SPECT, G-MPS) 通过一次显像可以评价左室心肌的灌注情况, 同时还可以通过软件定量分析左心室的功能。爱莫瑞心脏工具箱 (Emory cardiac toolbox, ECToolbox) 是计算左心室功能最常用的软件之一, 新版本的 ECToolbox 提供了 R0、R1、R2、R3 4 种计算公式, 这 4 种公式计算出的左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 结果存在一定差异, 如何确定这 4 种公式的适用性, 目前仅见汪太松等^[1]关于 R0、R1、R3 公式的比较报道, 尚未见 4 种公式的研究报道。本文通过 ECToolbox 软件这 4 种公式测定的 LVEF 分布与平衡法核素心室造影 (equilibrium radionuclide ventriculography, ERNV) 获得的 LVEF 进行比较分析, 以确定 R0~R3 公式计算的 LVEF 阈值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2012 年 5 月至 12 月同时进行 G-MPS 和 ERNV 的患者 63 例, 其中, 男性 36 例、女性 27 例, 年龄 39~82 岁, 平均年龄 (62.5 ± 10.7) 岁。其中 23 例有心肌梗死病史, 40 例为可疑冠心病患者。所有患者进行 G-MPS 和 ERNV 的检查时间不超过一周。所有患者均于检查前签署了知情同意书。3 周内急性心肌梗死或不稳定性心绞痛、30 d 内行冠状动脉重建手术、瓣膜反流的患者不在本研究范围内。

1.2 主要仪器和显像剂

采用德国 SIMENS 公司 ECAM 双探头 SPECT/CT 仪采集图像, 矩阵为 64×64 , 配低能高分辨率准直器。显像剂为上海欣科医药有限公司生产的 ^{99m}Tc -MIBI、 ^{99m}Tc -红细胞、 ^{99m}Tc -O₄ 淋洗液。

1.3 ^{99m}Tc -MIBI 门控心肌显像

静脉注射 ^{99m}Tc -MIBI 740 MBq, 60 min 后行静息 G-MPS。采用德国 SIMENS 公司 ECAM 双探头 SPECT/CT 仪采集图像, 矩阵为 64×64 , 配低能高分辨率准直器。以心电图 R 波触发门电路同步采集, 探头旋转 180° , 每 3° 采集 1 个体位, 每个心动周期分为 8 帧, 每个体位采集 20 s。图像重建采用有序子集最大期望值法, 断层图像重建采用 Butterworth 滤波, 截止频率和陡度因子分别为 0.4 和 10。

1.4 ^{99m}Tc -红细胞 ERNV

静脉注射焦磷酸盐 20 min 后, 再静脉注射 ^{99m}Tc -O₄ 淋洗液 740 MBq, 待显像剂混合平衡后行 ERNV。采用德国 SIMENS 公司 ECAM 双探头 SPECT/CT 仪采集图像, 矩阵为 64×64 , 每个心动周期采集 16 帧, 选左前斜 45° 计算 LVEF。

1.5 图像处理和分析

采集的图像在 Xeleris 工作站 (3.0 版) 进行图像处理和分析。G-MPS 图像计算 LVEF 使用 ECToolbox 软件 (3.1 版) 中的 R0~R3 4 种公式分别计算, ERNV 图像计算 LVEF 使用 Xeleris 工作站提供的 ERNV 分析程序进行计算, 并将 ERNV 所获得的 $\text{LVEF}\geq 50\%$ 者视为正常。

1.6 重复性检验

随机选择 4 例患者的 G-MPS 和 ERNV 图像, 由 1 名医师采用盲法进行 5 次重复处理, 分析其一致性。

1.7 统计学方法

采用 SPSS 18.0 软件包进行统计学分析。所有数据采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 观察者的一致性采用变异系数 (coefficient of variation, CV) 表示, 相关性分析采用 Pearson 检验, R0~R3 计算所得 LVEF 的阈值以 ERNV 所得的 $\text{LVEF}\geq 50\%$ 作为参考, 通过受试者操作特征 (receiver operating characteristic, ROC)

曲线分析获得 R0~R3 4 个公式所得的每个 LVEF 的灵敏度和特异度, 分别计算 4 个公式所得 LVEF 的灵敏度和特异度之和, 以和为最大值时的 LVEF 作为各个公式的阈值。

2 结果

2.1 ECToolbox 软件的重复性

观察者重复计算的 LVEF, 结果显示其一致性较好, CV 均<5%(表 1)。

2.2 ECToolbox 与 ERNV 计算的 LVEF 比较

ECToolbox 4 种公式计算出的 LVEF 分别与

ERNV 所得 LVEF 进行相关性分析, R0~R3 与 ERNV 所得结果的相关性系数较高($r=0.971$ 、 0.971 、 0.963 和 0.969 , P 均 <0.01)(图 1)。但 R0~R3 各公式计算所得的 LVEF 平均值 ($63.75\% \pm 16.63\%$ 、 $55.87\% \pm 15.99\%$ 、 $69.22\% \pm 18.83\%$ 、 $56.32\% \pm 14.47\%$) 与 ERNV 计算所得的 LVEF 平均值 ($55.41\% \pm 17.49\%$) 存在不同程度的差异(图 2), 其中, R0 和 R2 所得 LVEF 与 ERNV 所得 LVEF 的差异具有统计学意义 ($t=15.775$ 和 21.525 , P 均 <0.01), R1 和 R3 所得 LVEF 与 ERNV 所得 LVEF 的差异无统计学意义 ($t=0.848$ 和 1.448 , P 均 >0.05)。如图 2 所示, R0

表 1 一名医师对 4 例患者采用 ECToolbox 4 种公式盲法重复计算 LVEF 的结果[$(\bar{x} \pm s)\%$]

患者	R0	CV	R1	CV	R2	CV	R3	CV	ERNV	CV
1	73.3±1.3	1.77%	65.4±0.9	1.38%	82.6±1.7	2.06%	64.4±1.5	2.33%	67.1±1.4	2.09%
2	64.5±1.1	1.71%	56.7±1.3	2.29%	71.2±1.4	1.97%	57.3±1.2	2.09%	61.6±0.9	1.46%
3	51.8±0.7	1.35%	43.4±1.3	3.00%	55.2±1.2	2.17%	45.8±0.8	1.75%	45.1±1.1	2.44%
4	36.9±1.2	3.25%	29.7±0.8	2.69%	37.5±1.5	4.00%	32.1±1.2	3.74%	34.5±0.8	2.32%

注: 表中, ECToolbox: 爱莫瑞心脏工具箱; LVEF: 左心室射血分数; CV: 变异系数; ERNV: 平衡法核素心室造影。

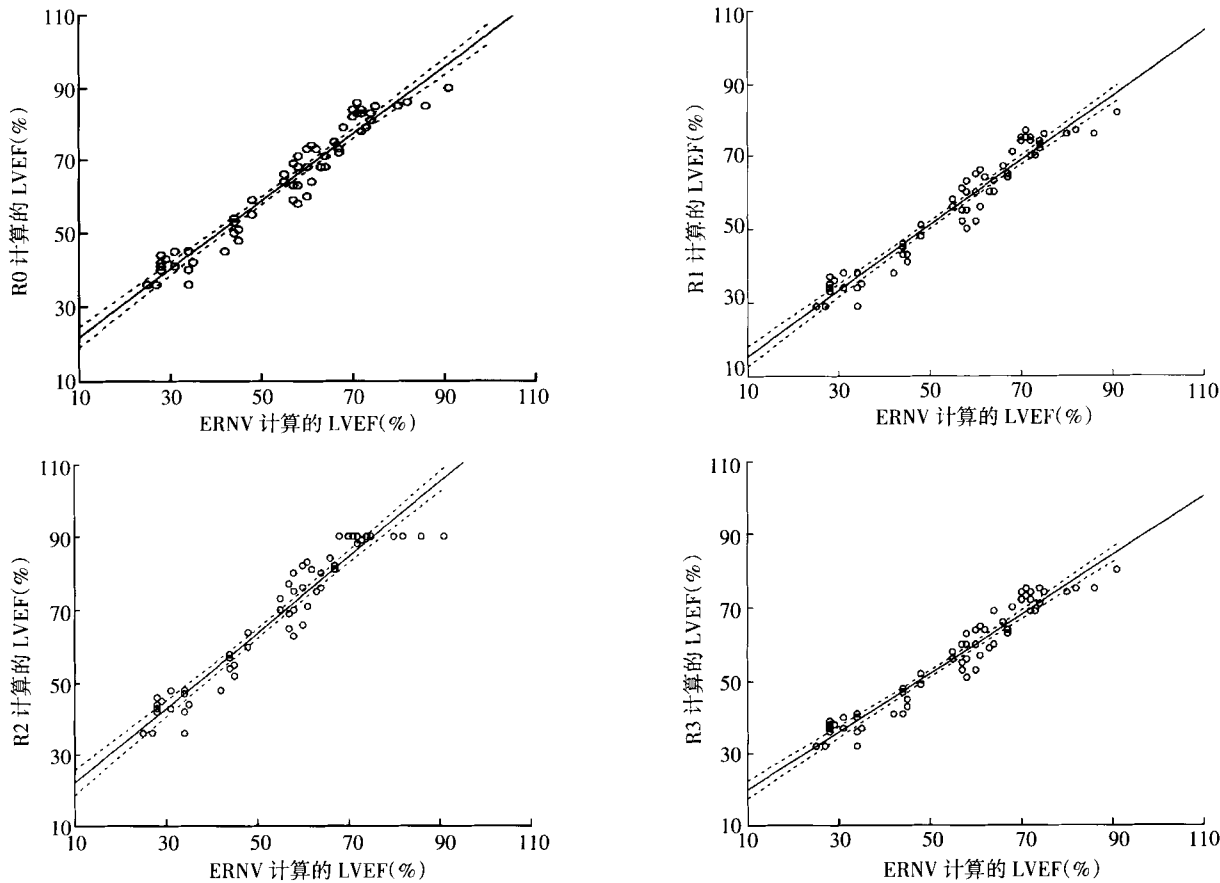


图 1 63 例患者采用 ECToolbox 的 R0~R3 4 种公式计算的 LVEF 与 ERNV 计算的 LVEF 的相关性分析图 图中, ECToolbox: 爱莫瑞心脏工具箱; LVEF: 左心室射血分数; ERNV: 平衡法核素心室造影。

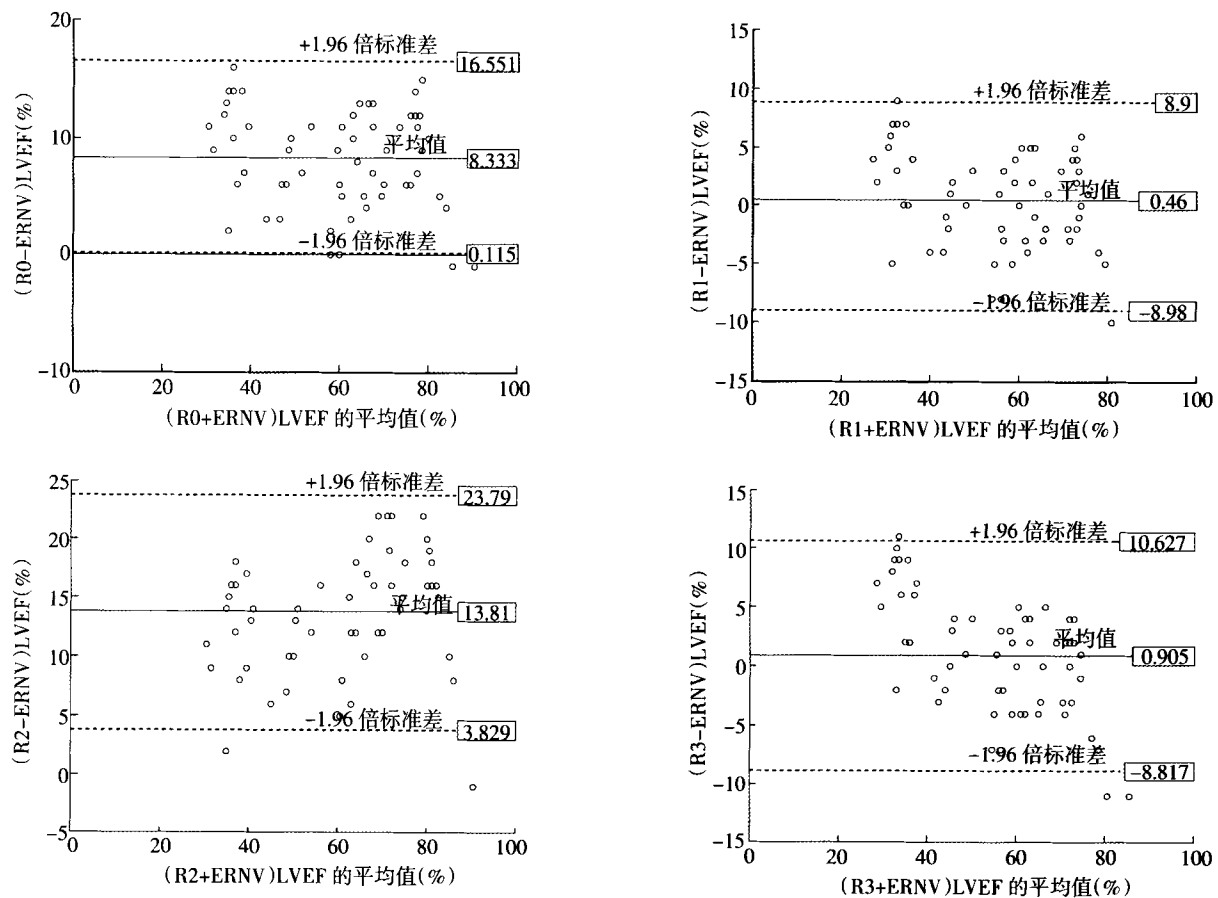


图2 63例患者采用ECToolbox的R0~R3 4种公式计算的LVEF与ERNV计算的LVEF差值的比较 图中, (R0~R3-ERNV)LVEF表示R0~R3计算的LVEF与ERNV计算的LVEF的差值, (R0~R3+ERNV)LVEF的平均值表示R0~R3计算的LVEF与ERNV计算的LVEF的平均值; ECToolbox: 爱莫瑞心脏工具箱; LVEF: 左心室射血分数; ERNV: 平衡法核素心室造影。

和R2与ERNV的LVEF差值的平均值分别为8.33和13.81, 平均值-1.96倍标准差大于零; R1和R3与ERNV的LVEF差值的平均值接近零, 分别为0.46和0.91。

2.3 ECToolbox 4个公式获得的LVEF阈值的评估

以ERNV的LVEF $\geq 50\%$ 作为标准, 通过ROC曲线分析, 得到ECToolbox的R0~R3 4个公式的最佳阈值分别为56.5%、51.5%、64.5%和52.5%, 以此阈值作为诊断参考值, 其灵敏度和特异度见表2。

3 讨论

LVEF在心脏病的诊断、治疗和预后中有着重要的价值, G-MPS能提供心肌血流信息和左心室功能参数, 对临床心脏疾病的诊断、治疗和预后判断有重要意义。ECToolbox软件是计算G-MPS的LVEF最常用的软件之一, 它把左心室假设成一个

表2 ECToolbox的R0~R3 4种公式计算LVEF的最佳阈值及其灵敏度和特异度(%)

公式	阈值	灵敏度	特异度
R0	56.5	100	95.7
R1	51.5	97.5	100
R2	64.5	97.5	100
R3	52.5	97.5	100

注: 表中, ECToolbox: 爱莫瑞心脏工具箱; LVEF: 左心室射血分数。

半球和圆柱体的三维混合体, 根据收缩末和舒张末的心肌最大放射性计数, 利用傅里叶分析来计算室壁增厚率, 并设定左心室舒张末室壁厚度为10 mm, 根据室壁增厚率来计算心内外膜的半径, 从而确定左心室心内外膜边界, 计算左心室的功能参数^[2-3]。

最初Faber等^[4]的研究表明, ECToolbox自动勾画左心室心内外膜的成功率为96%, 且其与磁

共振现象和首次通过法心室造影的相关性较好。之后,研究报道了 ECToolbox 计算的左心室功能参数与 MRI 的结果具有较好的相关性^[5-7],并且与 ERNV 的结果也具有较好的相关性^[8-10]。但由于 ECToolbox 假定左心室舒张末室壁厚度为 10 mm,当发生左心室室壁瘤或心肌肥厚等室壁变薄或变厚时就会出现误差,研究发现与心脏 MRI 或心血池显像相比,ECToolbox 均高估了 LVEF^[5,8]。这些研究中计算 LVEF 所用的方法均为 ECToolbox 的原始公式 R0,新版本的 ECToolbox 增加了 R1~R3 3 个校正公式。

ECToolbox 的 4 个公式中,R0 是根据心脏模型所建立的原始公式,R1~R3 分别是 R0 的回归等式,R1 和 R3 是基于 ECToolbox 和希德-西奈定量门控 SPECT(quantitative gated SPECT, QGS)程序计算的 LVEF 对比而得到的,其中 R1 是根据每个心动周期 8 帧的 QGS 图像进行校正的,R3 是根据每个心动周期 16 帧的 QGS 图像进行校正的,其计算 LVEF 的等式分别为 $y=0.96x-0.53$ 和 $y=0.885x+0.0173$;而 R2 是基于 ECToolbox 与 ERNV 比较而得到的,其计算 LVEF 的等式为 $y=1.22x-0.072$ 。在临床应用中发现这 4 个公式计算出的 LVEF 具有较大差异,且对于这 4 个公式的研究报道较少^[1]。本研究用这 4 种公式分别计算 LVEF,以 ERNV 计算值作为金标准,观察 4 种公式的适用性,确定 4 种公式的最佳诊断阈值,结果表明 4 种公式的计算值与 ERNV 的计算值均呈正相关,配对 t 检验结果显示 4 种公式计算的 LVEF 均高于 ERNV 的计算值,其中,R0 和 R2 与 ERNV 的差异具有统计学意义;R1 和 R3 的计算值接近于 ERNV 的计算值,其差异无统计学意义。以 ERNV 计算的 LVEF $\geq 50\%$ 作为正常值,通过 ROC 曲线判断 4 种公式的灵敏度和特异度,结果发现 4 个公式均有较高的灵敏度和特异度。但仍有少部分患者的 LVEF 被高估了,进一步分析 4 个公式的最佳阈值,结果显示分别为 56.5%、51.5%、64.5%和 52.5%。说明了这 4 种公式的计算值不能随意使用,在同一患者的疗效随访过程中,需使用同一公式的计算值进行比较,且在给出诊断报告时,应注明所用公式的参考阈值,不能将阈值统一

义为常规的 50%。

参 考 文 献

- [1] 汪太松,赵晋华,邢岩. ECToolbox 软件计算左心室射血分数的适用性. 中国医学影像技术, 2010, 26(2): 330-332.
- [2] Garcia EV, Santana CA, Faber TL, et al. Comparison of the diagnostic performance for detection of coronary artery disease (CAD) of their program (QPS) with that of the Emory Cardiac Toolbox (ECTb) for automated quantification of myocardial perfusion. J Nucl Cardiol, 2008, 15(3): 476-478.
- [3] Kakhki VR, Zakavi SR, Sadeqhi R. Comparison of two software in gated myocardial perfusion single photon emission tomography, for the measurement of left ventricular volumes and ejection fraction, in patients with and without perfusion defects. Hell J Nucl Med, 2007, 10(1): 19-23.
- [4] Faber TL, Cooke CD, Folks RD, et al. Left ventricular function and perfusion from gated SPECT perfusion images: an integrated method. J Nucl Med, 1999, 40(4): 650-659.
- [5] Wang F, Zhang J, Fang W, et al. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction by gated SPECT and cardiac MRI in patients with dilated cardiomyopathy. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2009, 36(10): 1611-1621.
- [6] Gutberlet M, Mehl S, Fröhlich M, et al. Determination of ventricular volumes in coronary artery disease: comparison of two gated SPECT analysis tools with MRI. Nuklearmedizin, 2006, 45(2): 63-73.
- [7] Tsuboi K, Fuse H, Sasaki M. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction by gated myocardial perfusion SPECT versus cardiac MRI. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2011, 67(10): 1304-1313.
- [8] Ballal S, Patel CD, Singla S, et al. Comparison of software programs for the assessment of left ventricular ejection fraction using ^{99m}Tc -tetrofosmin-gated SPECT/CT: correlation with equilibrium radionuclide ventriculography in the Indian population. Nucl Med Commun, 2012, 33(11): 1160-1168.
- [9] Kiratli PO, Bozkurt MF. Assessment of cardiac parameters using gated myocardial perfusion and echocardiography in children. Cardiol Young, 2009, 19(1): 53-59.
- [10] Harisankar CN, Mittal BR, Kamaleswaran KK, et al. Reliability of left ventricular ejection fraction calculated with gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography in patients with extensive perfusion defect. Nucl Med Commun, 2011, 32(6): 503-507.

(收稿日期: 2013-01-05)