

· 综 述 ·

核素心肌灌注显像在冠心病诊断中的价值

肖 宁, 宁荣霞*

(内蒙古医科大学附属医院急诊内科, 呼和浩特 010050)

【摘 要】核素心肌灌注显像(MPI)作为一种无创性检查, 它的独特之处是以功能显像为主, 而不只是单纯的解剖形态显像, 它能客观、准确地评价冠状动脉病变引起的心肌血流灌注、心肌细胞功能与心室功能异常等病理生理的改变。本文对MPI在冠心病的诊断、治疗决策、疗效评估以及预后判断等方面及相关进展做一综述。

【关键词】心肌灌注显像; 冠状动脉疾病; 诊断; 预后

【中图分类号】 R540.47; R543.3

【文献标识码】 A

【DOI】 10.3724/SP.J.1264.2014.00090

Diagnostic and treatment value of radionuclide myocardial perfusion imaging in coronary heart disease

XIAO Ning, NING Rong-Xia*

(Department of Emergency Internal Medicine, Affiliated Hospital, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, China)

【Abstract】 As a non-invasive examination measure, radionuclide myocardial perfusion imaging (MPI) is of its own uniqueness in functional imaging rather than simply anatomic imaging. It can objectively and accurately assess pathophysiological changes caused by coronary artery lesions, including myocardial perfusion, myocardial cells function and ventricular dysfunction. In this paper, we reviewed the application of radionuclide MPI in the diagnosis, treatment decisions, efficacy prediction and prognosis judgment of coronary heart disease.

【Key words】 myocardial perfusion imaging; coronary disease; diagnosis; prognosis

This work was supported by the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region (2013MS11102).

Corresponding author: NING Rong-Xia, E-mail: ningrongxia_858@126.com

核素心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)是将能被有功能的心肌组织所摄取的低能量放射性核素注射入体内, 利用成像技术使正常心肌显像, 低灌注区(缺血区)显像稀疏、坏死区完全缺损不显像, 因此成为检测缺血及坏死心肌的无创性检测方法。该方法主要用于冠心病的辅助诊断, 具有简单、无创、安全、诊断准确性高等优点^[1]。MPI在冠心病诊断处理中的价值已得到美国心脏病学会/美国心脏联合会/美国核心脏病学协会相关指南的充分肯定与推荐^[2]。但是, 我国核心脏病学起步较晚, 部分临床医师对核心脏病学认识不足。本文主要就MPI在冠心病的诊断、危险度分层、治疗决策、疗效评估、预后判断方面及相关进展等进行综合阐述。

1 MPI在冠心病诊断中的价值

目前冠状动脉造影(coronary arteriography, CAG)是诊断冠心病的“金标准”, 但由于其仅反映冠状动脉的形态学变化, 不能提供病变心肌的病理生理变化信息, 并且属于有创性检查, 所以其应用受到一定的限制。MPI作为一种无创性检查, 它的独特之处是以功能显像为主, 而不只是简单的解剖形态显像, 它能客观、准确地评价冠状动脉病变引起的心肌血流灌注、心肌细胞功能与心室功能异常等病理生理变化。因此, MPI在冠心病诊断中应用最为广泛, 近期美国国立心血管数据库关于经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的报道表明, 有52%择期行PCI的患者在手术前行MPI检查^[3]。

收稿日期: 2013-11-10; 修回日期: 2014-03-24

基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目(2013MS11102)

通信作者: 宁荣霞, E-mail: ningrongxia_858@126.com

Koh等^[4]在临床研究中, 2560例患者行CAG后再行MPI检查, 结果表明其诊断冠心病的灵敏度为91%, 特异性为87%。MPI对心肌梗死的诊断有较高的灵敏度, 与血清酶学指标相比具有明显的时间优势, 患者一旦发生急性心肌缺血, MPI会即刻表现出相应的异常改变。对于以急性胸痛就诊的患者进行静态MPI检查具有很重要的价值^[5]。静态MPI正常者可以除外急性心肌梗死和不稳定型心绞痛, 异常者则有做进一步诊断和治疗的价值, 必要时再行负荷MPI来判定有无心肌缺血或明显的冠脉狭窄。王荣福等^[6]对国内6家医院500例患者进行了回顾性研究, 诊断心肌缺血及心肌梗死的灵敏度为65.1%, 特异性为81.3%, 准确性为73.2%, 阳性预测值为77.5%, 阴性预测值为70.1%。MPI是一种无创、安全、有效的检查, 灵敏度和特异性较高, 是可以被推荐的、有效应用于心肌缺血和心肌梗死的诊断及疗效观察的方法。

2 MPI在冠心病危险度分层及治疗决策的价值

2.1 危险度分层

MPI对已确诊为冠心病的患者进一步评估不良心脏事件发生率是非常有效的, 冠状动脉病变越严重, 显像越异常。MPI可将确诊或疑诊冠心病的患者准确地区分为低危组、中危组和高危组(心脏事件年发生率分别为<1%, 1%~3%和>3%), 从而对患者的治疗提供指导性方案^[2], 并据此来判断处理措施是否有效, 冠状动脉血管重建治疗是否获益。MPI的负荷试验后灌注总积分参数是最重要的心脏事件预测因子, 缺血总量是非致死性心肌梗死及不稳定型心绞痛的最重要预测因素——缺血量增加, 其危险度亦增加^[7]。Paul等^[8]对美国5183例冠心病患者进行了研究, 结果表明负荷MPI异常是非致死性心肌梗死与心源性死亡的有力预测因素。但是, 最近的综述文章分析表明, 对于有相关指征的患者, 对不清楚是否有冠心病的无症状个体的危险分层方法仍存在争议, 同时也不推荐MPI应用于具有低度和中度心血管疾病风险的无症状患者群体。而MPI对糖尿病、周围血管病、慢性肾病或冠心病手术前的患者均能够进行高危个体识别, 并能提供可改善预后的有价值的信息^[9]。

2.2 治疗决策

对于程度为低危或中危的, 即心肌灌注显像正常或轻度缺血的患者, 临床上以控制危险因素及药

物治疗为主, 若患者无特殊职业需要或者主观意愿, 一般不需进一步做冠状动脉造影及其血运重建术。用心肌缺血来判定患者是否处于高危状态, 并不仅仅依靠可逆性灌注缺损范围的大小, 负荷试验诱发的多发小范围可逆性灌注缺损, 也提示可能处于高危状态。对于高危患者, 心肌显像示重度缺血患者发生心脏事件的风险远高于正常患者, 心脏事件年发生率>3%^[10], 选择血管重建治疗的疗效则更为显著, 可缩减受损心肌的范围, 改善疾病预后并降低死亡率。

心肌缺血或梗死患者及时进行心脏介入治疗, 挽救濒临死亡的心肌细胞, 增加心肌细胞存活数量, 对患者心肌血流灌注及心功能的改善有着重要的意义^[11]。重新开通狭窄或闭塞的冠状动脉, 可恢复冠状动脉血流、缓解心肌缺血、恢复心肌细胞生理功能, 理论上可达到改善患者心脏功能、提高患者生活质量、改善预后的治疗目的^[12]。而对这部分患者进行存活心肌的检测, 对临床决策有着重要的价值。研究表明, 对超过正常心肌吸收50%的心肌节段采用血运重建术治疗后, 能够增强左心室功能并提高生存率, 比药物治疗具有更好预后效果^[13]。目前检测存活心肌的临床设备主要有: 铊(²⁰¹Tl)或锝(^{99m}Tc)-甲氧异丁基异腈(^{99m}Tc-MIBI)单光子发射型计算机断层显像(single-photon emission computed tomography, SPECT)、多巴酚丁胺负荷超声心动图、正电子发射型计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)和磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)。其中氟(¹⁸F)-氟代脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)PET被认为是检测存活心肌的金标准^[14]。但PET检查费用高限制其广泛的应用, 而^{99m}Tc类显像剂在近年来的应用日益广泛。Raja等^[15]研究显示, ^{99m}Tc-MIBI门控心肌灌注SPECT检测心肌存活同¹⁸F-FDG PET具有很好的一致性。近年来, ¹⁸F-FDG符合线路SPECT的应用具有明显的价格优势, 其与^{99m}Tc-MIBI门控MPI(gated myocardial perfusion imaging, G-MPI)SPECT的联合显像是当前存活心肌关注的热点。另外, 在SPECT和PET基础上其他影像检测手段相结合, 如心脏磁共振、心脏超声、冠状动脉腔内心电图、心肌声学造影等实现对存活心肌的融合或联合判定成为一种发展趋势^[16]。

3 疗效评估及预后分析

3.1 疗效评估

MPI能准确、灵敏地反映心肌血供情况及心肌活性, 而且还可进行相对定量分析以及负荷试验,

且具有无创性,是评价冠心病疗效的有效方法之一。MPI目前已应用于冠状动脉介入治疗术,冠状动脉旁路移植手术(coronary artery bypass grafting, CABG)治疗前后心肌血流改善情况的评价^[17]。仅2009年,美国有>50万例PCI患者,其中70%涉及了支架的安装,另外有40万例CABG患者^[18]考虑到MPI对临床决策的重要影响、潜在的负荷危险和不合理使用的可能性,一些学者和已发表的适用标准对经血运重建术后无症状(低风险)的患者们进行的例行复查仍保持谨慎态度。但鉴于无痛性缺血的不良预后影响,很多学者认为所有经历血运重建手术的患者都应考虑进行负荷试验。而且,负荷MPI不仅为临床决策提供指导,还能够决定后续复查的时间点。将负荷心电图同代谢显像相结合是一种有效的检测心肌缺血的方法^[17,19]。

3.1.1 MPI在PCI判断血管开通效果 MPI可以准确评估病变血管开通后存活心肌血液灌注的改善程度,是临床观察疗效、评价预后的可靠指标,在PCI的疗效的评价上有一定的优势^[20]。MPI在判断PCI前后出现的心肌缺血改变,能在准确了解患者CAG及支架植入术的过程和结果的同时,对比PCI前后MPI结果,及时评价支架植入的疗效^[21]。Safley等^[22]对301例慢性闭塞病变患者的PCI术前和术后(12 ± 3)个月采用MPI进行了疗效评估,术前平均缺血负荷基线为($13.1\% \pm 11.9\%$),术后心肌灌注改善显著,心肌平均缺血负荷基线降低到($6.9\% \pm 6.5\%$),术前术后比较,差异有统计学意义($P < 0.001$)。共有53.5%的患者符合PCI术后改善的标准。MPI作为一种非侵入性的PCI术后辅助检查正逐渐被人们所接受。

3.1.2 MPI在CABG术后疗效 CABG可有效地改善心肌血流灌注和心室功能,在CABG术前,MPI检测冠状动脉狭窄,区分缺血但存活的心肌和瘢痕(死亡的)组织,选择可受益于冠状动脉血运重建的患者,以及心室功能的评价;在CABG术后,MPI可随访左心室心肌血流灌注、功能和代谢的恢复,心肌顿抑和CABG术后的冠状动脉病变。多项研究表明,患者CABG后的预后与术前有无存活心肌密切相关,术后核素MPI能够准确评价心功能的改善情况。Liao等^[23]随访107例CABG后患者27个月,发现术前评估为有存活心肌者的2年生存率显著高于其他患者,分别为83.5%和57.2%。术后行运动试验评估CABG后患者的预后也已被证明为有价值。Mabuchi等^[24]对56例冠心病患者CABG后3个月进行G-MPI,发现局部室壁增厚率对预测术后心肌功能

恢复的敏感度和特异度分别为95%和81%。

3.2 预后分析

3.2.1 心脏事件的预后预测 心肌显像能够获得心肌灌注缺损的节段数或范围(即缺损得分)和可逆性灌注缺损的程度,为临床医师提供更多的信息以进行远期预后。负荷心肌显像正常的患者年死亡率和非致死性心肌梗死的概率 $< 1\%$,同正常人群相近^[25]。Dorbala等^[26]对来自于4个不同的治疗中心、接受过静息/负荷MPI的7061例有临床指征的患者进行了2年随访研究。结果表明,心肌异常每增加10%,轻度、中度和重度负荷MPI异常患者的心源性死亡的比率分别增高2.3%, 4.2%和4.9%。另外,其采用的包含年龄、性别、体质量和患病历史等临床信息的增量风险评估模型同传统的风险评估模型相比,能够对心源性死亡和全因死亡提供更加有力的风险评估。

3.2.2 PCI术后支架内再狭窄的预后判断 PCI是目前冠心病治疗的一种有效方法。但术后有较高的再狭窄率^[27]。PCI术后支架内再狭窄是冠状动脉支架术后的重要并发症,其发生率为20%~50%,多发生在术后3~9个月,接近50%的患者在发生再狭窄时并没有症状。现有数据表明,许多临床和血管因素均同无症状再狭窄有关。因此,尚未有预测PCI术后无症状患者发生再狭窄风险的方法。相对而言,MPI并不预测哪些患者存在发生再狭窄的风险,而是鉴定已经发生再狭窄类型及程度^[28]。并且,研究表明对大多数患者,PCI术后6个月被认为是最佳的MPI检测时间点^[21]。Zhang等^[29]对66名PCI术后患者的再狭窄采用负荷^{99m}Tc-MIBI G-MPI进行了评估,结果表明MPI的诊断灵敏度、特异性、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为85%, 89%, 86%, 92%和80%。

4 进 展

近年来,随着MPI与门控图像结合的G-MPI技术在临床上获得了更为广泛的发展空间,心电门控、衰减校正等技术的应用,它在减少假阳性-伪影的同时,还能得到心肌血流灌注、左心室射血分数、左心室容积、室壁收缩增厚率等参数,能准确反映血运重建术后心肌血流灌注与心室功能的变化^[1],以上参数均可由计算机同时给出,客观评价、重复性强,最大限度地减少了人为因素的影响。王丽娟等^[30]研究报告分析了46例冠心病患者的102支冠状动脉,结果示G-MPI诊断冠心病的准确性为85.3%,阳性预测价值为90.9%,阴性预测价值为

75.0%。根据G-MPI结果可以减少不必要的CAG检查。国外研究已将G-MPI作为CAG的“守门人”^[31]。进一步的循证医学研究对G-MPI在冠心病处理决策、疗效预测及预后判断方面予以更多支持。

目前非侵入式MPI最常用的检查主要为：SPECT、心脏磁共振（cardiac magnetic resonance, CMR）和PET。最近的荟萃分析对3种方法的诊断性进行对比，结果表明SPECT、CMR和PET的灵敏度分别为：88%，89%和84%，特异性分别为61%，76%和81%，最终的诊断优势比分别为：15.31%，26.42%和36.47%^[32]。总体看，三者都具有较高的敏感度，而在特异性上有较大差别。SPECT的应用广泛且并经过最为广泛的临床验证，PET有最高的诊断性能，CMR可提供无电离辐射的替代方案并具有同PET相近的准确率。而且，随着高性能相机、新标志物的发现和软件/硬件的进步，心肌灌注的自动全定量测定使MPI的串行评估效率更高^[3]。值得注意的是，更多的解剖和功能显像的融合图像为临床工作提供了更为直接的信息，不仅反映了病变的解剖结构和功能异常，而且有效排除了因各种原因引起的误差，使两种图像精准地融合^[33]。对于冠心病的诊断，同机图像融合显像是未来研究的趋势，这种技术可以充分表达出冠心病心肌缺血的本质，将冠状动脉狭窄程度的解剖信息作为诊断冠心病的传统的诊断模式，转变为将冠状动脉病变是否存在相关的功能信息改变作为新的冠心病诊断依据。心脏图像融合（MPI/CCTA）在冠状动脉狭窄的诊断的评价函数具有较高的有效性，这是它在冠状动脉的解剖和功能的无创性评估的优势，将冠状动脉狭窄及其功能联系起来，将是未来冠状动脉疾病诊治发展的必然趋势^[34]。

【参考文献】

- [1] Wang RF. Nuclear Medicine[M]. 3rd ed. Peking University Medical Press, 2013: 52–67. [王荣福. 核医学[M]. 第3版, 北京: 北京大学医学出版社, 2013: 52–67.]
- [2] Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, *et al.* ACC/AHA/ASNC Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging)[J]. *Circulation*, 2003, 108(11): 1404–1418.
- [3] Iskandrian AE, Hage FG, Shaw LJ, *et al.* Serial myocardial perfusion imaging: defining a significant change and targeting management decisions[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(1): 79–96.
- [4] Koh AS, Blankstein R. Selecting the best noninvasive imaging test to guide treatment after an inconclusive exercise test[J]. *Curr Treat Options Cardiovasc Med*, 2012, 14(1): 8–23.
- [5] Li XY, Tian FL, Wang ZH. Application value of radionuclide imaging in diagnosis of cardiovascular diseases[J]. *Med Pharm J Chin People's Liberation Army*, 2011, 23(6): 47–50. [李学永, 田福利, 王振辉. 放射性核素显像在心血管病诊断中的应用价值[J]. 解放军医药杂志, 2011, 23(6): 47–50.]
- [6] Wang RF, Qiu YL, Wang LQ, *et al.* The diagnostic accuracy and safety of ^{99m}Tc-MIBI myocardial perfusion imaging—a retrospective multicenter study[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2012, 32(6): 413–417. [王荣福, 邱艳丽, 王立琴, 等. ^{99m}Tc-MIBI心肌灌注显像诊断效能与安全性评价的回顾性研究[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2012, 32(6): 413–417.]
- [7] Zhang L, Li J. Predictive value of myocardial perfusion imaging for cardiac events in coronary artery disease patients[J]. *J Ningxia Med Univ*, 2013, 35(5): 521–524. [张莉, 李娟. 核素心肌显像对冠心病患者不同心脏事件预测的分析[J]. 宁夏医科大学学报, 2013, 35(5): 521–524.]
- [8] Paul AK, Nabi HA. Gated myocardial perfusion SPECT: basic principles, technical aspects, and clinical applications[J]. *J Nucl Med Technol*, 2004, 32(4): 179–187.
- [9] Brinkert M, Zellweger MJ. Myocardial perfusion imaging for risk stratification in asymptomatic individuals without known cardiovascular disease[J]. *Curr Cardiovasc Imaging Rep*, 2014, 7: 9253.
- [10] Gibbons RJ, Abrams J, Chatterjee K, *et al.* ACC/AHA 2002 guideline update for the management of patients with chronic stable angina—summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on the Management of Patients with Chronic Stable Angina)[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 41(1): 159–168.
- [11] Wang XM, Shi RF, Jia YH, *et al.* Assessment of the repair capability of infarcted myocardium in dogs after intracoronary delivery of mesenchymal stem cells using myocardial perfusion and metabolism imaging[J]. *Chin J Nucl Med*, 2008, 28(4): 238–241. [王雪梅, 史蓉芳, 贾玉和, 等. 心肌灌注/代谢显像评价干细胞移植后犬受损心肌的修复能力[J]. 中华核医学杂志, 2008, 28(4): 238–241.]
- [12] Chung CM, Nakamura S, Tanaka K, *et al.* Effect of recanalization of chronic total occlusions on global and regional left ventricular function in patients with or without previous myocardial infarction[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2003, 60(3): 368–374.
- [13] Beller GA, Heede RC. SPECT imaging for detecting coronary artery disease and determining prognosis by

- noninvasive assessment of myocardial perfusion and myocardial viability[J]. J Cardiovasc Transl Res, 2011, 4(4): 416–424.
- [14] Iida H, Ruotsalainen U, Mäki M, *et al.* F-18 fluorodeoxyglucose uptake and water-perfusible tissue fraction in assessment of myocardial viability[J]. Ann Nucl Med, 2012, 26(8): 644–655.
- [15] Raja S, Singh B, Rohit MK, *et al.* Comparison of nitrate augmented Tc-99m tetrofosmin gated SPECT imaging with FDG PET imaging for the assessment of myocardial viability in patients with severe left ventricular dysfunction[J]. J Nucl Cardiol, 2012, 19(6): 1176–1181.
- [16] Wang GX. The value of nuclide myocardial imaging on assessing viable myocardium[J]. Med Recapitulate, 2011, 17(1): 122–124. [汪功勋. 核素心肌显像在存活心肌判定中的价值[J]. 医学综述, 2011, 17(1): 122–124.]
- [17] Acampa W, Petretta MP, Daniele S, *et al.* Myocardial perfusion imaging after coronary revascularization: a clinical appraisal[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2013, 40(8): 1275–1282.
- [18] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, *et al.* Heart disease and stroke statistics—2013 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2013, 127(1): e6–e245.
- [19] Petretta M, Cuocolo R, Acampa W, *et al.* Cardiac radionuclide imaging after coronary artery revascularization[J]. Curr Cardiovasc Imaging Rep, 2014, 7: 9255.
- [20] Song CX, Liu Y, Lu W, *et al.* Role of myocardial perfusion imaging in the evaluation of patients undergoing percutaneous transluminal coronary intervention[J]. Hainan Med J, 2011, 22(9): 92–94. [宋长祥, 刘永, 陆武, 等. 心肌灌注显像在PCI术前后的应用价值[J]. 海南医学, 2011, 22(9): 92–94.]
- [21] Zaman MU, Hashmi I, Fatima N. Recent developments and future prospects of SPECT myocardial perfusion imaging[J]. Ann Nucl Med, 2010, 24(8): 565–569.
- [22] Safley DM, Koshy S, Grantham JA, *et al.* Changes in myocardial ischemic burden following percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2011, 78(3): 337–343.
- [23] Liao L, Cabell CH, Jollis JG, *et al.* Usefulness of myocardial viability or ischemia in predicting long-term survival for patients with severe left ventricular dysfunction undergoing revascularization[J]. Am J Cardiol, 2004, 93(10): 1275–1279.
- [24] Mabuchi M, Kubo N, Morita K, *et al.* Prediction of functional recovery after coronary bypass surgery using quantitative gated myocardial perfusion SPECT[J]. Nucl Med Commun, 2003, 24(6): 625–631.
- [25] Rimoldi O, Camici PG. Risk stratification of patients with normal myocardial perfusion imaging: help comes from the periphery[J]. Eur Heart J, 2013, 34(27): 2028–2030.
- [26] Dorbala S, Di Carli MF, Beanlands RS, *et al.* Prognostic value of stress myocardial perfusion positron emission tomography: results from a multicenter observational registry[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 61(2): 176–184.
- [27] Elhendy A, Schinkel AF, van Domburg RT, *et al.* Prognostic value of stress Tc-99m tetrofosmin SPECT in patients with previous myocardial infarction: impact of scintigraphic extent of coronary artery disease[J]. J Nucl Cardiol, 2004, 11(3): 704–709.
- [28] Giedd KN, Bergmann SR. Myocardial perfusion imaging following percutaneous coronary intervention: the importance of restenosis, disease progression, and directed reintervention[J]. J Am Coll Cardiol, 2004, 43(3): 328–336.
- [29] Zhang PF, Wang LJ. The value of ATP stress ^{99m}Tc-MIBI gated myocardial perfusion imaging for evaluating stent restenosis after coronary stent implantation[J]. Heart, 2013, 99(Suppl 3): e272–e273.
- [30] Wang LJ, Li XJ, Sun YX, *et al.* The clinical value of adenosine stress ^{99m}Tc-MIBI gated myocardial perfusion imaging in diagnosis of coronary artery disease[J]. Chin Crit J, 2011, 26(3): 170–173. [王丽娟, 李晓鹃, 孙英贤, 等. 腺苷负荷^{99m}锝-甲氧基异丁基异腈门控心肌灌注显像在冠心病诊断中的价值[J]. 中国循环杂志, 2011, 26(3): 170–173.]
- [31] de Jong MC, Genders TS, van Geuns RJ, *et al.* Diagnostic performance of stress myocardial perfusion imaging for coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2012, 22(9): 1881–1895.
- [32] Jaarsma C, Leiner T, Bekkers SC, *et al.* Diagnostic performance of noninvasive myocardial perfusion imaging using single-photon emission computed tomography, cardiac magnetic resonance, and positron emission tomography imaging for the detection of obstructive coronary artery disease: a meta-analysis[J]. J Am Coll Cardiol, 2012, 59(19): 1719–1728.
- [33] Wang Y, Qin L, Shi X, *et al.* Adenosine-stress dynamic myocardial perfusion imaging with second-generation dual-source CT: comparison with conventional catheter coronary angiography and SPECT nuclear myocardial perfusion imaging[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(3): 521–529.
- [34] Gu SS, Wang Q, Dong W, *et al.* Clinical study on coronary computed tomography angiography and myocardial perfusion imaging in quantitative assessment of flow-limiting stenoses[J]. J Cap Med Univ, 2013, 34(1): 36–42. [谷珊珊, 王蓓, 董薇等. 心脏融合显像定量评价功能相关冠状动脉狭窄的临床研究[J]. 首都医科大学学报, 2013, 34(1): 36–42.]

(编辑: 李菁竹)