

## 心肌声学造影评估存活心肌的临床价值

赵婉婉<sup>a</sup>, 段利科<sup>b</sup>, 姜沙沙<sup>a</sup>, 王绍欣<sup>a</sup>, 王宏运<sup>a,c\*</sup>

(河南科技大学临床医学院, 河南科技大学第一附属医院 a. 心血管内科, b. 超声科, c. 护理学院, 河南 洛阳 471003)

中图分类号: R541.4

文献标识码: A

文章编号: 1006-2084(2019)08-1640-05

**摘要:** 冠心病患者具有一定程度的心肌缺血, 临床上大多会选择行经皮冠状动脉介入术(PCI)疏通大血管, 从而达到改善心肌缺血、缓解临床症状的效果。然而大量临床经验表明, 一些行 PCI 的冠心病患者, 术后症状及心功能并未明显改善。因此若能在术前有效评价存活心肌, 使得行 PCI 的适应证更加精确、具体化, 患者将得到更大的受益。随着影像技术的飞速发展, 目前检测存活心肌的方法也越来越多, 尤其正电子发射断层显像被认为是检测存活心肌的金标准, 但因其各自的局限性均未广泛应用于临床。而心肌声学造影是一项新型超声技术, 因无创、好操作等优势近些年逐渐得到发展, 可通过检测心肌微循环灌注情况, 进而判断存活心肌。

**关键词:** 冠心病; 存活心肌; 心肌声学造影

**Clinical Value of Myocardial Contrast Echocardiography in Evaluating Viable Myocardium** ZHAO Wanwan<sup>a</sup>, DUAN Like<sup>b</sup>, JIANG Shasha<sup>a</sup>, WANG Shaixin<sup>a</sup>, WANG Hongyun<sup>a,c</sup>. (a. Department of Cardiology, b. Department of Ultrasound, c. School of Nursing, the First Affiliated Hospital and College of Clinical Medicine of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

**Abstract:** Patients with coronary heart disease have a certain degree of myocardial ischemia, and most of them will choose percutaneous coronary intervention(PCI) to clear the large blood vessels, so as to improve myocardial ischemia and relieve clinical symptoms. However, a lot of clinical experience has shown that some patients with coronary heart disease undergoing PCI have no significant improvement in postoperative symptoms and cardiac function. Therefore, if the viable myocardium can be effectively evaluated before surgery to make the indications for PCI are more accurate and specific, the patients will get more benefits. With the rapid development of imaging technology, there are more and more methods for detecting viable myocardium, especially that positron emission tomography is considered as the gold standard for detecting viable myocardium, but it is not widely used in clinic because of its limitations. Myocardial contrast echocardiography is a new type of ultrasound technology, which has been gradually developed in recent years due to its non-invasiveness and good operation. It can detect viable myocardium by detecting myocardial microcirculation perfusion.

**Key words:** Coronary heart disease; Viable myocardium; Myocardial contrast echocardiography

冠心病是指因受各种危险因素的影响, 冠状动脉管壁增厚变硬、失去弹性和管腔缩小、闭塞等, 进而导致心肌缺血、缺氧或坏死, 引起机体一系列不适的一类心脏疾病<sup>[1]</sup>, 是全球范围内广泛流行的慢性疾病, 发病率和死亡率极高<sup>[2-3]</sup>。而冠状动脉造影是诊断冠心病的金标准, 可以清晰显示冠状动脉的狭窄程度、病变部位与范围, 并对患者是否需要行经皮冠状动脉介入术(percutaneous coronary intervention, PCI)具有

指导意义<sup>[4]</sup>。然而, 近年来临床上发现, 许多冠状动脉造影显示有严重病变的冠心病患者在行 PCI 术后心功能并未得到明显改善, 症状仍未明显缓解<sup>[5-6]</sup>。并且有研究显示, 在机体冠状动脉微循环受损的情况下, 若存活心肌较少或缺失, 即使成功开通冠状动脉狭窄患者的心脏大血管, 心肌组织部分血流仍然不能完全恢复正常, 患者术后心功能并未获得应有的改善<sup>[7]</sup>。如此 PCI 术不仅无益, 还可能给患者带来新的问题。因此, 对于冠心病患者来说, 检测存活心肌尤为重要, 它不仅对临床决策具有一定的指导意义, 对临床疗效和预后的判断也有着

极为重要的参考价值。而随着医学技术和医疗设备的不断发展与创新,心肌声学造影(myocardial contrast echocardiography, MCE)在普通超声心动图的基础上,通过周围静脉向机体注入特殊的微泡造影剂,使心肌内各级毛细血管显影,从毛细血管水平评价心肌内微循环的灌注状况,进而评估存活心肌,并预测该区域心肌功能恢复的潜能<sup>[8]</sup>。MCE 具有高的空间分辨率,并可在床边、实时进行检查,因此备受国内外学者的关注。现对 MCE 评价存活心肌的临床研究效果及应用价值进行综述,为临床上冠心病患者选择更为合理的个体化治疗方案、评价疗效及改善预后提供实际有用的信息。

### 1 存活心肌的特点及其意义

冠心病包括慢性冠状动脉疾病(也称慢性心肌缺血综合征)和急性冠状动脉综合征,且冠心病发展至终末期会导致更为严重的病变形式——冠状动脉慢性完全闭塞病变<sup>[9]</sup>。以上不论是哪种类型的病变形式,均有不同程度的心肌缺血,进而导致相应区域的心肌缺血、损伤、坏死,常表现为局部或整体的左心室收缩功能不全,左心室射血分数降低等。根据血流再通后受损心肌收缩功能能否较前有所恢复,将其分为存活心肌和坏死心肌<sup>[10]</sup>。其中存活心肌大致可分为顿抑心肌、冬眠心肌和伤残心肌<sup>[11]</sup>。①顿抑心肌即心肌短暂缺血再灌注后,发生可逆性功能障碍并能完全恢复的心肌。由于缺血时间短、程度轻,只引起其结构、代谢、功能的改变,局部心肌血流正常或几乎正常。心肌虽未坏死,但由此引起的心肌收缩功能异常或丧失再灌注后不能立即恢复,而往往延迟到数小时、数天甚至数周,这种缺血后暂时无收缩功能但存活的心肌称为顿抑心肌<sup>[12-14]</sup>。②冬眠心肌是指由于长期持续冠状动脉供血减少,局部心肌细胞能量储备不足而引起的保护性心肌收缩功能下降、代谢能力减低以减少能量消耗,是保护心肌存活性的适应性机制。此类心肌会发生持续性收缩功能障碍,可长达数月甚至数年,其局部心肌血流降低,但尚足以维持组织的存活。其功能障碍是可逆的,在冠状动脉血流一旦恢复,如冠状动脉血运重建术后,该心肌的功能可以完全恢复正常<sup>[12-14]</sup>。③伤残心肌即再灌注治疗后仍存活但严重损伤的心肌,伤残心肌功能的恢复延迟且不完全。伤残心肌病理生理学机制尚未完全明确,它与

顿抑心肌和冬眠心肌区别是已有部分心肌坏死。

临床上冠状动脉造影仍在很大程度上指导冠心病患者的诊断及治疗,但其并不能对行血运重建术的必要性及实际获益做出准确评判。若冠心病患者心功能下降时仍具有一定的存活心肌,则血运重建术后患者心功能可得到一定恢复,预后及生存期均向好的方向发展;若受损区域无存活心肌,再灌注治疗不仅无益,还可能会给患者及医务人员带来其他不可预知的损伤与风险。所以临床上在决定再血管化治疗以前,应积极准确地评价是否存在存活心肌,以让患者避免不必要的损失,获得最大受益<sup>[15]</sup>。

### 2 MCE 的原理

存活心肌是由众多结构、功能正常的心肌细胞构成的,其中心肌细胞通过与血液进行物质交换获得能量以维持细胞活性,进而保持机体心脏功能的完整性<sup>[16]</sup>。而心肌细胞和血液进行物质、能量、信息交换传递的过程是在冠状动脉微循环内完成的,故冠状动脉微循环的功能状态可以直接影响心脏的功能和代谢,对于心血管疾病的发生、发展、疗效及预后等有重要影响。近年来随着人们对冠状动脉微循环认识的加深和介入手术的广泛发展,冠状动脉微循环亦逐渐成为人们讨论的焦点<sup>[16-18]</sup>。

冠状动脉微循环独立于体循环和肺循环,是由微动脉( $< 200 \mu\text{m}$ )、心肌组织毛细血管(平均  $8 \mu\text{m}$ )和微静脉( $< 200 \mu\text{m}$ )构成的血液循环系统,与心肌细胞有机结合在一起,是向心肌组织传输养分的通道,是控制调节心肌血流和代谢的重要途径<sup>[19]</sup>。冠状动脉微循环的血流灌注是维持心肌存活的关键,为存活心肌提供需要的氧和能量,维持心肌的新陈代谢并运送新陈代谢产物<sup>[11]</sup>,是心脏维持正常生理功能的前提条件<sup>[16]</sup>。因此检测冠状动脉微循环的血流灌注可以用来判断存活心肌。

MCE 是近年发展起来的一项将超声二维心动图与超声造影剂相结合、通过评价心肌微循环来检测存活心肌的新技术<sup>[20]</sup>。造影剂由包裹了高分子量惰性气体材料的微气泡构成,目前临床主要应用六氟化硫微泡造影剂。六氟化硫微泡造影剂稳定性高,能够产生较好的谐波信号,并在不同能量的超声照射下产生不同的散射。MCE 便是通过接收声学微气泡的背向散射信号而实现心肌灌注显像,从而增强血液散射,提高血管及心肌的显影<sup>[21-22]</sup>。该

微泡直径小于红细胞,能经外周静脉、肺循环到达左心,之后可以自由通过心肌内毛细血管,使冠状动脉微循环显影。且此微泡造影剂由于材质特殊,一般不被心肌细胞吸收或进入细胞间隙,能较长时间存在于血管腔内,与人体红细胞具有极为相似的血流动力学。因此该微泡造影剂可作为极好的红细胞示踪剂,通过在超声心动图下的显影情况来反映局部心肌微循环的血流灌注情况,进而评价存活心肌<sup>[23-25]</sup>。

MCE 过程中观察到的视频密度即心肌显影强度,心肌显影强度反映了心肌内微气泡浓度,也与局部冠状动脉微循环的密度及其相对血容量成正比<sup>[21]</sup>,因此观察心肌显影强度可以半定量评价存活心肌。另外,已有不少研究表明心肌血管腔内微气泡被高能超声束破坏后,造影剂的再充盈速度能反映心肌血流速度<sup>[8]</sup>。早期的实验研究亦证实微气泡的脉冲间期与声学强度之间呈指数关系,并适用于公式  $Y = A(1 - e^{-\beta t})$ ,  $A$  为微泡在血管床中的浓度,可反映心肌血液容积; $\beta$  为微泡被高能量脉冲破坏后再次出现的速度,代表心肌血流速度; $A \times \beta$  可代表局部心肌血流量。并有研究显示  $A \times \beta < 0.23$  提示为坏死心肌。因此通过 MCE,可以预估冠状动脉血流储备,对心肌微循环进行半定量、定量的评价,为检测心肌微循环血流灌注的完整性奠定了基础<sup>[26]</sup>,也为心肌存活性的评估提供了较为可靠的方法。

### 3 MCE 评价存活心肌的应用及优势

临床上,MCE 常通过肘正中静脉注入一定量的六氟化硫微气泡造影剂和 0.9% NaCl 注射液混合液体,通过静脉到达右心,又经肺循环到左心,进而随冠状动脉血流进入心肌各级微血管分支<sup>[27]</sup>。而冠状动脉微循环正是心肌细胞和血液进行物质、能量、信息交换传递的场所<sup>[16]</sup>,微循环的血流灌注状况直接影响着心肌的功能。有实验表明,心肌是否能够维持正常的收缩、舒张功能取决于冠状动脉微循环血流灌注的完整性,同时冠状动脉微循环是缺血受损心肌恢复局部功能、维持生命力的必要条件,且微循环的血流灌注情况与局部心肌的存活性平行相关<sup>[28-29]</sup>。由此可见,若 MCE 显示某一区域造影剂灌注分布缺失,就可以认为该区域无存活心肌。

急性冠状动脉综合征包括不稳定型心绞痛、非

ST 段抬高型心肌梗死和 ST 段抬高型心肌梗死,患者临床症状明显,主要的治疗目标是尽快解除受累血管的血流受阻情况,恢复受损心肌的血流灌注。临床上并非每例患者在梗死相关动脉恢复通畅后,微循环血流都能得到再通<sup>[5]</sup>,这取决于缺血持续时间、程度和梗死区域的侧支循环情况。而长期持续的慢性心肌缺血患者,比如冠状动脉慢性完全闭塞病变,是指冠状动脉在粥样硬化病变基础上,由于斑块破裂、血栓形成、机化再生等原因,导致冠状动脉血管完全闭塞,且闭塞病史  $\geq 3$  个月<sup>[30]</sup>。多数学者认为,冠状动脉慢性完全闭塞病变并非完全引起心肌坏死,积极开通闭塞血管,能够抑制心室重构,改善心脏功能。而且随着近年来医学技术的不断进步,冠状动脉慢性完全闭塞病变再通成功率已可达 90% 左右<sup>[31-33]</sup>,且手术并发症的发生率降低。但相对于非慢性完全闭塞病变来说,慢性完全闭塞病变介入术时间更长,操作亦更复杂,手术并发症发生率更高,同时患者及手术医师的潜在损害风险更大<sup>[9]</sup>。在机体冠状动脉微循环受损的情况下,若存活心肌较少,即使成功开通冠状动脉慢性完全闭塞病变患者的心脏大血管,患者术后心功能并未获得明显改善<sup>[34]</sup>。

因此存活心肌的识别在制订冠心病治疗方案、评估预后、节省医疗费用、避免不必要的损伤等方面具有重要作用。近年来随着医疗设备及医学技术的飞速发展,检测存活心肌的方法也越来越多,而选择最合适的方案才能使患者最大程度受益。

正电子发射断层扫描显像被认为是评价存活心肌的“金标准”,可同时检测心肌灌注和心肌代谢。但设备昂贵、检查费用高、药源不便以及影响糖尿病患者的检测结果等因素,大大限制了其在临床上的广泛开展<sup>[35]</sup>。单光子发射计算机断层显像通过检测心肌细胞膜的完整性来判断心肌是否存活,其显像灵敏度高,特异度低<sup>[36]</sup>。有研究显示与单光子发射计算机断层显像相比,MCE 检测存活心肌与其灵敏度相似,特异度更高<sup>[37]</sup>。且单光子发射计算机断层显像成本高、有辐射、空间分辨率低,临床上未被大部分患者所接受。心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)具有无辐射、无创伤、分辨率高、主观因素小等特点,近年来逐渐被越来越多的人重视。Tousek 等<sup>[38]</sup>的研究显示 MCE 与增强磁共振相

比较,检测存活心肌的灵敏度相差不大,分别为 78%、87%,但 MCE 具有更高的特异度(72% 比 52%, $P < 0.01$ ),且 MCE 因其价格便宜,更容易被广泛应用于临床。而多巴酚丁胺负荷超声心动图(dobutamine stress echocardiography, DSE)识别存活心肌的灵敏度及特异度分别为 88.9%、83.1%<sup>[39]</sup>,且有研究显示,MCE 检测存活心肌的特异性与其相似,而敏感性优于 DSE<sup>[40]</sup>。

除此之外,Korosoglou 等<sup>[41]</sup>对 41 例左心室射血分数  $< 40\%$  的慢性缺血性心脏病患者进行 MCE 定量研究,并与 DSE 试验、单光子发射计算机断层显像、正电子发射断层显像对比,显示 MCE 预测存活心肌的灵敏度、特异度分别为 86%、43%,核素法为 90%、44%,两者预测能力相似;而定量 MCE 联合 DSE 后灵敏度、特异度、准确度分别为 96%、63%、83%,有更高的预测价值。综上所述,MCE 在检测存活心肌方面具有较高的敏感性,联合 DSE 则会进一步提高敏感性和特异性。综合费用、操作难易程度、分辨率、有无辐射等条件,在检测存活心肌中,MCE 是最容易被广大患者所接受并且应用于临床的方法。

#### 4 小 结

随着对疾病的研究,以及医疗技术的进步与发展,越来越多的患者能够得到及时的救治,但仍有相当一部分冠心病患者并没有在血运重建术后获得应有的受益,这就取决于存活心肌的存在与否。过去人们注重提高介入术的水平,追求让患者能够得到及时的干预,解除大血管的狭窄或阻塞,而如今,则需要更注重评价有无存活心肌,在不耽误病情的基础上,为患者找到更为精确的个体化治疗方案。

MCE 近年来逐渐被人们所关注,它操作简单、无创、安全、费用易被接受,且多个试验也证实其在检测存活心肌方面具有较高的敏感性与特异性,能较准确地从微循环角度判断出存活心肌,进而指导临床决策、判断疗效及预后,并避免不必要的花费与痛苦,为患者带来更多的受益。然而,目前 MCE 仍未广泛应用于临床,加之也有超声衰减、伪像、回声失落、主观因素影响等不足,仍需要更大规模的临床研究来证实其检测存活心肌的实际意义与价值。相信随着技术的不断进步,设备的不断完善,造影剂的不断改进,MCE 会发挥出相应的临床价值,为广大

患者提供新的诊疗选择方案,让更多的就诊者得到实际有效的获益。

#### 参考文献

- [1] Yang G, Wang Y, Zeng Y, *et al.* Rapid health transition in China, 1990—2010: Findings from the Global Burden of Disease Study 2010 [J]. *Lancet*, 2013, 381 (9882): 1987-2015.
- [2] Ahern RM, Lozano R, Naghavi M, *et al.* Improving the public health utility of global cardiovascular mortality data: The rise of ischemic heart disease [J]. *Popul Health Metr*, 2011, 9 (1): 8.
- [3] Mendes A. Coronary heart disease: Self-care, communication and quality of life [J]. *Br J Community Nurs*, 2015, 20 (1): 42.
- [4] Brusckhe AV, Sheldon WC, Shirey EK, *et al.* A half century of selective coronary arteriography [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54 (23): 2139-2144.
- [5] Ito H, Tomooka T, Sakai N, *et al.* Lack of myocardial perfusion immediately after successful thrombolysis. A predictor of poor recovery of left ventricular function in anterior myocardial infarction [J]. *Circulation*, 1992, 85 (5): 1699-1705.
- [6] Kaul S, Ito H. Microvasculature in acute myocardial ischemia: Part II: Evolving concepts in pathophysiology, diagnosis, and treatment [J]. *Circulation*, 2004, 109 (3): 310-315.
- [7] Jespersen L, Hvelplund A, Abildstrøm SZ, *et al.* Stable angina pectoris with no obstructive coronary artery disease is associated with increased risks of major adverse cardiovascular events [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33 (6): 734-744.
- [8] 徐磊, 刘宏宇. 心肌超声造影评价存活心肌的应用进展 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2012, 19 (5): 551-554.
- [9] 杨波, 邓云超, 谭利国, 等. 冠状动脉慢性完全闭塞病变治疗研究进展 [J]. *中国心血管病研究*, 2016, 14 (11): 965-969.
- [10] 王龙彪, 王惜诵, 李伟. PET/MRI 融合显像对存活心肌评价的研究进展 [J]. *解放军医药杂志*, 2011, 23 (6): 50-52.
- [11] 丁尚伟. 实时心肌超声造影结合多巴酚丁胺负荷试验对急性心肌梗死犬存活心肌的定量研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [12] 刘文慈, 崔冰. 评估心肌存活性的影像学研究进展 [J]. *广东医学*, 2011, 32 (21): 2874-2876.
- [13] Patel P, Ivanov A, Ramasubbu K. Myocardial Viability and Revascularization: Current Understanding and Future Directions [J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2016, 18 (6): 1-7.
- [14] Bax JJ, Delgado V. Detection of viable myocardium and scar tissue [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16 (10): 1062-1064.
- [15] 孙某某, 李剑明, 刘志刚. PET/CT 检测冠状动脉旁路移植术患者存活心肌的研究进展 [J]. *医学综述*, 2017, 23 (16): 3291-3295.
- [16] 张晓晖. 微循环阻力指数评估冠脉微循环障碍及其与冠心病危险因素聚集的相关性研究 [D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [17] Fearon WF, Low AF, Yong AS, *et al.* Prognostic value of the Index of Microcirculatory Resistance measured after primary percutaneous coronary intervention [J]. *Circulation*, 2013, 127 (24):

- 2436-2441.
- [18] Martínez GJ, Yong AS, Fearon WF, *et al.* The index of microcirculatory resistance in the physiologic assessment of the coronary microcirculation [J]. *Coron Artery Dis*, 2015, 26 Suppl 1 :e15-26.
- [19] 玄昌波, 王显. 冠状动脉微循环障碍研究进展 [J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2016, 8(10) :1275-1278.
- [20] 杨四花, 端木伟文. 超声心动图评价存活心肌的研究进展 [J]. *医学综述*, 2012, 18(19) :3262-3264.
- [21] 王煜伦, 孙根义. 心肌造影及负荷超声心动图评价存活心肌的研究进展 [J]. *天津医科大学学报*, 2008, 14(4) :585-588.
- [22] 蒲冬玉, 邢艳秋. 心肌声学造影的发展及研究现状 [J]. *医学综述*, 2014, 12(24) :4531-4533.
- [23] 王宇航, 杜国庆. 超声心动图评价心肌梗死面积的研究进展 [J]. *医学影像学杂志*, 2017, 27(4) :759-761.
- [24] Li DY, Liang L, Xu TD, *et al.* The value of quantitative real-time myocardial contrast echocardiography for detection of angiographically significant coronary artery disease [J]. *Clin Cardiol*, 2013, 36(8) :468-474.
- [25] Li X, He S, Zhang YS, *et al.* Resting myocardial contrast echocardiography for the evaluation of coronary microcirculation dysfunction in patients with early coronary artery disease [J]. *Clin Cardiol*, 2016, 39(8) :453-458.
- [26] 刘娅妮, 邓又斌. 心肌造影超声心动图与存活心肌的检测 [J]. *中国医学影像技术*, 2004, 20(1) :153-155.
- [27] Yu J, Han J, Mao J, *et al.* Association between serum uric acid level and the severity of coronary artery disease in patients with obstructive coronary artery disease [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2014, 127(6) :1039-1045.
- [28] Galiuto L, Locorotondo G, Paraggio L, *et al.* Characterization of microvascular and myocardial damage within perfusion defect area at myocardial contrast echocardiography in the subacute phase of myocardial infarction [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012, 13(2) :174-180.
- [29] 徐海涛. 实时心肌声学造影结合多巴酚丁胺负荷对冠心病介入治疗前后心肌灌注的评价 [J]. *中外医学研究*, 2015, 13(15) :39-41.
- [30] King SB 3rd, AvPrsann T, Ballard WL, *et al.* ACCF/AHA/SCAI2007 update of the clinical competence statement on cardiac interventional procedures: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training (writing Committee to Update the 1998 Clinical Competence Statement on Recommendations for the Assessment and Maintenance of Proficiency in Coronary Interventional Procedures) [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50(1) :82-108.
- [31] Sapontis J, Christopoulos G, Grantham JA, *et al.* Procedural failure of chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: Insights from a multicenter US registry [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 85(7) :1115-1122.
- [32] Amsavelu S, Christakopoulos GE, Karatasakis A, *et al.* Impact of crossing strategy on intermediate-term outcomes after chronic total occlusion percutaneous coronary intervention [J]. *Can J Cardiol*, 2016, 32(10) :1239. e1-1239. e7.
- [33] Habara M, Tsuchikane E, Muramatsu T, *et al.* Comparison of percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion outcome according to operator experience from the Japanese retrograde summit registry [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 87(6) :1027-1035.
- [34] 徐磊, 刘畅, 修春红, 等. 实时心肌超声造影检测冠状动脉慢性完全闭塞患者存活心肌 [J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2013, 29(10) :600-603.
- [35] 高蕊, 齐向前. 冠心病存活心肌识别方法 [J]. *医学综述*, 2017, 23(23) :4699-4703.
- [36] Schinkel AF, Valkema R, Geleijnse ML, *et al.* Single-photon emission computed tomography for assessment of myocardial viability [J]. *EuroIntervention*, 2010, 6 Suppl G:G115-122.
- [37] Hickman M, Janardhanan R, Dwivedi G, *et al.* Clinical significance of perfusion techniques utilising different physiological mechanisms to detect myocardial viability: A comparative study with myocardial contrast echocardiography and single photon emission computed tomography [J]. *Int J Cardiol*, 2007, 114(1) :139-140.
- [38] Tousek P, Penicka M, Tintera J, *et al.* Identification of hibernating myocardium with myocardial contrast echocardiography: Comparison with late gadolinium-enhanced magnetic resonance [J]. *Int J Cardiol*, 2008, 128(1) :117-120.
- [39] 黄晓东. 小剂量多巴酚丁胺负荷超声心动图关于心肌梗死患者心肌存活性检测的研究 [J]. *中外医疗*, 2013, 32(18) :184.
- [40] Hickman M, Chelliah R, Burden L, *et al.* Resting myocardial blood flow, coronary flow reserve, and contractile reserve in hibernating myocardium: Implications for using resting myocardial contrast echocardiography vs. dobutamine echocardiography for the detection of hibernating myocardium [J]. *Eur J Echocardiogr*, 2010, 11(9) :756-762.
- [41] Korosoglou G, Hansen A, Hoffend J, *et al.* Comparison of real-time myocardial contrast echocardiography for the assessment of myocardial viability with fluorodeoxyglucose-18 positron emission tomography and dobutamine stress echocardiography [J]. *Am J Cardiol*, 2004, 94(5) :570-576.

收稿日期:2018-09-01 修回日期:2019-03-23 编辑:相丹峰