

临床研究

延迟增强磁共振显像对冠状动脉旁路移植术后
心功能改善的预测价值*

杨滔, 陆敏杰, 孙寒松**, 唐跃, 潘世伟, 赵世华**

摘要

目的: 探讨延迟增强磁共振显像(DE-MRI)对冠心病心功能不全患者行冠状动脉旁路移植术(CABG)后心功能改善的预测价值。

方法: 2009-11 至 2011-11, 35 例合并心功能不全的陈旧性心肌梗死患者在 CABG 术前行 DE-MRI 检查, CABG 术后 6 个月再次行 DE-MRI 检查评价心功能改善情况, 同时行电子计算机 X 射线断层血管造影检查以了解桥血管通畅情况。

结果: 最终纳入 31 例患者进行分析(4 例患者因桥血管闭塞而排除)。整体心功能改善的患者共 22 例, 未改善的患者 9 例。单因素分析显示: 受累节段、存活心肌节段、瘢痕心肌节段以及延迟增强(DE)评分是影响患者心功能改善的危险因素。而多因素 Logistic 回归分析则显示瘢痕心肌节段数是预测患者心功能改善的唯一独立影响因素(比值比=6.097, 95% 可信区间: 1.066~34.866, $P=0.042$)。受试者工作特征曲线显示瘢痕心肌节段 ≤ 4 可很好地预测患者心功能改善, 敏感性和特异性分别为 95.5% 和 88.9%。

结论: 基于 DE-MRI 检查的瘢痕心肌节段数能够预测冠心病心功能不全患者行 CABG 术后的心功能改善, 有待于进一步大样本研究。

关键词 心肌梗死; 延迟增强磁共振显像; 冠状动脉旁路移植术

Predictive Value of Delayed-enhancement Magnetic Resonance Imaging for Measuring the Improvement of Cardiac Function in Patients With Coronary Artery Bypass Grafting

YANG Tao, LU Min-jie, SUN Han-song, TANG Yue, PAN Shi-wei, ZHAO Shi-hua.

Department of Cardiovascular Surgery, Cardiovascular Institute and Fu Wai Hospital, CAMS and PUMC, Beijing (100037), China

Co-corresponding Author: SUN Han-song, Email: drsunhs@sina.com and ZHAO Shi-hua, Email: cjr.zhaoshihua@vip.163.com

Abstract

Objective: To evaluate the predictive value of delayed-enhancement magnetic resonance imaging (DE-MRI) for measuring the improvement of cardiac function in patients with coronary artery disease (CAD) combining heart failure (HF) after coronary artery bypass grafting (CABG).

Methods: A total of 35 CAD patients combining HF were examined by DE-MRI before receiving CABG, and they were re-examined at 6 months after CABG by DE-MRI and computed tomography angiography (CTA) in our hospital from 2009-11 to 2011-11 to evaluate the improvement of cardiac function and the graft patency.

Results: There were 31 patients enrolled for analysis, 4 excluded for graft failure. 22 patients had the global functional improvement and 9 remained the same. Univariate analyses demonstrated that spatial extent, the number of viable segments and scar segments, DE score were the independent risk factors affecting the improvement of cardiac

* 基金项目: 国家自然科学基金(81130029, 81000604; 81370036, 81071199); 首都卫生发展科研专项基金(2009-1004); 协和青年基金和中央高校基本科研业务费专项基金(3332013105); 阜外科研新星基金(2012-FWXX01)

作者单位: 100037 北京市, 北京协和医学院 中国医学科学院 国家心血管病中心 阜外心血管病医院 成人心脏外科中心(杨滔、孙寒松、唐跃、潘世伟); 放射科(陆敏杰、赵世华)

作者简介: 杨滔 博士研究生 主要从事心血管病外科临床研究 Email: ytt_419@163.com ** 共同通讯作者: 孙寒松 Email: drsunhs@sina.com 赵世华 Email: cjr.zhaoshihua@vip.163.com

中图分类号: R541 文献标识码: A 文章编号: 1000-3614 (2014) 02-0115-05 doi: 10.3969/j.issn.1000-3614.2014.02.010

function. Multivariate logistic regression analysis indicated that the number of scar segments was the only independent predictor for global functional improvement (OR=6.097, 95% CI 1.066–34.866, $P=0.042$). The receiver operator characteristic analysis showed that the number of scar segments ≤ 4 may effectively predict the global functional recovery with a sensitivity and specificity of 95.5% and 88.9%, respectively.

Conclusion: The number of scar segments based on DE-MRI detection for predicting the improvement of cardiac function in CAD patients with HF after CABG needs further investigation in large group of patients.

Key words Myocardial infarction; Delayed-enhancement magnetic resonance imaging; Coronary artery bypass grafting (Chinese Circulation Journal, 2014;29:115.)

冠状动脉旁路移植术 (CABG) 已被证明可以改善冠心病心肌梗死所致心功能不全患者的症状及长期预后^[1,2], 已有研究表明术后心功能的改善与心肌梗死后存活心肌所占的比例有关^[3-6]。因此, 检测心肌梗死存活心肌的多少, 可以直接指导外科血运重建术的临床应用。目前用于检测存活心肌的无创性方法很多, 主要包括多巴酚丁胺负荷超声试验、单光子发射型计算机断层显像、正电子发射型计算机断层显像 (PET)、磁共振显像 (MRI) 等。其中, 延迟强化磁共振显像 (Delayed-enhancement magnetic resonance imaging, DE-MRI) 是评估心脏解剖、功能的“金标准”, 且具有独特的高空间和软组织分辨率以及经济、方便、无辐射等优势, 因而备受国内外研究者青睐^[7,8]。而对对比剂钆喷酸葡胺的应用则进一步提高了心脏 MRI 在冠心病心肌梗死诊断中的应用价值。既往研究着重强调了存活心肌与心功能改善的相关性^[4-6,9], 鲜有通过瘢痕心肌的多少来预测冠心病心功能不全患者行 CABG 术后心功能改善的报道。本研究团队对 35 例陈旧性心肌梗死患者行单纯 CABG, 并于术前和术后 6 个月行 DE-MRI 检查, 以评价 DE-MRI 对该类患者术后心功能改善的预测价值。

1 资料与方法

一般资料:2009–11 至 2011–11 期间, 我们对符合要求的 35 例因心肌梗死而致心功能不全的患者行 CABG 术。纳入标准:明确的心肌梗死病史, 梗死时间 ≥ 3 个月;静息超声心动图或左心室造影检查发现节段性室壁运动异常;MRI 测得左心室射血分数 (LVEF) $< 50\%$ ^[10,11];纽约心功能 (NYHA) 分级 \geq II 级。排除标准:不稳定性心绞痛;心肌病及合并瓣膜病;严重充血性心力衰竭;MRI 禁忌证 (金属异物置入及幽闭恐怖症等)。所有患者均于术前 1 周内行超声心动图 (静息) 及 DE-MRI 检查, 并于术后

6 个月再次接受 DE-MRI 检查。此外, 所有患者于术后 6 个月行电子计算机 X 射线断层扫描血管造影检查以了解桥血管通畅情况。本研究得到医院伦理委员会的批准, 所有患者均签署知情同意。

影像学方法:① MRI 扫描:1.5 T 超导 MRI 成像仪 (Avanto, 德国西门子), 最大梯度场 45 mT/m, 采用 6 通道心脏线圈和 6 通道脊柱线圈。心电门控采用 MRI 兼容的无线矢量心电门控板。常规扫描包括采用黑血序列即半傅立叶采集单次激发快速自旋回波序列 (HASTE) 观察心脏的形态结构。心血管电影采用亮血序列, 为回顾性心电门控真实稳态自由进动梯度回波序列 (Truefisp), 分别行左心室两腔心长轴、四腔心长轴、左心室流出道切面及 6~8 层左心室短轴电影 (层间距 6 mm)。左心室短轴电影至少包括二尖瓣、乳头肌及心尖部 3 个水平。扫描参数:重复时间 (repetition time, TR):2.7 ms, 回波时间 (echo time, TE):1.3 ms, 翻转角 70° , 矩阵:192 \times 156, 视野 (field of view, FOV):300~380 mm, 反转时间 (inversion time, TI):260~300 ms, 层厚 6 mm。对比剂延迟增强心肌首过灌注则以 0.1 mmol/kg, 4~5 ml/s 流率注射对比剂 (Gd-DTPA), 完成后追加 20 ml 生理盐水, 注射与扫描同时开始, 采用前瞻性时间调整敏感度编码梯度回波序列 (TSENSE EPI GRE)。灌注完成后立即以 2 ml/s 的流率追加 0.1~0.15 mmol/kg 的对比剂钆喷酸葡胺, 同时追加 20 ml/s 生理盐水, 10~15 min 后行相位敏感反转恢复 (PSIR) T1 加权像扫描, 从左心室基底段到心尖部, 包括 (8 \pm 2) 层左心室短轴切面, 左心室两腔心切面及四腔心切面各一层。扫描参数:TR:700 ms, TE:3.4 ms, 翻转角 25° , 矩阵:256 \times 162。②图像分析:本研究采用美国心脏协会所建议的 17 节段分析法^[12], 将节段心肌延迟强化程度分为 5 个等级进行半定量评分:0 分:无强化, 1 分:0%~25% 强化, 2 分:26%~50% 强化, 3 分:51%~75% 强化, 4 分:76%~100% 强化。对左心室室壁运动异常按 4 等级进行半定量评分:0 分:运动正常, 1 分:运动减低, 2 分:无运动, 3

分: 矛盾运动。手工描记左心室舒张末期及收缩末期的室壁轮廓, 计算机辅助计算出左心室相关功能参数, 包括左心室收缩末期容积 (LVESV)、左心室舒张末期容积 (LVEDV)、左心室射血分数 (LVEF)、左心室收缩末期容积指数 (LVESVI) 和左心室舒张末期容积指数 (LVEDVI)。为了量化坏死心肌或是存活心肌, 方便比较, 我们依据文献定义以下指标^[13]: ①受累节段: 有延迟强化的节段数; ②存活心肌节段: 延迟增强 (DE) 评分为 1 或 2 分的节段; ③瘢痕心肌节段: DE 评分为 3 或 4 分的节段 (本文分为瘢痕心肌节段 ≤ 4 和 ≥ 5); ④ DE 评分: 所有节段的 DE 评分分值之和。全部图像由两名不了解临床资料的放射科高年资主治医师分别独立分析, 不一致的结果由第三名副主任或主任医师分析确定。术后 6 个月复查 MRI 时节段运动评分提高 ≥ 1 分即认为该节段运动有改善, 而 LVEF 增加 (Δ LVEF) $\geq 5\%$ 则认为该患者的心功能有改善 (即 Δ LVEF $\geq 5\%$ 组), Δ LVEF $< 5\%$ 则认为患者的心功能没有明显改善 (即 Δ LVEF $< 5\%$ 组)^[14-17]。

统计学方法: 采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析。计量资料采用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 计数资料采用绝对值或百分比表示。计量资料采用独立样本 t 检验, 计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法。首先对术前术中 20 多个临床或 MRI 参数进行单因素分析, 以 $P \leq 0.10$ 为标准筛选出有意义的变量进一步做 Logistic 多因素回归分析, 找出影响心功能改善的危险因素。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

患者的临床资料及术前 DE-MRI 资料 (表 1): 所有数据分析基于 31 例患者 (余 4 例因桥血管闭塞而排除在本研究之外), 其中男性 27 例, 女性 4 例, 平均年龄 (58.2 ± 8.2) 岁。CABG 术后整体心功能改善 (Δ LVEF $\geq 5\%$) 的患者共 22 例 (为 Δ LVEF $\geq 5\%$ 组), 未改善 (Δ LVEF $< 5\%$) 的患者有 9 例 (为 Δ LVEF $< 5\%$ 组)。由表 1 可见两组患者的术前和术中临床资料间比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 两组患者在 MRI 功能参数方面比较, 差异也均无统计学意义 ($P > 0.05$); 但在心肌延迟强化方面, Δ LVEF $\geq 5\%$ 组的瘢痕心肌节段明显小于 Δ LVEF $< 5\%$ 组 [(2.6 ± 1.6)

vs (5.6 ± 1.2), $P < 0.001$] 和 Δ LVEF $\geq 5\%$ 组 DE 评分明显小于 Δ LVEF $< 5\%$ 组 [(18.6 ± 8.0) vs (28.1 ± 5.5), $P < 0.01$], 两组比较差异均有统计学意义。

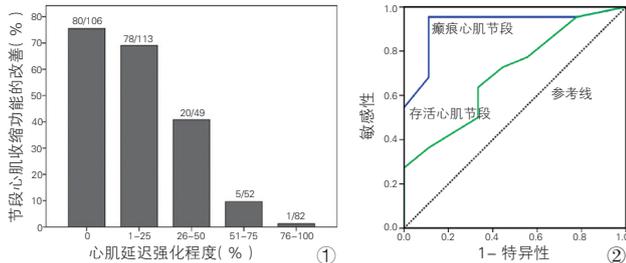
表 1 31 例患者的临床及延迟强化磁共振显像资料 ($\bar{x} \pm s$)

变量	Δ LVEF $\geq 5\%$ 组 (n=22)	Δ LVEF $< 5\%$ 组 (n=9)	P 值
年龄 (岁)	58.2 \pm 8.8	58.0 \pm 6.7	0.945
男性 [例 (%)]	19 (86.4)	8 (88.9)	1.000
高血压 [例 (%)]	10 (45.5)	5 (55.6)	0.704
糖尿病 [例 (%)]	10 (45.5)	2 (22.2)	0.418
高脂血症 [例 (%)]	16 (72.7)	7 (77.8)	1.000
冠心病家族史 [例 (%)]	7 (31.8)	5 (55.6)	0.253
吸烟者 [例 (%)]	17 (77.3)	6 (66.7)	0.660
冠心病变狭窄 $> 50\%$ [例 (%)]			
两支病变	6 (27.3)	2 (22.2)	
三支病变	16 (72.7)	7 (77.8)	1.000
纽约心功能分级 III/IV [例 (%)]	6 (27.3)	2 (22.2)	1.000
手术时间 (min)	243.2 \pm 79.9	222.8 \pm 60.7	0.498
机械通气时间 (h)	20.2 \pm 11.3	16.0 \pm 5.8	0.298
住院时间 (天)	9.0 \pm 1.8	8.6 \pm 3.2	0.594
远端吻合口数量	3.3 \pm 0.9	3.1 \pm 1.1	0.596
非体外循环冠状动脉旁路移植术 [例 (%)]	11 (50.0)	4 (44.4)	1.000
心脏功能参数			
左心室射血分数 (%)	34.2 \pm 9.7	35.6 \pm 11.7	0.740
左心室舒张末期直径 (mm)	59.7 \pm 7.6	57.9 \pm 7.3	0.553
左心室舒张末期容量指数 (ml/m ²)	101.2 \pm 31.1	92.0 \pm 27.9	0.451
左心室收缩末期容量指数 (ml/m ²)	66.8 \pm 30.3	61.1 \pm 31.1	0.644
心肌延迟强化 (个)			
受累节段	8.9 \pm 3.3	11.3 \pm 3.8	0.085
存活心肌节段	7.1 \pm 3.7	4.7 \pm 2.5	0.080
瘢痕心肌节段	2.6 \pm 1.6	5.6 \pm 1.2	< 0.001
延迟强化评分	18.6 \pm 8.0	28.1 \pm 5.5	0.003

图像分析结果: 我们共分析了 527 个心脏节段, 其中 402 个节段 (76.3%) 术前被认定为运动不良, 295 个节段 (56.0%) 有一定程度的 DE。CABG 术后 6 个月时, 184 (80+78+20+5+1) / 402 (106+113+49+52+82) 个节段 (45.8%) 显示出了一定程度的运动改善。对于运动不良的心肌节段, 其 DE 程度与血运重建术后该节段心肌收缩功能的改善呈负性关系 ($P < 0.001$)。图 1

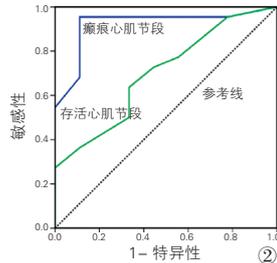
心功能改善情况: 将表 1 中的所有变量进行单因素分析, 以 $P \leq 0.10$ 为标准筛选出有意义的变量进一步做多因素回归分析。结果显示, Δ LVEF $\geq 5\%$ 组与 Δ LVEF $< 5\%$ 组间对心功能改善有意义 (即 $P \leq 0.10$) 的因素分别是受累节段、存活心肌节段、瘢痕心肌节段以及 DE 评分。然后将以上四个变量作为自变量, 以整体心功能改善与否作为应变量, 纳入 Logistic 多因素回归分析, 发现仅瘢痕心肌节段 (比值比 = 6.097, 95% 可信区间 1.066~34.866, $P = 0.042$) 是整体心功能改善与未改善的唯一独立影响因子 (表 2)。另外, 患者瘢痕心肌

节段 ≤ 4 可以很好地预测整体心功能的改善, 敏感性为 95.5%, 特异性为 88.9%。受试者工作特征曲线显示: 瘢痕心肌和存活心肌曲线下面积 (AUC) 分别为 (0.92 vs 0.70, $P < 0.001$, 图 2), 所以瘢痕心肌比存活心肌能更准确地预测心功能改善。



注: 冠状动脉旁路移植术后 6 个月节段心肌收缩功能的改善与该节段心肌的延迟强化程度呈负性关系

图 1 节段心肌的延迟强化程度与心肌收缩功能关系



注: 瘢痕心肌与存活心肌预测患者术后心功能改善的受试者工作特征曲线比较

图 2 受试者工作特征曲线

法具有较高的敏感性和特异性。

早在 2000 年, Kim 等^[6]就发现, 延迟强化可清晰地显示瘢痕心肌的透壁程度, 且血运重建术后节段心肌收缩功能的改善与该节段 DE 程度之间呈明确的负相关, 我们的研究也证实了这一点。此外, Klein 等^[18]对 31 例缺血性心肌病患者行 DE-MRI 检查, 以 PET 为金标准进行对照, 发现 DE-MRI 技术检测坏死心肌的敏感性和特异性分别为 96% 和 100%, 这充分体现了 DE-MRI 技术诊断心肌瘢痕的可靠性。而 Fieno 等^[19]也认为心脏 DE-MRI 检查与 2% 红四氮唑染色在识别瘢痕心肌方面具有良好的一致性。本研究中, 62% 的无 DE 的运动不良心肌节段于术后恢复了收缩功能, 而 Kim 等^[6]和 Selvanayagam 等^[20]研究则发现这一比例分别为 78% 和 82%, 节段恢复比例较低的原因可能是本组患者的术前心功能更差, 有更多的运动不良的心肌节段及瘢痕组织, 因此节段心肌恢复的比例也不高。

先前的研究已经证实整体心功能的改善基于患者存活心肌数量的多少。Bax 等用多巴酚丁胺负荷超声发现, 患者存活心肌节段 ≥ 4 时心功能可以顺利恢复, 敏感性和特异性分别为 84% 和 81%; Slart 等用 PET 证实存活心肌节段 ≥ 3 时整体心功能即可改善, 敏感性和特异性分别为 87% 和 85%。目前, 多数研究将冠心病心功能不全患者再血管化后心功能改善与否归因于存活心肌的多少, 而鲜有关于瘢痕心肌影响患者心功能改善的报道。我们的研究则发现瘢痕心肌比存活心肌在预测心功能改善方面更加准确, 这是因为单独用存活心肌来预测心功能改善忽略了正常心肌节段对整体心功能的影响, 且运动不良的瘢痕心肌可以累及周围正常心肌组织, 牵制其运动, 故瘢痕心肌对心功能改善的影响举足轻重。

本研究之所以应用 DE-MRI 作为评价心脏功能与心肌瘢痕的唯一影像学检查方法, 一方面是因为相比较单光子发射型计算机断层显像、PET、以及临床上常用的超声心动图而言, MRI 已然成为评价心脏解剖和功能的“金标准”, 且它具有独特的高空间和软组织分辨率, 具有经济、方便、无辐射等优势^[5,6]。另一方面, 对比剂钆的应用则进一步提高了心脏 MRI 在冠心病陈旧性心肌梗死中的诊断价值, 延迟强化可以清楚地显示心肌梗死区域的瘢痕化组织, 而本课题的主要研究目的就是根据瘢痕心肌的多少来预测心功能的改善与否。对于瘢痕心肌节段 ≤ 4 的患者, 无论其左心室的整体功能亦或几何形

MRI 参数对比结果: 31 例患者中, 瘢痕心肌节段 ≤ 4 者 22 例, 瘢痕心肌节段 ≥ 5 者 9 例。瘢痕心肌节段 ≤ 4 者术后 6 个月时磁共振显像各参数较术前均有明显改善, 且差异有统计学意义 (P 均 < 0.001); 而瘢痕心肌节段 ≥ 5 者则无明显上述改善。表 3

表 2 Logistic 多因素分析冠状动脉旁路移植术后心功能改善的影响因素

多因素分析	比值比	95% 可信区间	P 值
受累节段	1.355	0.743~2.469	0.322
存活心肌节段	0.857	0.533~1.379	0.525
瘢痕心肌节段	6.097	1.066~34.866	0.042
延迟强化评分	0.788	0.520~1.195	0.263

表 3 31 例患者冠状动脉旁路移植术前与术后 6 个月时 (瘢痕心肌节段) 的磁共振显像功能参数对比 ($\bar{x} \pm s$)

	术前	术后 6 个月	P 值
≤ 4 瘢痕心肌节段 (n=22)			
左心室射血分数 (%)	35.8 \pm 9.2	48.9 \pm 9.9	<0.001
左心室舒张末期直径 (mm)	58.9 \pm 7.1	52.5 \pm 6.6	<0.001
左心室舒张末期容量指数 (ml/m ²)	96.5 \pm 26.2	74.1 \pm 21.1	<0.001
左心室收缩末期容量指数 (ml/m ²)	61.4 \pm 24.5	39.8 \pm 18.6	<0.001
≥ 5 瘢痕心肌节段 (n=9)			
左心室射血分数 (%)	31.8 \pm 12.2	34.0 \pm 10.4	0.073
左心室舒张末期直径 (mm)	59.8 \pm 8.8	57.6 \pm 8.3	0.149
左心室舒张末期容量指数 (ml/m ²)	103.4 \pm 39.3	94.2 \pm 30.3	0.053
左心室收缩末期容量指数 (ml/m ²)	74.6 \pm 41.1	63.8 \pm 30.5	0.061

3 讨论

本研究证实了利用心脏 DE-MRI 技术所得的瘢痕心肌节段数是冠心病心功能不全患者行 CABG 后心功能改善与否的唯一独立影响因素, 且该诊断方

态, 均有显著改善。而瘢痕心肌节段 ≥ 5 的患者, 心功能和左室容积虽有轻微的改善, 却未达到统计学意义。Senior 等^[14]的研究证实, 任何程度的左室形态的逆重塑都可能使患者的生存获益。依据我们的经验, MRI 检查发现心肌大量 DE 的患者, CABG 还是可以改善其症状并提高 LVEF 的, 但是这种轻微的获益对于这部分患者长期预后的影响仍不得而知。Schinkel 等^[16]指出评估存活心肌的影像学检查大多有相对较高的敏感性(81%~93%), 而特异性却较低(58%~80%)。非存活心肌节段的错误识别, 不完全再血管化, 术后桥血管闭塞, 左心室几何形态的改变以及瘢痕心肌牵拉周围组织等均可导致低特异性识别。

综上所述, 基于 DE-MRI 的瘢痕心肌节段数可以很好地预测心肌梗死伴心功能不全患者 CABG 后的心功能改善。尽管如此, 本研究样本数相对偏少, 研究范围较窄, 随访时间仍然不够, 这些均会对最终的结论产生一定影响, 且瘢痕心肌是否真的比存活心肌具有更好的预测心功能改善的价值也需要临床大规模随机对照研究去证实。

参考文献

- [1] 胡盛寿, 吴清玉, 宋云虎, 等. 非体外循环下的冠状动脉旁路移植术-101 例临床经验体会. 中国循环杂志, 2000, 4: 198-200.
- [2] Alderman EL, Fisher LD, Litwin P, et al. Results of coronary artery surgery in patients with poor left ventricular function (cass). *Circulation*, 1983, 68: 785-795.
- [3] 姜睿, 胡盛寿, 田月琴, 等. 局部心肌存活状态与冠状动脉旁路移植术后远期心血管事件的关系. 中国循环杂志, 2009, 1: 24-27.
- [4] Gerber BL, Darchis J, le Polain de Waroux JB, et al. Relationship between transmural extent of necrosis and quantitative recovery of regional strains after revascularization. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3: 720-730.
- [5] Gerber BL, Rousseau MF, Ahn SA, et al. Prognostic value of myocardial viability by delayed-enhanced magnetic resonance in patients with coronary artery disease and low ejection fraction: Impact of revascularization therapy. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59: 825-835.
- [6] Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med*, 2000, 343: 1445-1453.
- [7] Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, et al. Accef/acr/aha/nasci/scmr 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: A report of the american college of cardiology foundation task force on expert consensus documents. *Circulation*, 2010, 121: 2462-2508.
- [8] Kim HW, Farzaneh-Far A, Kim RJ. Cardiovascular magnetic resonance in patients with myocardial infarction: Current and emerging applications. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 55: 1-16.
- [9] Slart RH, Bax JJ, van Veldhuisen DJ, et al. Prediction of functional recovery after revascularization in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction by gated fdg-pet. *J Nucl Cardiol*, 2006, 13: 210-219.
- [10] Wu YW, Huang PJ, Lee CM, et al. Assessment of myocardial viability using f-18 fluorodeoxyglucose/tc-99m sestamibi dual-isotope simultaneous acquisition spect: Comparison with tl-201 stress-reinjection spect. *J Nucl Cardiol*, 2005, 12: 451-459.
- [11] Bingham SE, Hachamovitch R. Incremental prognostic significance of combined cardiac magnetic resonance imaging, adenosine stress perfusion, delayed enhancement, and left ventricular function over preimaging information for the prediction of adverse events. *Circulation*, 2011, 123: 1509-1518.
- [12] 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. *Circulation*, 2002, 105: 539-542.
- [13] Kelle S, Roes SD, Klein C, et al. Prognostic value of myocardial infarct size and contractile reserve using magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54: 1770-1777.
- [14] Senior R, Lahiri A, Kaul S. Effect of revascularization on left ventricular remodeling in patients with heart failure from severe chronic ischemic left ventricular dysfunction. *Am J Cardiol*, 2001, 88: 624-629.
- [15] Wu YW, Tadamura E, Yamamuro M, et al. Comparison of contrast-enhanced mri with (18)f-fdg pet/201tl spect in dysfunctional myocardium: Relation to early functional outcome after surgical revascularization in chronic ischemic heart disease. *J Nucl Med*, 2007, 48: 1096-1103.
- [16] Schinkel AF, Poldermans D, Elhendy A, et al. Assessment of myocardial viability in patients with heart failure. *J Nucl Med*, 2007, 48: 1135-1146.
- [17] Schinkel AF, Poldermans D, Rizzello V, et al. Why do patients with ischemic cardiomyopathy and a substantial amount of viable myocardium not always recover in function after revascularization? *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2004, 127: 385-390.
- [18] Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, et al. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: Comparison with positron emission tomography. *Circulation*, 2002, 105: 162-167.
- [19] Fieno DS, Kim RJ, Chen EL, et al. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging of myocardium at risk: Distinction between reversible and irreversible injury throughout infarct healing. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36: 1985-1991.
- [20] Selvanayagam JB, Kardos A, Francis JM, et al. Value of delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization. *Circulation*, 2004, 110: 1535-1541.

(收稿日期: 2013-10-28)

(编辑: 梅平)