

PET/SPECT 核素心肌显像对存活 心肌检测的研究进展

韩梦月¹ 谢锋¹ 吴天慧¹ 李雪¹ 嘉宝¹

[摘要] 核素心肌显像是心脏功能检查的方法之一,可以对心肌存活进行评估,了解缺血或梗死心肌的具体情况。正电子发射断层成像术(PET)及新型半导体单光子发射计算机断层成像术(SPECT)心肌血流绝对定量分析,为冠状动脉微循环病变的诊断提供重要依据,对缺血性心脏病及特殊人群心肌缺血的早期诊断、临床分级及治疗具有重要意义。

[关键词] 冠状动脉疾病;存活心肌;正电子发射断层成像术;单光子发射计算机断层成像术

doi:10.13201/j.issn.1001-1439.2020.09.003

[中图分类号] R541.4 **[文献标志码]** A

Radionuclide myocardial imaging evaluates the survival myocardium

HAN Mengyue XIE Feng WU Tianhui LI Xue JIA Bao

(Department of Nuclear Medicine, Liaoning Provincial People's Hospital, Shenyang, 110000, China)

Corresponding author: XIE Feng, E-mail: 17824930953@163.com

Summary Radionuclide myocardial imaging is one of the methods widely used in cardiac function examination and can evaluate the survival myocardium of patients, and understand the ischemic or infarcted myocardium. The absolute quantitative analysis of myocardial blood flow by PET and new semiconductor SPECT provides important basis for the diagnosis of coronary microcirculation disease, and is of great significance for the early diagnosis, clinical grading and treatment of ischemic heart disease (IHD) and special population.

Key words coronary artery disease; viable myocardium; positron emission tomography; single-photon emission computed tomography

冠心病可以通过药物或手术介入治疗,改善血流灌注情况,从而缓解患者症状。对于严重的缺血性心肌病是否要进行血运重建依然未达成共识。并非所有患者介入治疗后临床症状能得到改善,部分临床症状改善及心功能提高的患者的共同特点是,存活心肌数量多及存活心肌面积占心室百分比高^[1-2]。对于大部分心肌细胞已经坏死的缺血性心肌经再血管化治疗后,缺血部分的心肌功能不会有很大改善,还增加了对其他心肌的损害,因此了解梗死区域心肌细胞是否存活及存活心肌的面积对患者治疗方案的确立有极大指导意义^[3]。

1 存活心肌的检测方法

随着研究的深入,得知在坏死区域内还可能存有存活心肌(顿抑心肌、冬眠心肌及伤残心肌)。检测存活心肌方法有心肌声学造影、正电子发射断层成像术(PET)、单光子发射计算机断层成像术(SPECT)及心脏MRI等。

2 PET 心肌显像

PET 利用细胞内生化途径来评估心肌组织的代谢活性,它将心肌灌注数据与各种放射性示踪剂结合起来评估心肌代谢。PET 心肌代谢成像主要依赖于 18F-FDG 的葡萄糖代谢。核素心肌显像在评估存活心肌的数量和面积及患者治疗方法的选

择上具有极大指导作用^[4-6]。有临床研究用 18F-FDG PET 评估心肌存活^[7],表明心肌代谢显像对于冠状动脉旁路移植术的筛选及预后都具有重要意义。处在冬眠状态的心肌经过血运重建术后,临床症状明显改善,患者预后较好^[8]。严重左心室功能障碍者也可采用核素心肌代谢显像,对存活心肌及左心室重构情况进行评估^[9]。PET 心肌代谢显像是评价心肌存活的“金标准”^[10],已被证实在临床中具有很高的可操作性^[11-12]。研究表明,PET 灌注和代谢的不匹配程度与血管重建之间存在相互作用,当血管重建时,较高的不匹配会产生较少的主要突发事件。当不匹配程度很小(<7%)时,血管重建的益处较少。当不匹配增加到左心室 7%以上时,血管重建的风险降低。对于严重冠状动脉疾病患者旁路移植术前行 PET 检查显示灌注和代谢不匹配程度较大时,其生存率明显高于接受药物治疗的患者。因此,严重的冠状动脉疾病患者的存活心肌数量对治疗方案的选择具有重要意义。在血运重建决策过程中还需要考虑的其他重要因素包括肾功能恶化和左室射血分数(LVEF),这与血运重建的不匹配效益有交互作用,这些发现已被 Meta 证实分析^[13]。

慢性冠状动脉完全闭塞(CTO)患者如何选择最佳的治疗策略依然是一个挑战,PET 可以对存活心肌数量及范围进行评估,了解左室整体收缩功

¹辽宁省人民医院核医学科(沈阳,110000)
通信作者:谢锋,E-mail:17824930953@163.com

能,得到心室重构参数,这对于评估患者 NYHA 心功能的预后具有非常重要的价值^[14]。有研究通过 PET 探测左心室室壁瘤存活心肌并对患者预后做出评估,这对室壁瘤患者治疗方案确定具有很大意义^[15]。梗死瘢痕面积比例越多,血运重建术后心功能改善情况越不明显。存活心肌数量及面积较多者,患者预后较好。

最初冠状动脉疾病主要关注心外膜冠状动脉是否狭窄及堵塞,临床往往依靠冠状动脉造影(CAG)显示冠状动脉狭窄 $>70\%$ 即认为可引起心肌缺血,但是心肌缺血与冠状动脉解剖上的狭窄并非完全一致,冠状动脉微血管病变也可导致心肌缺血。心肌灌注显像视觉或半定量分析是以显像剂摄取最高的心肌节段作为参考,但如果显像剂摄取最高的心肌节段是病变血管供应部位,这样会无形中忽略一部分冠状动脉疾病。所以近来心脏 PET/CT 心肌灌注显像在心肌血流绝对定量分析的应用受到重视,其对冠状动脉微血管病变及缺血性心脏病患者提供重要的诊断价值,但其也具有自身的局限性,其无法确定心外膜大血管的狭窄还是冠状动脉微循环病变,这时就要结合 CAG 共同分析。PET/CT 可测定心肌血流量(MBF)及冠状动脉血流储备(CFR)。CFR 是负荷与静息 MBF 比值。CFR 正常范围是 3~5,CFR <2 表示心肌灌注储备不足。PET 心肌灌注显像测量 CFR 及 MBF,可以对非阻塞性 CMVD 的早期诊断和临床干预起重要作用^[16]。

3 SPECT 心肌灌注显像

在临床应用中,SPECT 依旧占据着主要地位,SPECT 心肌灌注显像有静息显像和负荷显像。心肌负荷灌注显像分为药物负荷和运动负荷,其中药物负荷常用药物有腺苷,多数研究表明药物负荷具有显著优势^[17]。药物负荷显像被相关指南推荐用于冠状动脉疾病的诊断和治疗。新负荷药物(热伽腺苷)开始用于临床^[18]。

随着示踪剂的不断开发和研究,SPECT 的发展可能会有更大的空间。门控心肌灌注显像采用门电路技术可连续断层采集,还可获得 LVEF、舒张末期容积(EDV)、收缩末期容积(ESV)及室壁运动图像,门控心肌灌注显像可鉴别无运动或运动不明显的梗死节段和正常运动因软组织干扰产生灌注缺损的正常节段^[19]。相位分析的机械收缩同步性参数与超声心动图的 LVEF、E/A、E/E 有很好相关性^[20]。心肌灌注显像对于冠心病的诊断价值已经得到肯定^[21],部分研究表明,运动负荷显像在诊断冠心病方面的灵敏度更高一些^[22]。张琳等^[23]通过实验得出:对 LVEF $>45\%$ 怀疑心肌缺血的患者,运动负荷能更好反映患者真实情况。研究提出了 ^{99m}Tc MIBI SPECT 负荷心肌灌注显像在冠

状动脉临界病变危险分层中具有很大价值,其可以评价冠状动脉病理生理情况,评估心肌缺血面积,对患者治疗具有指导意义^[24]。无症状糖尿病患者发生无症状心肌缺血的概率很高^[25],SPECT 心肌灌注显像心肌缺血与病死率和心血管不良事件的高风险相关^[26]。心肌灌注显像还能提供 LVEF、EDV、ESV 等,可以作为无创性手段更好对冠心病患者分级,使患者获得更多益处^[27]。

门控单光子发射计算机断层成像心肌灌注显像(GSMPI)可同时实现对心肌灌注缺损及心室功能的定量评价,心肌灌注显像会得到更好应用^[28]。近年来,新型半导体心脏专用单光子发射型计算机断层显像仪的出现推动了心脏核医学进一步发展,其采用碲锌镉(CZT)晶体结构,与普通的碘化钠 SPECT 相比,空间分辨率及灵敏度都有所提高,扫描时间缩短,患者接受的辐射剂量减低。马荣政等^[29]采用多针孔 CZT 心脏专用 SPECT 仪(CZT-SPECT)行心肌动态 SPECT 显像,在图像处理过程中经完整物理校正同样能准确提供心肌血流绝对定量测定的信息,因此 SPECT 同样可用于冠状动脉微血管病变诊断,对于缺血性心脏病患者及特殊人群心肌缺血患者的早期诊断和治疗具有重要意义。PET 是心肌血流测定的金标准,但由于价格较高,临床应用具有一定限制,随着新型半导体 SPECT 的发展,其在心肌血流绝对定量分析的应用会越来越广泛。

4 PET 与 SPECT 的比较

目前美国心脏病学学院和美国心脏协会关于心力衰竭管理的指导方针指出,对于那些已知冠状动脉病变的初发心力衰竭无心绞痛患者,除非患者没有资格进行任何类型的血运重建(II a),都应利用核素心肌显像检测心肌缺血和存活心肌,这也同步说明了核素心肌显像的重要性^[30]。在当今时代,SPECT 技术在评估心肌存活率方面依旧具有重要地位,心脏计算机断层扫描也有助于评估心脏病患者的冠状动脉。随着 PET 成像的发展,人们对利用 PET 检测存活心肌的兴趣越来越大,这是因为 PET 的图像质量的提高和数据准确性更高,特别是对于肥胖患者, ^{18}F -氟脱氧葡萄糖(FDG) PET 具有更高的阳性和阴性预测值、更少的辐射暴露、更快捷的协议扫描方案。PET 不受心律失常的限制,可安全地应用于危重患者、晚期肾病患者、体内安装起搏器等金属嵌件的患者。Beanlands 等^[31]研究得出 PET 具有更高的灵敏度和准确性。Knesaurek 等^[32]临床试验表明:PET 的分辨率及灵敏度更高。汪娇等^[33]对比研究了 PET 和 SPECT 在评估存活心肌方面参数差异和影响因素,前者心肌图像质量明显优于后者。

^{18}F -FDG PET 和 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 核素

心肌显像两者在一定意义上具有互相补充作用。张颖等^[34]通过联合 18F-FDG PET 和 99mTc-MIBI SPECT 核素心肌显像对小型猪室壁瘤模型研究,对室壁瘤周围不同部位心肌代谢和灌注情况进行研究,为室壁瘤的发生过程提供新的方向。李树恒等^[35]利用双核素显像研究 CTO 中侧支循环与心肌放射性核素显像关联,得出侧支循环维持心肌灌注、存活及左室功能。Tsai 等^[36]对 PET 及 SPECT 进行对比研究,得出结果:SPECT 也可准确评估心肌存活。在诊断冠状动脉微血管病变中,PET 及 SPECT 心肌灌注显像均可测定 MBF 及 CFR,对于缺血性心脏病及特殊人群的心肌缺血的诊断提供重要依据,但 PET 心肌灌注显像价格较高,SPECT 降低了示踪剂和扫描仪的成本,部分学者认为 SPECT 在一定程度上可以替代 PET。

5 检测存活心肌的意义

在核素心肌显像中存活心肌数量较多的患者,经血运重建术后心功能得到改善,自身预后较好^[37-38]。对严重冠状动脉疾病患者评估存活心肌的数量及面积,可预判患者是否能从血运重建中获益,并及时选择血运重建术或药物治疗,尽早拯救存活心肌,恢复局部心肌血流灌注,这样可减轻患者经济负担及对正常心肌不必要的伤害。

6 总结

核素心肌显像(PET、SPECT)在心脏病诊断方面中具有自己独特价值。核素心肌显像预测患者是否受益于血管重建,这对治疗方案的选择具有重要意义。对于一些严重的冠状动脉疾病治疗策略的选择时,可以对患者先行心肌核素显像,对患者心肌的具体情况以及心功能的相关参数进行评估,从而确定最佳治疗方案。在考虑价格、技术以及未来发展趋势及患者具体临床情况时,可以考虑利用 SPECT 显像在一定程度上替代 PET 显像。另外 PET 或 SPECT 心肌血流量绝对定量分析对冠状动脉微血管病变的诊断提供重要诊断依据,并依据 CFR 判断冠脉血流储备情况,对缺血性心脏病及特殊人群的心肌缺血的早期诊断具有重要作用。随着新型半导体 SPECT 的出世,在一定程度上可代替 PET 心肌血流绝对定量分析。

参考文献

[1] Cortigiani L, Bigi R, Sicari R. Is viability still viable after the STICH trial? [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2012, 13(3): 219-26.

[2] Arrighi JA, Dilsizian V. Multimodality imaging for assessment of myocardial viability: nuclear, echocardiography, MR, and CT [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2012, 14(2): 234-243.

[3] Sharir T, Germano G, Kang X, et al. Prediction of myocardial infarction versus cardiac death by gated myocardial perfusion SPECT: Risk stratification by the a-

mount of stress-induced ischemia and the poststress ejection fraction[J]. *J Nucl Med*, 2001, 42(6): 831-837.

- [4] 林振宇. 核素心肌灌注显像在冠心病中的应用进展[J]. *心血管病学进展*, 2013, 34(5): 626-630.
- [5] 高玲, 贾鹏, 李爱梅. 核素心肌灌注显像测量心肌梗死大小临床应用分析[J]. *山西医药杂志(下半月版)*, 2011, 40(20): 1005-1006.
- [6] 黄中柯, 楼岑, 史国华, 等. 99mTc-MIBI 和 18F-FDG 双核素同步显像在心梗死诊疗中的价值[J]. *浙江大学学报(医学版)*, 2010, 39(5): 530-533.
- [7] Tillisch J, Brunken R, Marshall R, et al. Reversibility of cardiac wall-motion abnormalities predicted by positron tomography[J]. *N Engl J Med*, 1986, 314(14): 884-888.
- [8] Ling LF, Marwick TH, Flores DR, et al. Identification of therapeutic benefit from revascularization in patients with left ventricular systolic dysfunction: inducible ischemia versus hibernating myocardium[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(3): 363-372.
- [9] The task force on myocardial revascularization of the European Society of Cardiology(ECS) and the European Association for Cardio-thoracic Surgery(EACTS). Guidelines on myocardial revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2010, 31(20): 2501-2555.
- [10] Nekolla SG, Martinez-Moeller A, Saraste A. PET and MRI in cardiac imaging: from validation studies to integrated applications[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2009, 36(Suppl 1): 121-130.
- [11] Todaica A, Brunner S, Boning G, et al. 68Ga-Albumin-PET in the monitoring of left ventricular function in murine models of ischemic and dilated cardiomyopathy: comparison with cardiac MRI[J]. *Mol Imaging Biol*, 2013, 15(4): 441-449.
- [12] Handa N, Magata Y, Mukai T, et al. Quantitative FDG-uptake by positron emission tomography in progressive hypertrophy of rat hearts in vivo[J]. *Ann Nucl Med*, 2007, 21(10): 569-576.
- [13] Anavekar NS, Chareonthaitawee P, Narula J, et al. Revascularization in patients with severe left ventricular dysfunction: is the assessment of viability still viable? [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(24): 2874-2887.
- [14] 翟光耀, 王建龙, 刘宇扬, 等. 18F-FDG PET/CT 心肌代谢显像和侧支循环形成对于冠状动脉慢性闭塞性病变心功能预后价值的比较分析[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(17): 1342-1346.
- [15] 杨易剑, 侯翠红, 田丛娜, 等. 18F-氟代脱氧葡萄糖心肌代谢显像探测左心室室壁瘤的存活心肌及其合并室性心律失常对患者长期预后的影响[J]. *中国循环杂志*, 2015, (12): 1152-1156.
- [16] 盖婉丽, 武萍, 梁云亮, 等. PET 心肌血流绝对定量对非阻塞性冠状动脉微血管疾病的诊断及危险因素评估[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2019, 39(8): 478-483.

- [17] Vasu S, Bandettini WP, Hsu LY, et al. Regadenoson and adenosine are equivalent vasodilators and are superior than dipyridamole—a study of first pass quantitative perfusion cardiovascular magnetic resonance [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013, 15:85.
- [18] Watkins S, McGeoch R, Lyne J, et al. Validation of magnetic resonance myocardial perfusion imaging with fractional flow reserve for the detection of significant coronary heart disease[J]. *Circulation*, 2009, 120(22):2207—2213.
- [19] Hsu TH, Huang WS, Chen CC, et al. Left ventricular systolic and diastolic dyssynchrony assessed by phase analysis of gate SPECT myocardial perfusion imaging: a comparison with speckle tracking echocardiography [J]. *Ann Nucl Med*, 2013, 27(8):764—771.
- [20] Lester D, El-Hajj S, Farag AA, et al. Prognostic value of transient ischemic dilation with regadenoson myocardial perfusion imaging[J]. *J Nucl Cardiol*, 2016, 23(5):1147—1155.
- [21] Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH, et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the cardiac radionuclide imaging—Executive Summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 42(7):1318—1333.
- [22] Underwood SR, Anagnostopoulos C, Cerqueira M, et al. Myocardial perfusion scintigraphy: the evidence [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2004, 31(2):261—291.
- [23] 张琳, 严松彪, 陈晖, 等. 运动负荷 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像对左心室射血分数 $>45\%$ 的怀疑心肌缺血患者的预后价值[J]. *解放军医学院学报*, 2017, 38(11):1018—1021, 1025.
- [24] 李勇, 张海山, 胡文强, 等. ATP 负荷 (^{99m}Tc) -MIBI 门控心肌 SPECT 显像在冠状动脉临界病变危险分层中的价值[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2018, 26(6):626—632.
- [25] Wackers FJ, Young LH, Inzucchi SE, et al. Detection of silent myocardial ischemia in asymptomatic diabetic subjects: the DIAD study [J]. *Diabetes Care*, 2004, 27(8):1954—1961.
- [26] Zhang L, Li H, Zhang S, et al. Silent myocardial ischemia detected by single photon emission computed tomography (SPECT) and risk of cardiac events among asymptomatic patients with type 2 diabetes: a meta-analysis of prospective studies [J]. *J Diabetes Complications*, 2014, 28(3):413—418.
- [27] Cremer P, Hachamovitch R, Tamarappoo B. Clinical decision making with myocardial perfusion imaging in patients with known or suspected coronary artery disease [J]. *Semin Nucl Med*, 2014, 44(4):320—329.
- [28] 赵培宏, 李卫萍. 门控 SPECT 心肌灌注显像定量分析在冠心病及相关疾病中的应用进展[J]. *心血管病学进展*, 2018, 39(3):365—369.
- [29] 马荣政, 王蒙, 张宗耀, 等. 无完整物理校正对多针孔 CZT-SPECT 进行心肌血流绝对定量的影响[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2019, 39(12):720—725.
- [30] Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, et al. 2017 ACC/AHA/HFSA Focused Update of the 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of America [J]. *Circulation*, 2017, 136(6):e137—e161.
- [31] Beanlands RS, Youssef G. Diagnosis and prognosis of coronary artery disease: PET is superior to SPECT: Pro [J]. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(4):683—695.
- [32] Knešarek K, Machac J. Comparison of ^{18}F SPECT with PET in myocardial imaging: a realistic thoracic phantom study [J]. *BMC Nucl Med*, 2006, 6:5.
- [33] 汪娇, 李剑明, 李帅, 等. PET/CT 与 SPECT 检测心肌存活中影响因素与功能参数的对比研究[J]. *中国实用医刊*, 2016, 43(13):23—26.
- [34] 张颖, 田毅, 张晓丽, 等. 门控心肌灌注/代谢显像动态评估小型猪室壁瘤模型左心室功能及心室重建[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2019, 39(7):420—422.
- [35] 李树恒, 方纬, 孙晓昕, 等. 冠状动脉左前降支慢性完全闭塞病变中侧支循环与心肌存活的心肌放射性核素显像研究[J]. *中国循环杂志*, 2017, 32(4):343—347.
- [36] Tsai JP, Yun CH, Wu TH, et al. A meta-analysis comparing SPECT with PET for the assessment of myocardial viability in patients with coronary artery disease [J]. *Nucl Med Comm*, 2014, 35(9):947—954.
- [37] Cerqueira MD. Diagnosis and prognosis of coronary artery disease: PET is superior to SPECT; Con [J]. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(4):678—682.
- [38] Allman KC. Noninvasive assessment myocardial viability: current status and future directions [J]. *J Nucl Cardiol*, 2013, 20(4):618—637.

(收稿日期:2020-04-15)