

· 论著 ·

ceCMR与PET评价冠状动脉慢性完全闭塞病变患者心肌活性的对比研究

栗佳男¹, 董薇², 贺毅³, 张丽君³, 米宏志², 张东风¹, 黄榕翀⁴, 宋现涛¹, 吕树铮¹

【摘要】目的 比较正电子发射断层显像(PET)与延迟强化心脏磁共振成像(ceCMR)评价冠状动脉慢性完全闭塞病变(CTO)患者的心肌活性。**方法** 77例CTO患者在1周内同时行CMR与PET检查。通过17节段法对CMR图像进行分析,对延迟强化透壁程度进行评分:1分(0%),2分(1%~25%),3分(26%~50%),4分(51%~75%),5分(76%~100%),对室壁运动进行评分1分(运动正常),2分(运动减弱),3分(无运动),4分(反向运动)。PET检查通过血流灌注与FDG摄取对心肌活性进行分类,心肌具有正常的血流灌注和正常或增加的FDG摄取(正常),以及心肌具有降低的血流灌注和正常或增加的FDG摄取(不匹配)可认为具有存活心肌;心肌具有降低的血流灌注和降低的FDG摄取(匹配)可认为无存活心肌。**结果** PET所决定的心肌活性与CMR延迟强化透壁程度(LGE)呈显著地负相关性($r=-0.657, P<0.001$)。以PET为金标准,ceCMR检测心肌活性的敏感性为95.8%,特异性为89.7%,阳性预测值为98.1%,阴性预测值为79.5%,准确性为94.8%。运用ROC曲线分析ceCMR检测心肌活性的性能,ROC曲线下面积为0.957,LGE为50%临界值时,ceCMR区分以PET界定的存活心肌与非存活心肌的敏感性与特异性最高。对ceCMR和PET运动一致性及相关性进行分析,Kappa值为0.795, $r=0.837 (P<0.001)$ 。**结论** 以PET检查为金标准,ceCMR检测CTO患者的心肌活性与PET检查相比具有较高的一致性,敏感性和特异性。因此,ceCMR可以在CTO患者中作为一种重要的检测心肌活性的方法。

【关键词】 慢性完全闭塞病变; 心肌活性; 延迟强化心脏磁共振成像; 正电子发射断层显像

【中图分类号】 R543.31 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-4055(2017)10-1190-05

Comparison in evaluating myocardial viability by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance and positron emission tomography in patients with chronic total occlusion of coronary artery Li Jianan*, Dong Wei, He Yi, Zhang Lijun, Mi Hongzhi, Zhang Dongfeng, Huang Rongchong, Song Xiantao, LV Shuzheng. *Department of Cardiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital University of Medical Sciences, Beijing 100029, China.

Corresponding author: Song Xiantao, E-mail: songxiantao@medmail.com.cn

[Abstract] Objective To compare positron emission tomography (PET) and contrast-enhanced cardiac magnetic resonance (ceCMR) in evaluating myocardial viability in patients with chronic total occlusion (CTO) of coronary artery. **Methods** CTO patients ($n=77$) were given simultaneously ceCMR and PET examinations within 1 week. The images of ceCMR were analyzed by using 17-segmental method, and transmural extent of late gadolinium enhancement (LGE) of ceCMR was scored and the results were showed as follows: 1 (0%), 2 (1%–25%), 3 (26%–50%), 4 (51%–75%) and 5 (76%–100%). The wall motion was scored and the results were showed as follows: 1 (normal), 2 (hypokinetic), 3 (akinetic) and 4 (dyskinetic). The myocardial viability was classified through blood perfusion and FDG uptake of PET. The myocardium having normal blood perfusion or increased FDG uptake (normal) and myocardium having decreased blood perfusion or normal or increased FDG uptake (mismatch) could be regarded as viable myocardium, and myocardium having decreased blood perfusion and decreased FDG uptake (match) could be regarded as nonviable myocardium. **Results** There was a significantly negative correlation between myocardial activity decided by PET and LGE of ceCMR ($r=-0.657, P<0.001$). With PET as gold standard, the sensitivity of ceCMR in detecting myocardial viability was 95.8%, specificity was 89.7%, positive predictive value was 98.1%, negative predictive value was 79.5%, and accuracy was 94.8%. The performance of ceCMR in detecting myocardial viability was analyzed by using receiver operator characteristic curve (ROC), and the results showed that area under curve (AUC) of ROC was 0.957. With LGE=50% as cut-off value, the sensitivity and specificity of ceCMR in differentiating viable myocardium and nonviable myocardium decided by PET were the highest. The consistency and correlation of ceCMR and PET were analyzed and the results showed that Kappa value was 0.795 ($r=0.837, P<0.001$). **Conclusion** With PET as gold standard, ceCMR has high consistency, sensitivity and specificity in detecting myocardial viability compared with PET

基金项目: 首都临床特色应用研究与成果推广(Z16110000516139); 北京力生心血管健康基金会领航基金项目(LHJJ20158521); 大连医科大学转化医学项目(2015003); 心血管疾病精准医学北京实验室

作者单位: ¹ 100029 北京,首都医科大学附属北京安贞医院心内科; ² 100029 北京,首都医科大学附属北京安贞医院核医学科;

³ 100029 北京,首都医科大学附属北京安贞医院放射科; ⁴ 116011 大连,大连医科大学附属第一医院心内科

通信作者: 宋现涛, E-mail: songxiantao@medmail.com.cn

doi: 10.3969/j.issn.1674-4055.2017.10.12

in CTO patients. Thus, ceCMR can be used as an important method for detecting myocardial viability in CTO patients.

[Key words] Chronic total occlusion; Myocardial viability; Contrast-enhanced cardiac magnetic resonance; Positron emission tomography

冠状动脉慢性完全闭塞病变(CTO)是指冠状动脉在粥样硬化的基础上,粥样硬化斑块破裂导致血栓形成,血栓机化再生导致冠状动脉管腔完全闭塞,并且闭塞时间>3个月的病变^[1-3]。CTO病变介入治疗手术成功率低,术后并发症较高,对术者的要求也较高,CTO病变甚至被称为冠状动脉介入治疗领域的“最后一道堡垒”^[4]。美国心脏病协会/美国心脏协会(ACC/AHA)和欧洲心脏病学会(ESC)指南表明分析CTO病变的心肌活性具有重要的意义^[5,6]。是否存在心肌活性及心肌活性的程度对于CTO患者在接受介入治疗后能否获得收益具有重要的意义。

目前认为正电子发射断层显像(PET)是诊断心肌活性的金标准,延迟强化心脏磁共振成像(ceCMR)是几种常用的诊断心肌活性的方法之一^[7]。目前关于PET与CMR分析心肌活性的对比研究较少^[8-11],而且PET与CMR分析CTO病变患者心肌活性的对比研究目前尚缺乏,因此,我们研究的目的是比较PET与CMR探测CTO病变患者的心肌活性。

1 资料与方法

1.1 研究对象 连续收集首都医科大学附属北京安贞医院2014年12月~2016年12月由侵入性冠状动脉造影(ICA)检查确诊的至少有一支血管闭塞的CTO患者77例,所有患者均在1周内进行CMR和PET检查,所有患者在不同检查期间临床情况均保持稳定,并签署知情同意书。本研究排除了左主干狭窄>50%,90 d内发生的急性冠状动脉综合征,失代偿性心力衰竭,既往行冠状动脉搭桥术(CABG),体内植入式起搏器及除颤器,具有幽闭恐惧症的患者。该研究通过北京安贞医院伦理委员会批准。

1.2 成像方法 CMR成像采用德国Siemens 3.0T全身扫描仪进行,最大梯度45 mT/m,最大爬升率200 mT/m/s,采用32通道心脏专用相控阵线圈,所有序列均使用心电门控。首先行心脏形态电影扫描,左室二腔心、四腔心的中心层面各扫描一层,层厚5 mm,间隔0 mm;短轴电影层面扫描,从心尖到基底连续扫描,层厚8 mm,间隔0 mm。随后行静息灌注扫描,经高压注射器静脉注入Magnevist(德国先灵公司)0.2 ml/kg,流速5 ml/s,于注药同时进行首过采集,每个心动周期同时采集左室心尖部、中部及基底三层心脏短轴图像,首过采集50次,层厚8 mm。

静息首过灌注结束后再经高压注射器静脉注入Magnevist 0.1 ml/kg,流速2 ml/s,于注药后10 min开始进行左室短轴延迟扫描成像,采用相位敏感反转恢复(PSIR)磁矩预准备快速小角度激发(Turbo-FLASH)序列行心脏延迟成像,参数:TR/TE 4.1 ms/1.56 ms;FOV 350 mm²,矩阵2.1 mm × 1.4 mm × 5.0 mm,层厚8 mm,翻转角35°,加速因子2,扫描层面需与电影扫描层面一致,层厚8 mm,间隔0 mm;再进行左室二腔心及四腔心扫描成像,扫描层面需与电影扫描层面一致,层厚5 mm,间隔0 mm。所有患者在延迟扫描成像时首先确定最佳的T1时间,以便于抑制正常的心肌信号,然后再进行扫描。

PET:进行¹⁸F-FDG-PET和⁹⁹Tc-MIBI-SPECT双核素心肌显像扫描。仪器采用德国西门子PET-CT扫描仪。采用两日法进行图像采集,第1 d⁹⁹Tc-MIBI-SPECT采集心肌灌注显像,第2 d进行心肌代谢显像。所有显像前,进行测定患者血糖浓度,控制在7.9~8.8 mmol/L。如低于7.8 mmol/L,则口服葡萄糖;高于8.9 mmol/L,则皮下注射胰岛素以降低血糖浓度。但糖尿病患者即使血糖浓度在正常范围内,也需注射胰岛素以促进心肌细胞对葡萄糖的摄取。如血糖浓度较低,还需同时口服葡萄糖。在血糖调节后10~15 min,静脉注射¹⁸F-FDG(4 MBq/kg)或⁹⁹Tc-MIBI(740 MBq),45~60 min后显像用门控采集程序采集。门控图像处理程序为西门子公司自带心肌断层显像分析程序和分析系统。

1.3 图像分析

1.3.1 心肌节段 运用ACC/AHA的17节段法将心脏左心室分为六个基底段,六个中间段,四个心尖段和心尖^[12]。基底段、中间段、心尖段在短轴层面进行分析,CMR图像的心尖在两腔心的平面进行分析,PET图像的心尖在水平和垂直长轴平面进行分析。左前降支(LAD)、左回旋支(LCX)、右冠状动脉(RCA)所支配的心肌区域根据ACC/AHA标准进行选择^[12]。

1.3.2 CMR CMR图像分析在西门子工作站进行。所有短轴平面与两腔心长轴图像相对应,并且根据与乳头肌的不同位置关系进行分配:中间段对应乳头肌层面,基底段与心尖段与乳头肌之上和乳头肌之下的层面相对应^[12]。对每一心肌节段进行视觉分析,并对每一心肌节段室壁运动进行评分:1分(运动正常),2分(运动减弱),3分

(无运动), 4分(反向运动)。室壁运动积分指数(WMSI)由相应冠状动脉室壁运动积分的总和除以相应的心肌节段数^[12]所得。

左心室从基底部到心尖的所有短轴图像均被分析, 通过延迟强化透壁程度(LGE)分析每一心肌节段梗死或瘢痕的透壁程度, LGE被定义为某一心肌节段延迟强化的心肌占整个心肌厚度的百分比, 并进行评分: 1分(0%), 2分(1%~25%), 3分(26%~50%), 4分(51%~75%), 5分(76%~100%)。平均得分 ≤ 3 分可认为具有存活心肌^[13]。

1.3.3 PET分析 PET数据分析通过Cedars软件独立进行。心肌具有正常的血流灌注和正常或增加的FDG摄取(正常), 以及心肌具有降低的血流灌注和正常或增加的FDG摄取(不匹配)可认为具有存活心肌; 心肌具有降低的血流灌注和降低的FDG摄取(匹配)可认为无存活心肌。

所有的CMR和PET数据采集和保存后, 分别由两名具有丰富经验的放射科和核医学科医师在不了解患者临床的情况下独立进行数据分析。

1.4 统计学分析 所有的数据使用SPSS 23.0进行分析, 计量资料用均数 \pm 标准差表示, 符合正态分布的两组资料比较采用独立样本 t 检验, 两组以上资料比较采用单因素方差分析; 非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距)表示, 两组以上资料比较采用Kruskal-Wallis检验。计数资料用频数及百分比表示, 组间比较采用卡方检验。采用Pearson相关性分析方法分析计量资料之间的相关关系, 采用Spearman相关性分析方法分析计数资料之间的相关关系。以PET为金标准计算CMR检测心肌活性的敏感性和特异性, 应用ROC曲线分析CMR-LGE检测心肌活性的性能。 $P < 0.05$ 被认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象基线资料 本研究共分析了77例患者的503个心肌节段, 均在1周内完成PET和CMR检查, 并且在两项检查之间患者情况无明显变化。患者平均年龄为 56.25 ± 10.37 岁, 其中男性65例(84.4%); 单支CTO 65例(84.4%), 双支CTO 12例(15.6%); 本研究一共分析了77例CTO患者的89支血管, 其中LAD为29支, LCX为17支, RCA为43支, 患者详细的临床特征见表1。

2.2 CMR与LGE之间的关系 行CMR检查的患者中, LGE为0%的心肌节段有289个, LGE为1%~25%的心肌节段有79个, LGE为26%~50%的心肌节段有47个, LGE为51%~75%的心肌节段有45个, LGE为76%~100%的心肌节段有43个。

2.3 PET与LGE之间的关系 行PET检查的患者中, 正常的心肌节段为331个, 不匹配的心肌节段为94个, 匹配的心肌节段为78个。其中, 331个PET检查正常的心肌节段中, LGE $> 50\%$ 的心肌节段有6个(1.8%); 78个PET检查匹配的心肌节段中, LGE $\leq 50\%$ 的心肌节段有8个(10.3%); 94个PET检查不匹配的心肌节段中, LGE $\leq 50\%$ 的心肌节段有81个(86.2%), LGE $> 50\%$ 的心肌节段有13个(13.8%)。

2.4 CMR与PET检测心肌活性的比较 如表2所示, 由PET检测的存活心肌节段中, LGE $> 50\%$ 节段有18个, 由PET检测的非存活心肌节段中, LGE $\leq 50\%$ 节段有8个, PET所决定的心肌活性与CMR LGE呈显著地负相关性($r = -0.657$, $P < 0.001$) (表2, 图1)。以PET为金标准, CMR检测心肌活性的敏感性为95.8%, 特异性为89.7%, 阳性预测值为98.1%, 阴性预测值为79.5%, 准确性为94.8%。同时以PET为检测心肌活性为金标准, 运用ROC曲线分析CMR检测心肌活性的性能(图2), ROC曲线下面积(area under curve, AUC)为0.957, LGE以为50%临界值时, CMR区分以PET界定的存活心肌与非存活心肌的敏感性与特异性最高。

2.5 CMR与PET分析心肌运动的比较 在CMR与PET检查中对每一心肌节段均进行运动分析, 并对两种检查方法的运动一致性及相关性进行分析, Kappa值为0.795, $r = 0.837$ ($P < 0.001$)。根据PET检查结果将心肌节段分为正常、不匹配、匹配三组, 各组的WMSI分别为 1.28 ± 0.41 、 1.40 ± 0.39 、 2.18 ± 0.55 ($P < 0.0001$), 各组间的WMSI有明显差异, 非存活心肌组的WMSI较高。

表1 入组研究对象基线资料描述

项目	数值
年龄(岁)	56.25 ± 10.37
男性(n, %)	65 (84.4)
既往心梗病史(n, %)	23 (29.9)
吸烟史(n, %)	42 (54.5)
高血压(n, %)	45 (58.4)
糖尿病(n, %)	15 (19.5)
高血脂(n, %)	23 (29.9)
既往PCI病史(n, %)	26 (33.8)
CTO病变	—
单支(n, %)	65 (84.4)
双支(n, %)	12 (15.6)
LAD(n, %)	29 (32.6)
LCX(n, %)	17 (19.1)
RCA(n, %)	43 (48.3)
左心室功能	
射血分数(%)	53.08 ± 14.76
舒张末期容积(ml)	122.35 ± 105.59
收缩末期容积(ml)	55.02 ± 41.68
心脏质量(g)	118.97 ± 49.41

注: CTO: 冠状动脉慢性完全闭塞病变; LAD: 前降支; LCX: 回旋支; RCA: 右冠状动脉

表2 LGE与PET检测存活心肌之间的相关性

PET	LGE				
	0%	1%~25%	26%~50%	51%~75%	76%~100%
存活心肌	288	77	42	12	6
非存活心肌	1	2	5	33	37

注: PET: 正电子发射断层显像; LGE: 延迟强化透壁程度

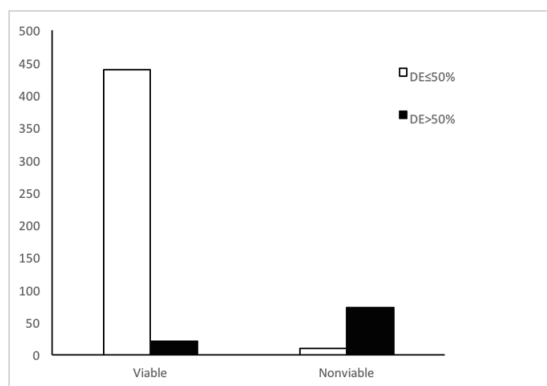


图1 CMR LGE与PET检测心肌活性之间的关系

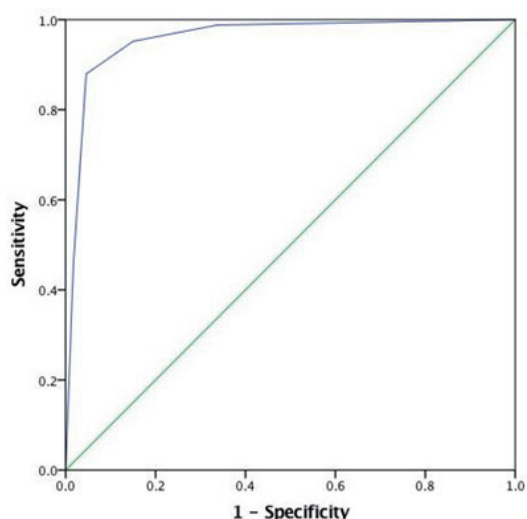


图2 ROC曲线分析LGE CMR检测心肌活性的性能

3 讨论

本研究的目的是比较PET与CMR检测CTO病变患者的心肌活性。研究表明,以PET检查为金标准,CMR检测CTO患者的心肌活性与PET检查相比具有较高的一致性,敏感性和特异性。

存活心肌表现形式有两种,即顿抑心肌和冬眠心肌,这两种不同形式的存活心肌在同一心肌内既可同时存在,也可单独存在,但临床上难以区分^[14]。它们的共同特点是收缩功能障碍,心肌血流灌注减低,但心肌代谢仍存在,细胞膜完整,具有潜在的收缩储备功能。

近年来研究发现心肌细胞状态与冠心病患者的预后有直接关系,CTO所对应心肌的心肌灌注和收缩功能在血运重建后可以显著改善^[15],并且可以改善预后^[16]。Gerber和Allman等研究表明,具有存活心肌的患者接受血运重建治疗比保守药

物治疗的预后好,接受单纯药物治疗预后最差;对于无存活心肌的患者,无论接受何种治疗,其预后介于具有存活心肌接受血运重建治疗和保守药物治疗的患者之间^[17,18]。Kim等研究发现随着延迟强化透壁程度的增高,在血运重建后功能异常心肌节段功能恢复的可能性逐渐降低^[19]。因此冠状动脉开通前后评估患者存活心肌的状态及变化,对患者远期预后具有重要的意义。

一项对比CMR和PET分析心肌活性的研究中,共纳入了31例缺血性心衰患者($EF=28 \pm 9\%$),按心肌节段进行分析,以PET为标准CMR检测心肌活性的敏感性为83%,特异性为88%;PET确定为正常的心肌节段中,11%心肌节段出现延迟强化,PET确定为匹配的心肌节段中,5%的心肌节段无延迟强化^[8]。本研究中CMR检测心肌活性的敏感性为95.8%,特异性为89.7%,PET确定为正常的心肌节段中,25%心肌节段出现延迟强化,PET确定为匹配的心肌节段中,1%的心肌节段无延迟强化,两个研究特异性保持高度一致,敏感性有所差异,原因可能为本研究的样本量相对较大,患者的病变性质为慢性完全闭塞病变,PET确定为存活心肌的节段中,LGE > 50%的心肌节段数量相对较多导致的。

Kühl等研究表明PET检查中FDG摄取与CMR检查中延迟强化透壁程度具有非常强的负相关关系($r=-0.86, P<0.001$),并对CMR检测存活心肌的性能进行ROC曲线分析,AUC为0.95,CMR检测心肌活性的敏感性和特异性分别为96%和84%,本研究与其研究结果具有高度的一致性。这项研究的最佳截断值为37%,本研究为50%,因本研究的最佳截断值可能会增加CMR检测的存活心肌的数量,从而导致本研究特异性要略高于此研究^[9]。本研究ROC曲线的最佳截断值为50%,与Kirschbaum的研究相一致^[20]。另外一项研究中,延迟强化透壁程度与PET所决定的心肌活性呈负相关关系,随着延迟强化透壁程度的增加心肌节段功能恢复的可能性越小($\beta\text{-coefficient}=-1.09 \pm 0.14, P<0.001$)^[10]。

PET通过代谢显像结合灌注显像判断心肌的代谢与血流灌注是否匹配来评价存活心肌,目前被认为是检测心肌活性的“金标准”;CMR能够在一次检查中提供整体和局部的心脏功能,心肌灌注,组织特性等信息,具有较高的空间分辨率及心内膜分层能力,可用于定量分析收缩及储备功能,评估组织灌注及表现细胞膜的完整性,可以较精确的确定心肌梗死瘢痕部位,可以识别轻微的心内膜下梗死^[21],使其在鉴别心肌活性方面的临床应用更有前景。Kühl等研究中表明对于

非存活的心肌节段的功能恢复, CMR的预测价值要优于PET, 这对于患者采取何种治疗方式具有重要的意义^[22]。

多巴酚丁胺负荷CMR可能会提高血运重建后心肌功能恢复的诊断准确性^[23], 本研究没有采用低剂量多巴酚丁胺负荷CMR来分析心肌活性。本研究中的WMSI是基于每支血管所支配整个心肌区域计算得出的, 没有具体到每个心肌节段。另外, 以后需要大规模的随机对照研究来证实对CTO病变进行介入治疗评价存活心肌的必要性^[24]。延迟强化CMR检测CTO患者的心肌活性与PET检查相比具有非常好的一致性和较高的准确性。因此, 延迟强化CMR可以在CTO患者中作为一种非常重要的检测心肌活性的方法, 并且对于CTO患者治疗方式的选择具有重要的临床意义。

参考文献

- [1] Sianos G, Werner GS, Galassi AR, *et al.* Recanalisation of chronic total coronary occlusions: 2012 consensus document from the EuroCTO club[J]. *EuroIntervention*, 2012, 8(1):139-45.
- [2] Stone GW, Kandzari DE, Mehran R, *et al.* Percutaneous recanalization of chronically occluded coronary arteries: a consensus document: Part I[J]. *Circulation*, 2005, 112(15):2364-72.
- [3] Zidar FJ, Kaplan BM, O'Neill WW, *et al.* Prospective, randomized trial of prolonged intracoronary urokinase infusion for chronic total occlusions in native coronary arteries[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1996, 27(6):1406-12.
- [4] Christofferson RD, Lehmann KG, Martin GV, *et al.* Effect of chronic total coronary occlusion on treatment strategy[J]. *Am J Cardiol*, 2005, 95(9):1088-91.
- [5] Levine GN, Bates ER, Blankenship JC, *et al.* 2011 ACCF/AHA/SCAI guideline for percutaneous coronary intervention: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association task force on practice guidelines and the society for cardiovascular angiography and interventions[J]. *Circulation*, 2011, 124(23):574-651.
- [6] Wijns W, Kolh P, Danchin N, *et al.* Guidelines on myocardial revascularization: the Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). Developed with the special contribution of the European Association for Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI)[J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(20):2501-55.
- [7] Allman KC. Noninvasive assessment myocardial viability: current status and future directions[J]. *J Nucl Cardiol*, 2013, 20(4):618-37.
- [8] Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, *et al.* Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison with positron emission tomography[J]. *Circulation*, 2002, 105(2):162-7.
- [9] Kühl HP, Beek AM, van der Weerd AP, *et al.* Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 41(8):1341-8.
- [10] 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]. *J Nucl Med*, 2007, 48(7):1096-103.
- [11] Roes SD, Kaandorp TA, Marsan NA, *et al.* Agreement and disagreement between contrast-enhanced magnetic resonance imaging and nuclear imaging for assessment of myocardial viability[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, 36(4):594-601.
- [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[J]. *Circulation*, 2002, 105(4):539-42.
- [13] Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, *et al.* Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age and contractile function[J]. *Circulation*, 1999, 100(19):1992-2002.
- [14] Schinkel AF, Bax JJ, Poldermans D. Clinical assessment of myocardial hibernation[J]. *Heart*, 2005, 91(1):111-7.
- [15] Pujadas S, Martin V, Rossello X, *et al.* Improvement of myocardial function and perfusion after successful percutaneous revascularization in patients with chronic total coronary occlusion[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 169(2):147-52.
- [16] Olivari Z, Rubartelli P, Piscione F, *et al.* Immediate results and one-year clinical outcome after percutaneous coronary interventions in chronic total occlusions: data from a multicenter, prospective, observational study (TOAST-GISE)[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 41(10):1672-8.
- [17] 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]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 59(9):825-35.
- [18] Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, *et al.* Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: A meta-analysis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 39(7):1151-8.
- [19] Kim RJ, Wu E, Rafael A, *et al.* The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction[J]. *N Engl J Med*, 2000, 343(20):1445-53.
- [20] Kirschbaum SW, Rossi A, Boersma E, *et al.* Combining magnetic resonance viability variables better predicts improvement of myocardial function prior to percutaneous coronary intervention[J]. *Int J Cardiol*, 2012, 159(3):192-7.
- [21] Saeed M, Hetts SW, Do L, *et al.* MRI study on volume effects of coronary emboli on myocardial function, perfusion and viability[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 165(1):93-9.
- [22] Kühl HP, Lipke CS, Krombach GA, *et al.* Assessment of reversible myocardial dysfunction in chronic ischaemic heart disease: comparison of contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance and a combined positron emission tomography-single photon emission computed tomography imaging protocol[J]. *Eur Heart J*, 2007, 28(7):846-53.
- [23] Baer FM, Theissen P, Schneider CA, *et al.* Dobutamine magnetic resonance imaging predicts contractile recovery of chronically dysfunctional myocardium after successful revascularization[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1998, 31(5):1040-8.
- [24] Hoehers LP, Claessen BE, Dangas GD, *et al.* Contemporary overview and clinical perspectives of chronic total occlusions[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2014, 11(8):458-69.

本文编辑: 阮燕萍