

SPECT 心肌灌注显像及冠状动脉血流储备联合钙化积分诊断阻塞性冠心病的价值

孙璐冰 张杰 张莹 杨柳 李耀臻 李培 郭元琨 吴文静 谢建 崔静
阜外华中心血管病医院核医学科, 河南省人民医院核医学科, 郑州 450003
通信作者: 崔静, Email: cuijj.zzu@163.com

【摘要】 目的 研究 SPECT 心肌灌注显像 (MPI) 及冠状动脉血流储备 (CFR) 联合冠状动脉钙化积分 (CACS) 在阻塞性冠状动脉粥样硬化性心脏病 (简称冠心病) 诊断中的价值。方法 回顾性分析 2019 年 1 月至 2020 年 12 月期间在阜外华中心血管病医院完成静息/负荷 MPI、CFR 测定及 CACS 检查的疑似或确诊冠心病患者 96 例 (男 65 例、女 31 例, 年龄 30~81 岁), 以冠状动脉造影 (CAG) 为诊断标准, 计算 MPI、CFR 及其联合 CACS 诊断冠心病的灵敏度及准确性, 采用 χ^2 检验比较诊断效能。结果 MPI 诊断的灵敏度为 76.06% (54/71), 准确性为 75.00% (72/96), 联合 CACS 后灵敏度提高至 97.18% (69/71; $\chi^2 = 13.67, P < 0.001$), 准确性提高至 87.50% (84/96; $\chi^2 = 4.92, P = 0.020$), 差异有统计学意义; CFR 诊断冠心病的灵敏度为 91.55% (65/71), 准确性为 87.50% (84/96), 联合 CACS 后分别提高至 97.18% (69/71; $\chi^2 = 2.12, P = 0.137$)、89.58% (86/96; $\chi^2 = 0.21, P = 0.411$), 差异均无统计学意义。MPI 诊断三支病变冠心病的灵敏度为 70.00% (21/30), 联合 CACS 后提高至 100% (30/30; $\chi^2 = 7.75, P = 0.004$), 差异有统计学意义; 但 MPI 联合 CACS 诊断单支及双支病变的灵敏度无明显提高 (χ^2 值: 3.29、1.51, P 值: 0.114、0.416)。结论 MPI 联合 CACS 可以显著提高对三支病变患者的诊断灵敏度, 从而提高 MPI 对冠心病的诊断效能; 但 CFR 联合 CACS 后对冠心病的诊断效能无明显提高。

【关键词】 冠心病; 心肌灌注显像; 血流储备分数, 心肌; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 体层摄影术, X 线计算机; 99m 锝甲氧基异丁基异腈; 冠状血管造影术

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20211123-00416

Value of SPECT myocardial perfusion imaging and coronary flow reserve combined with coronary artery calcium score in the diagnosis of obstructive coronary artery disease

Sun Lubing, Zhang Jie, Zhang Ying, Yang Liu, Li Yaozhen, Li Pei, Guo Yuankun, Wu Wenjing, Xie Jian, Cui Jing

Department of Nuclear Medicine, Fuwai Central China Cardiovascular Hospital; Department of Nuclear Medicine, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Cui Jing, Email: cuijj.zzu@163.com

【Abstract】 Objective To study the value of myocardial perfusion imaging (MPI) and coronary flow reserve (CFR) combined with coronary artery calcium score (CACS) in the diagnosis of obstructive coronary artery disease (CAD). **Methods** From January 2019 to December 2020, 96 confirmed or suspicious CAD patients (65 males, 31 females; age: 30–81 years) who completed rest/stress MPI, CFR and CACS deflection in Fuwai Central China Cardiovascular Hospital were retrospectively analyzed. Coronary angiography (CAG) was used as the diagnostic standard to calculate the sensitivity and accuracy of MPI, CFR and MPI/CFR combined with CACS in the diagnosis of CAD. The χ^2 test was used to compare the diagnostic efficiency of different methods. **Results** The diagnostic sensitivity of MPI was 76.06% (54/71), and the accuracy was 75.00% (72/96), while the sensitivity increased to 97.18% (69/71; $\chi^2 = 13.67, P < 0.001$) and the accuracy increased to 87.50% (84/96; $\chi^2 = 4.92, P = 0.020$) with significant differences after combined with CACS. The sensitivity and accuracy of CFR were 91.55% (65/71) and 87.50% (84/96), which increased to 97.18% (69/71; $\chi^2 = 2.12, P = 0.137$) and 89.58% (86/96; $\chi^2 = 0.21, P = 0.411$) with no significant differences after combined with CACS. The sensitivity of MPI in the diagnosis of three-vessel CAD was 70.00% (21/30), which increased to 100% (30/30; $\chi^2 = 7.75, P = 0.004$) after combined with CACS; while the sensitivity of MPI combined with CACS in the diagnosis of single-vessel and double-vessel CAD were not significantly improved (χ^2 values: 3.29, 1.51, P values: 0.114, 0.416). **Conclusion** The combination of MPI and CACS can significantly improve the diagnostic efficiency of CAD, contributed by the improvement of the diagnostic sensitivity in three-vessel disease; whereas the diagnostic efficiency of CFR for CAD is not significantly improved after combined with CACS.

【Key words】 Coronary disease; Myocardial perfusion imaging; Fractional flow reserve, myocardial;

Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed; Technetium Tc 99m sestamibi; Coronary angiography

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20211123-00416

SPECT 心肌灌注显像 (myocardial perfusion imaging, MPI) 作为一种无创性功能学检查方法, 在冠状动脉粥样硬化性心脏病 (简称冠心病) 的诊断、危险度分层、预后判断和疗效评价等多个方面有着不可替代的作用。但由于其多使用半定量视觉评估法以及设备本身等原因, 可能低估患者心肌缺血程度甚至遗漏高风险患者^[1]。近年来碲锌镉 (cadmium zinc telluride, CZT) 晶体探测器在 SPECT 中的应用, 使其能够像 PET 一样获得心肌血流量 (myocardial blood flow, MBF) 与冠状动脉血流储备 (coronary flow reserve, CFR) 信息, 提高了诊断的准确性^[2]。研究显示, CZT-SPECT 测定的 MBF 与 CFR, 与 PET 测定的结果有很好的 consistency^[3], 并且与冠状动脉造影 (coronary angiography, CAG) 结果及其测定的血流储备分数有较好的符合率^[4]。冠状动脉钙化积分 (coronary artery calcium score, CACS) 通过 CT 扫描测定冠状动脉管壁的钙化情况, 反映冠状动脉粥样硬化钙化斑块的负荷程度及其分布情况。研究表明, CACS 可以弥补 MPI 的不足, 提高其诊断效能^[5]。本研究旨在探讨 MPI 及 CFR 联合 CACS 诊断冠心病的价值。

资料与方法

1. 研究对象。回顾性分析 2019 年 1 月至 2020 年 12 月期间在阜外华中心血管病医院核医学科顺利完成静息/腺苷药物负荷 MPI、CZT-SPECT 心肌血流量测定及 CACS 测定的疑似或确诊的冠心病患

者 96 例 [男 65 例、女 31 例, 年龄 30 ~ 81 (60.2 ± 10.7) 岁] 的影像资料。纳入标准: (1) 疑似或确诊的冠心病患者; (2) 相距 MPI 检查 2 周内完成 CAG 检查。排除标准: (1) 急性心肌梗死、急性心力衰竭、肥厚型或扩张型心肌病患者; (2) 既往有冠状动脉介入或旁路移植手术史; (3) 严重心律失常: 窦性心动过缓 (心率 < 40 次/min), 二度 II 型、三度房室传导阻滞; (4) 已知支气管哮喘史或已知对腺苷过敏; (5) 收缩压 < 90 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)。本研究符合《赫尔辛基宣言》原则, 患者均签署知情同意书。

2. 显像方法。检查前的准备: (1) 48 h 内禁用双嘧达莫、至少 36 h 内禁用含甲基黄嘌呤的药物 (氨茶碱、咖啡因)、禁食或禁饮含咖啡因及茶碱类的食品及饮料 (茶、咖啡、可乐、苏打水等); (2) 检查前停用降压及扩血管类药物 (β 受体阻滞剂、钙拮抗剂、硝酸酯类药物等) 至少 2 个生物半衰期。显像仪器为 CZT-SPECT (NM530c, 美国 GE 公司), 显像剂为 ^{99m}Tc-甲氧基异丁基异腈 (郑州原子高科股份有限公司)。显像流程见图 1。图像重建后, 使用 MyoflowQ 软件获得 CFR, 使用定量灌注 SPECT 软件获得 MPI 图像。

3. 图像分析。由 2 位有经验的核医学科医师共同协商解读 MPI 图像、CFR 及 CACS 数据, 意见不一致时由第三者裁定。MPI 图像采用视觉分析, 使用 17 节段模型和 5 点评分法, 其中前壁及前间壁相应节段为左前降支 (left anterior descending, LAD)

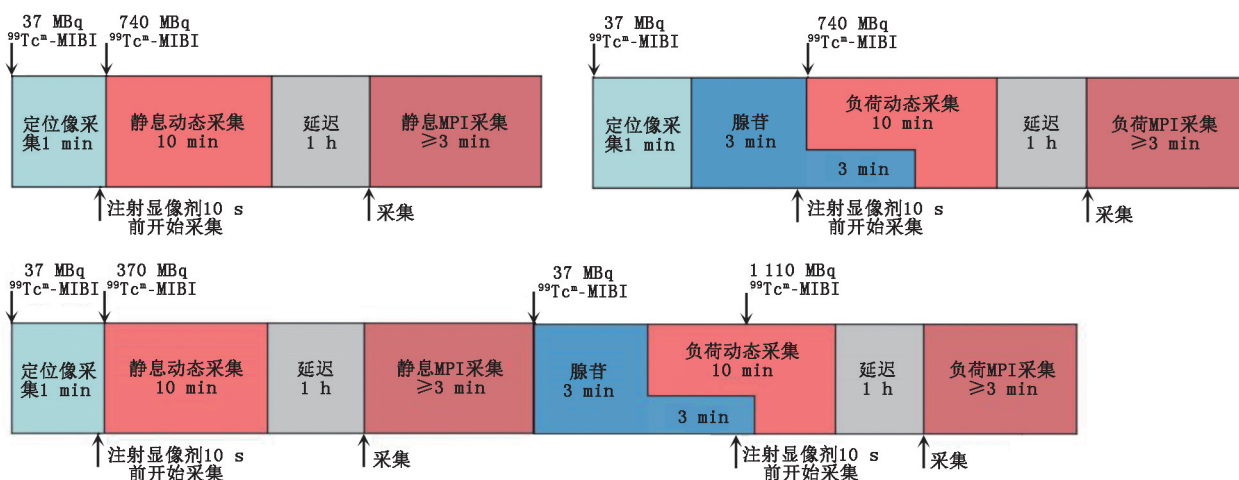


图 1 碲锌镉 (CZT)-SPECT 冠状动脉血流储备 (CFR) 检查流程。上图为“两日法”显像流程, 下图为“一日法”显像流程。腺苷药物负荷显像流程为: 于腺苷微量注射泵输注 3 min 时注射显像剂, 并同时启动图像采集, 然后继续输注腺苷 3 min (输注速度为按体质量 $0.14 \text{ mg} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)。MIBI 为甲氧基异丁基异腈, MPI 为心肌灌注显像

供血区域,侧壁相应节段为左回旋支(left circumflex, LCX)供血区域,下壁及后间壁相应节段为右冠状动脉(right coronary artery, RCA)供血区域,将 CAG 显示冠状动脉变异者剔除。CFR 诊断标准^[6]: <2 为阳性, ≥ 2 为阴性;CACS 诊断标准^[7]: <100 为阴性, ≥ 100 为阳性。诊断流程:MPI 或 CFR 结果阳性者,最终结果为阳性;MPI 或 CFR 结果阴性者,与 CACS 联合,CACS 结果阳性则最终结果为阳性,CACS 结果阴性者最终结果为阴性;以 CAG 为“金标准”,计算各组的灵敏度、特异性及准确性。

4. 阻塞性冠状动脉狭窄的定义^[8]。根据 CAG 结果将冠状动脉三支血管和其重要分支血管狭窄程度 $\geq 70\%$ 及左主干狭窄程度 $\geq 50\%$ (视为 LAD 和 LCX 两支血管狭窄)的患者纳入研究;同一支血管内有多处狭窄者取其最严重处。

5. 统计学处理。采用 IBM SPSS 22.0 软件进行统计学分析,计数资料以频数(百分比)表示。分别计算 MPI、MPI+CACS、CFR、CFR+CACS 诊断冠心病的灵敏度、特异性、准确性,使用 χ^2 检验比较各组诊断效能的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

96 例患者中,高血压者 66 例(68.8%),高脂血症者 13 例(13.5%),糖尿病者 30 例(31.3%),吸烟者 32 例(33.3%),有家族史者 20 例(20.8%);单支病变 17 例(17.7%)、双支病变 24 例(25.0%)、三支病变 30 例(31.3%)。

以 CAG 为标准,MPI 诊断的灵敏度为 76.06% (54/71)、准确性为 75.00% (72/96)、特异性为 72.00% (18/25),联合 CACS 后灵敏度提高 97.18% (69/71; $\chi^2 = 13.67, P < 0.001$),准确性提高至 87.50% (84/96; $\chi^2 = 4.92, P = 0.020$),差异均有统计学意义;但特异性降低至 60.00% (15/25),差异无统计学意义($\chi^2 = 0.80, P = 0.276$)。有 17 例患者 CAG 结果为阳性,而 MPI 结果为阴性(“假阴性”),联合 CACS 后,其中 15 例患者结果为阳性(图 2)。以 CAG 为标准,CFR 诊断的灵敏度[91.55% (65/71)]、特异性[76.00% (19/25)]和准确性[87.50% (84/96)]与 CFR 联合 CACS 相比差异无统计学意义[97.18% (69/71)、68.00% (17/25)和 89.58% (86/96)]; χ^2 值:2.12、0.40、0.21, P 值:0.137、0.754、0.411。有 6 例 CAG 结果为阳性,而 CFR 结果为阴性(“假阴性”),联合 CACS 后有 4 例结果为阳性。

MPI 诊断三支病变冠心病的灵敏度为 70.00%

(21/30),联合 CACS 后提高至 100% (30/30; $\chi^2 = 7.75, P = 0.004$);MPI 诊断单支及双支病变的灵敏度与 MPI 联合 CACS 相比,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$;表 1)。MPI 诊断单支、双支和三支病变冠心病中分别有 3、5 和 9 例为“假阴性”,联合 CACS 后分别有 3、3 和 9 例结果变为阳性。CFR 诊断单支、双支、三支病变冠心病的灵敏度与 CFR 联合 CACS 比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$;表 1)。

表 1 MPI、CFR 及其联合 CACS 诊断单支、双支、三支病变冠心病的灵敏度[% (例数比)]

方法	单支	双支	三支
MPI	14/17	79.17(19/24)	70.00(21/30)
MPI+CACS	17/17	91.67(22/24)	100(30/30)
CFR	14/17	91.67(22/24)	96.67(29/30)
CFR+CACS	16/17	95.83(23/24)	100(30/30)
χ^2 值 ^a	3.29	1.51	7.75
P 值 ^a	0.114	0.416	0.004
χ^2 值 ^b	1.13	0.36	1.02
P 值 ^b	0.301	1.000	1.000

注:冠心病为冠状动脉粥样硬化性心脏病的简称;CACS 为冠状动脉钙化积分,CFR 为冠状动脉血流储备,MPI 为心肌灌注显像;^a为 MPI 与 MPI+CACS 比较,^b为 CFR 与 CFR+CACS 比较

讨 论

本研究中,MPI 联合 CACS 后诊断阻塞性冠心病准确性及灵敏度分别由 75.00% (72/96)、76.06% (54/71) 提高至 87.50% (84/96)、97.18% (69/71)。联合 CACS 后灵敏度的提高对于三支病变患者尤为明显,由单一 MPI 诊断的 70.00% (21/30) 提高至 100% (30/30),与文献报道相近^[9]。有 9 例三支病变患者及 3 例双支病变患者 MPI 结果为“假阴性”,联合 CACS 后结果为阳性,占“假阴性”患者的 12/15。其主要原因在于 MPI 图像解读多使用半定量基础上的视觉分析,该法以心肌摄取显像剂最多部位为 100%,并以此为标准,按比例显示其他部位的显像剂分布,通过显示心肌灌注相对差异来识别病变,在多支病变中,当病变血管所支配区域心肌被指定为正常参考区域时,对于多支平衡性病变,MPI 无法识别显像剂均一性减低,导致漏诊;对于多支非均衡型病变,MPI 仅能显示灌注减低最明显的区域而低估病变的严重程度,降低了诊断多支病变的灵敏度^[10]。CACS 反映的是冠状动脉管壁钙的沉积,通过测定冠状动脉管壁钙化斑块的性质及大小,从侧面反映患者冠状动脉狭窄程度,可以弥补 MPI 在多支病变显像中的不足。另外,有 3 例 MPI 结果为阴性,联合 CACS 后结果变为阳性,从而导致了诊断特

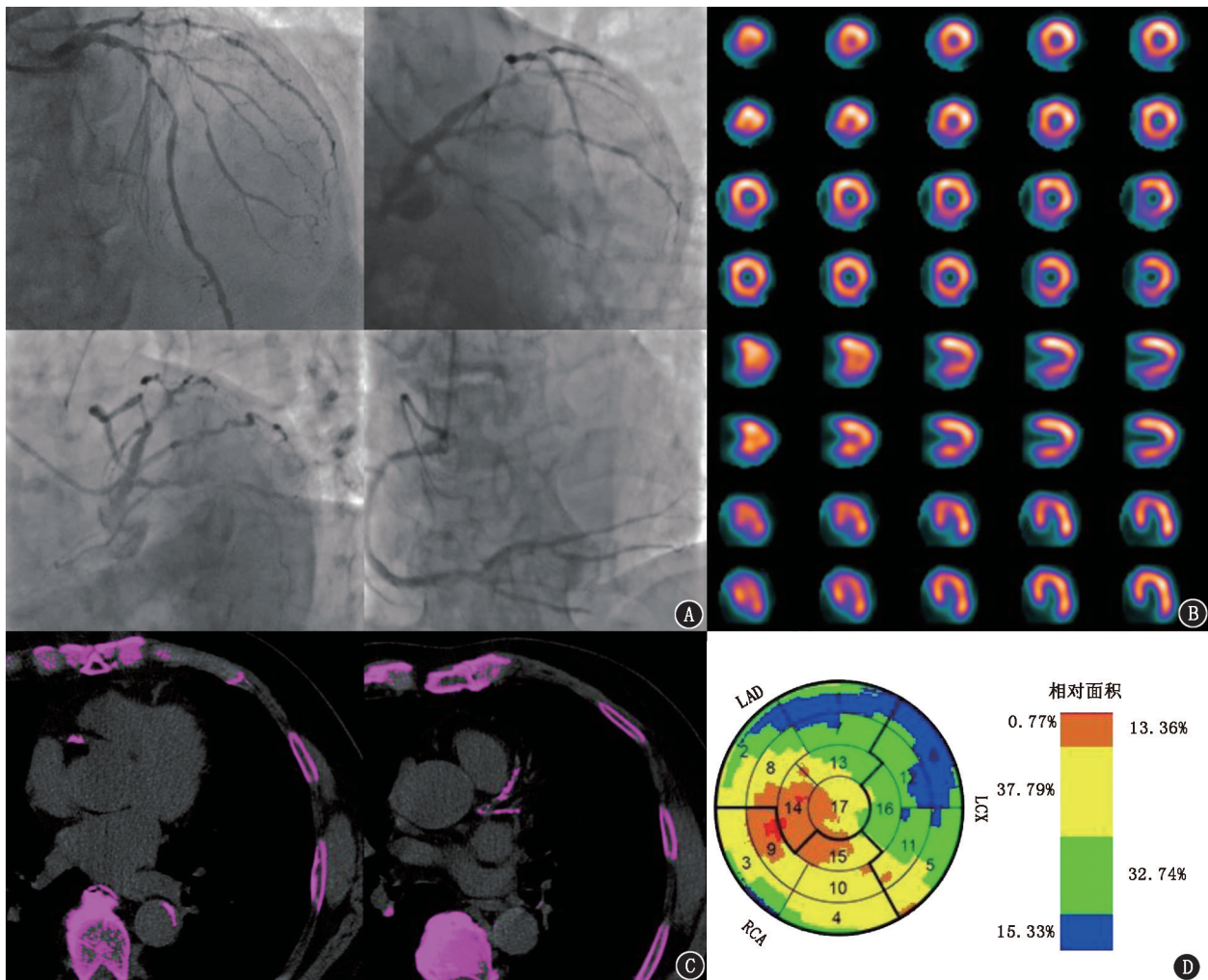


图2 阻塞性冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)患者(男,78岁,身高167 cm,体质量80 kg,无高血压、高脂血症病史,糖尿病6年,无家族史)影像图。A.冠状动脉造影(CAG)示左主干(LM)正常、左前降支(LAD)中段80%狭窄、D1近中段80%~90%狭窄、左回旋支(LCX)近段90%狭窄、右冠状动脉(RCA)全程斑块、后降支(PDA)开口80%狭窄、左心室后支(PLA)80%狭窄;B.心肌灌注显像(MPI;第1,3,5,7排为负荷显像,第2,4,6,8排为静息显像)未见明显缺血征象;C.冠状动脉钙化积分(CACS)CT图像示患者3支血管均有明显钙化,CACS为689.5;D.冠状动脉血流储备(CFR)示LAD、LCX、RCA的CFR分别为1.34、1.32、1.64

异性由72.00%(18/25)降低至60.00%(15/25),但两者差异并无统计学意义,故两者联合明显提高了诊断冠心病的灵敏度及准确性,而特异性并无明显降低。

CFR可以测定每支血管支配区甚至每个节段心肌血流储备,反映血管狭窄的真实程度,并可提供客观的、定量的标准,故CFR联合CACS后诊断冠心病的灵敏度、特异性及准确性以及在单支、双支和三支病变冠心病的灵敏度与CFR相比无明显差异,与Meintjes等^[11]的研究相近。因此CFR与MPI联合CACS在冠心病诊断中的价值几乎无异,但CFR在微血管病变及临界病变中有独到的临床价值^[12]。

本研究中,MPI及CFR的诊断特异性分别为72.00%(18/25)、76.00%(19/25),考虑可能与以下原因有关:(1)周围软组织对光子的衰减造成的伪

影、药物标记率较低等因素使MPI诊断“假阳性”^[13];(2)本研究以CAG作为标准,但其仅能识别出心外膜冠状动脉及部分心肌微动脉前血管的狭窄或痉挛,而MPI和CFR还可以反映出冠状动脉微血管循环的情况^[14];(3)侧支循环情况及狭窄部位等因素也会影响CAG的结果,故MPI和CFR诊断出现的“假阳性”不一定是真的“假阳性”。

已有研究表明,呼气末屏气的CACS CT可用于MPI的衰减校正,这样便可以将CACS CT替代常规衰减校正CT,从而在减少患者辐射剂量的同时,获得冠状动脉钙化严重程度的信息^[15],为MPI联合CACS提供了新的思路。由于CACS在血管水平的应用尚无明确的界值,故本研究只进行了患者水平的研究;另外考虑到SPECT测定CFR仍为一项新

兴检查技术,本研究中纳入例数有限,结果可能会有所偏倚,下一步会继续增加样本量。

综上,MPI 联合 CACS 能够明显提高 MPI 诊断阻塞性冠心病的灵敏度和准确性,特别是在三支病变中,CACS 可以很好地弥补由于“平衡性病变”造成的“假阴性”结果。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 孙璐冰:实验操作、论文撰写、统计学分析;张杰、张莹、杨柳、李耀臻、李培、郭元琨、吴文静、谢建:数据收集和整理;崔静:研究指导、论文修改

参 考 文 献

- [1] Sciammarella M, Shrestha UM, Seo Y, et al. A combined static-dynamic single-dose imaging protocol to compare quantitative dynamic SPECT with static conventional SPECT[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(3): 763-771. DOI:10.1007/s12350-017-1016-7.
- [2] Agostini D, Roule V, Nganoa C, et al. First validation of myocardial flow reserve assessed by dynamic ^{99m}Tc-sestamibi CZT-SPECT camera: head to head comparison with ¹⁵O-water PET and fractional flow reserve in patients with suspected coronary artery disease. The WATERDAY study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(7): 1079-1090. DOI:10.1007/s00259-018-3958-7.
- [3] Nkoulou R, Fuchs TA, Pazhenkottil AP, et al. Absolute myocardial blood flow and flow reserve assessed by gated SPECT with cadmium-zinc-telluride detectors using ^{99m}Tc-tetrofosmin: head-to-head comparison with ¹³N-ammonia PET[J]. *J Nucl Med*, 2016, 57(12): 1887-1892. DOI:10.2967/jnumed.115.165498.
- [4] Han S, Kim YH, Ahn JM, et al. Feasibility of dynamic stress ²⁰¹Tl/rest ^{99m}Tc-tetrofosmin single photon emission computed tomography for quantification of myocardial perfusion reserve in patients with stable coronary artery disease[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(12): 2173-2180. DOI:10.1007/s00259-018-4057-5.
- [5] 王建锋,王跃涛,周瑞珏,等.冠状动脉钙化积分对 SPECT 心肌灌注显像诊断冠心病有增益价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2017, 37(5): 274-278. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.005.
Wang JF, Wang YT, Zhou RJ, et al. Enhancement with coronary artery calcification score in detection of coronary heart disease by myocardial perfusion SPECT imaging[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 37(5): 274-278. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.005.
- [6] Ziadi MC. Myocardial flow reserve (MFR) with positron emission tomography (PET)/computed tomography (CT): clinical impact in diagnosis and prognosis[J]. *Cardiovasc Diagn Ther*, 2017, 7(2): 206-218. DOI:10.21037/cdt.2017.04.10.
- [7] Bailly M, Thibault F, Courtehoux M, et al. Myocardial flow reserve measurement during CZT-SPECT perfusion imaging for coronary artery disease screening: correlation with clinical findings and invasive coronary angiography-the CFR-OR study[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 691893. DOI:10.3389/fmed.2021.691893.
- [8] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组,中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会.中国经皮冠状动脉介入治疗指南(2016)[J]. *中华心血管病杂志*, 2016, 44(5): 382-400. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006.
Section of Interventional Cardiology of Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Specialty Committee on Prevention and Treatment of Thrombosis of Chinese College of Cardiovascular Physicians, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Chinese guideline for percutaneous coronary intervention(2016) [J]. *Chin J Cardiol*, 2016, 44(5): 382-400. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006
- [9] 陈炜佳,姚康,李晨光,等. CZT-SPECT 测定的冠状动脉血流储备对诊断冠心病的增益价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2019, 39(12): 714-719. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.12.003.
Chen WJ, Yao K, Li CG, et al. Incremental value of coronary flow reserve assessed by CZT-SPECT in the diagnosis of coronary artery disease[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2019, 39(12): 714-719. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.12.003.
- [10] Gimelli A, Liga R, Duce V, et al. Accuracy of myocardial perfusion imaging in detecting multivessel coronary artery disease: a cardiac CZT study[J]. *J Nucl Cardiol*, 2017, 24(2): 687-695. DOI:10.1007/s12350-015-0360-8.
- [11] Meintjes M, Sathegke M, Mankanjee CR, et al. Comparison of rubidium-82 myocardial blood flow quantification with coronary calcium score for evaluation of coronary artery stenosis[J]. *Nucl Med Commun*, 2016, 37(2): 197-206. DOI:10.1097/MNM.0000000000000410.
- [12] Fihn SD, Gardin JM, Abrams J, et al. 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, and the American College of Physicians, American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(24): e44-e164. DOI:10.1016/j.jacc.2012.07.013.
- [13] 中华医学会心血管病学分会基础研究学组,中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组,中华医学会心血管病学分会女性心脏健康学组,等.冠状动脉微血管疾病诊断和治疗的中国专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2017, 32(5): 421-430. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2017.05.003.
Basic Research Group of Cardiovascular Branch of Chinese Medical Association, Interventional Cardiology Group of Cardiovascular Branch of Chinese Medical Association, Women's Heart Health Group of Cardiovascular Branch of Chinese Medical Association, et al. Diagnosis and treatment of coronary artery microvascular disease chinese expert consensus[J]. *Chin Circul J*, 2017, 32(5): 421-430. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2017.05.003.
- [14] Taqueti VR, Di Carli MF. Coronary Microvascular disease pathogenic mechanisms and therapeutic options: JACC state-of-the-art review[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(21): 2625-2641. DOI:10.1016/j.jacc.2018.09.042.
- [15] 孙璐冰,阮翹.心肌灌注显像联合冠状动脉钙化积分诊断冠心病的价值及最新进展[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2017, 41(2): 143-149. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.02.012.
Sun LB, Ruan Q. Clinical value and latest developments of coronary artery calcification scores and gated myocardial perfusion imaging in the diagnosis of coronary artery disease[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2017, 41(2): 143-149. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.02.012.

(收稿日期:2021-11-23)