

CZT SPECT 心肌血流定量显像对高危冠心病患者的诊断价值

张梦岩 汪娇 庞泽堃 李帅 陈越 李剑明

天津医科大学心血管病临床学院、泰达国际心血管病医院核医学科,天津 300457

通信作者:李剑明, Email: ichlijm@163.com

【摘要】目的 探讨镉锌碲(CZT)SPECT 心肌血流定量显像对高危冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病;CAD)患者的诊断价值。**方法** 回顾性分析 2018 年 11 月至 2020 年 10 月间于泰达国际心血管病医院完成 CZT SPECT 动态采集和常规 SPECT 心肌灌注显像(MPI)的 148 例患者[男 82 例、女 66 例,年龄(63.8±8.2)岁]。根据冠状动脉(简称冠脉)造影(CAG)结果,将患者分为高危 CAD 组和低中危 CAD 组。在患者水平,比较 2 组患者定量参数[负荷心肌血流量(sMBF)、静息心肌血流量(rMBF)和心肌血流储备(MFR)]、半定量参数[负荷总积分(SSS)、静息总积分(SRS)、总积分差(SDS)和一过性缺血扩张(TID)指数]及左心室功能参数,通过 ROC 曲线分析评价各参数诊断准确性。在血管水平,分析冠脉狭窄程度与部分参数指标的相关性。采用 Mann-Whitney *U* 检验、logistic 回归、Spearman 秩相关及 DeLong 检验等进行统计学分析。**结果** 基于患者水平的分析示,高危 CAD 组的 MFR 和 sMBF 明显低于低中危 CAD 组[1.36(0.87, 1.64)与 2.74(2.30, 3.33), 1.06(0.69, 1.48)与 2.50(1.73, 2.95) ml·g⁻¹·min⁻¹; *U* 值:628.00 和 853.50, 均 *P*<0.001]。MFR 和 SDS 是高危 CAD 患者的独立预测因素[比值比(*OR*)=0.251(95% *CI*:0.136~0.464), *P*<0.001; *OR*=1.188(95% *CI*:1.026~1.375), *P*=0.021], MFR 预测高危 CAD 的能力更强。MFR 和 sMBF 对高危 CAD 的诊断准确性最高(AUC:0.885 与 0.844)。MFR 与其他参数 AUC 的差异均有统计学意义(*z* 值:1.99~6.77, 均 *P*<0.05), 其最佳诊断阈值为≤1.83(灵敏度:85.90%; 特异性:85.71%)。基于血管水平的分析示, MFR 和 sMBF 与冠脉狭窄程度呈负相关(*R*² 值:0.39 与 0.35, 均 *P*<0.001), SSS、SRS 及 SDS 与冠脉狭窄程度呈正相关(*R*² 值:0.22、0.12 与 0.14, 均 *P*<0.001)。**结论** 与常规 SPECT MPI 相比, CZT SPECT 心肌血流定量显像对高危 CAD 患者诊断效能更佳。

【关键词】 冠心病;心肌灌注显像;体层摄影术,发射型计算机,单光子;镉;锌;碲

DOI:10.3760/ema.j.cn321828-20210113-00006

Diagnostic value of myocardial blood flow quantitative imaging with CZT SPECT in patients with high-risk coronary artery disease

Zhang Mengyan, Wang Jiao, Pang Zekun, Li Shuai, Chen Yue, Li Jianming

Department of Nuclear Medicine, TEDA International Cardiovascular Hospital and Tianjin Medical University Cardiovascular Clinical Institute, Tianjin 300457, China

Corresponding author: Li Jianming, Email: ichlijm@163.com

【Abstract】Objective To investigate the diagnostic value of myocardial blood flow quantitative imaging with cadmium zinc telluride (CZT) SPECT in patients with high-risk coronary artery disease (CAD). **Methods** A total of 148 patients (82 males, 66 females, age: (63.8±8.2) years) who successfully completed CZT SPECT dynamic acquisition and routine SPECT myocardial perfusion imaging (MPI) in TEDA International Cardiovascular Hospital from November 2018 to October 2020 were analyzed retrospectively. According to the results of coronary angiography (CAG), patients were divided into two groups: high-risk CAD group and low-to-medium-risk CAD group. At the case level, quantitative parameters (stress myocardial blood flow (sMBF), rest myocardial blood flow (rMBF) and myocardial flow reserve (MFR)), semi-quantitative parameters (summed stress score (SSS), summed rest score (SRS), summed difference score (SDS) and transient ischemic dilation (TID)) and left ventricular function parameters of two groups were compared. Diagnostic accuracy was evaluated by ROC curve analysis. At the vascular level, the correlation between the degree of coronary artery stenosis and some parameters was analyzed. Mann-Whitney *U* test, logistic regression, Spearman rank correlation analysis and DeLong test were used for statistical analysis. **Results** Case level analysis showed that MFR and sMBF in high-risk CAD group were significantly lower than those in low-to-medium-risk CAD group (1.36(0.87, 1.64) vs 2.74(2.30, 3.33), 1.06(0.69, 1.48) vs 2.50(1.73, 2.95) ml·g⁻¹·min⁻¹; *U* values: 628.0 and 853.5, both *P*<0.001). MFR and SDS were inde-

pendent predictors of high-risk CAD patients (odds ratio (OR) = 0.251 (95% CI: 0.136–0.464), $P < 0.001$; OR = 1.188 (95% CI: 1.026–1.375), $P = 0.021$), and MFR was more capable of predicting high-risk CAD. MFR and sMBF had the highest accuracy in diagnosing high-risk CAD (AUCs: 0.885 and 0.844). Differences of AUCs between MFR and other parameters were statistically significant (z values: 1.99–6.77, all $P < 0.05$), and the best diagnostic cut-off value was ≤ 1.83 (sensitivity: 85.90%; specificity: 85.71%). Vascular level analysis showed that MFR and sMBF (R^2 values: 0.39 and 0.35, both $P < 0.001$) were negatively correlated with the degree of coronary stenosis, while SSS, SRS and SDS (R^2 values: 0.22, 0.12 and 0.14, all $P < 0.001$) were positively correlated with the degree of coronary stenosis. **Conclusion** Compared with conventional SPECT MPI, CZT SPECT myocardial blood flow quantitative imaging has better diagnostic efficacy and clinical value in patients with high-risk CAD.

【Key words】 Coronary disease; Myocardial perfusion imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Tellurium; Zine; Cadmium

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210113-00006

SPECT 心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)在冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)的诊断评估和危险分层中的价值受到广泛认可。传统的 SPECT MPI 对心肌灌注异常的评价依赖于冠状动脉(简称冠脉)相对血流分布的差异性,本质是一种半定量评价方法。一些高危冠心病和(或)冠脉多支病变(multi-vessel disease, MVD)患者的心肌灌注弥漫性减低、心肌各节段相对血流差异不明显,甚至存在“均衡性”缺血,半定量方法可能会低估病变程度和范围,甚至出现假阴性结果^[1]。因此,需要一种更准确的、不受相对血流分布差异影响的定量血流测定方法。既往 PET 通过无创性获得负荷或静息状态下定量化的心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)和心肌血流储备(myocardial flow reserve, MFR),明显提高了对 MVD 和高危冠心病的诊断准确性^[2]。近年来,碲锌镉(cadmium zinc telluride, CZT)心脏专用 SPECT 仪在临床上得到应用,其测定的 MFR 等定量指标与 PET 结果一致性良好^[3]。本研究对比分析了定量与常规半定量方法对高危冠心病的诊断效能,探讨了 CZT SPECT 定量血流显像在高危冠心病患者中的诊断价值,现报道如下。

资料与方法

1.研究对象。回顾性分析 2018 年 11 月至 2020 年 10 月于泰达国际心血管病医院就诊并完成 CZT SPECT 动态和常规门控采集的 148 例患者,其中男 82 例、女 66 例,年龄 42~85(63.8±8.2)岁。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则,所有患者检查前均签署知情同意书。

纳入标准:(1)疑似或已确诊冠心病;(2)具备检查前后 1 个月内冠脉造影(coronary angiography, CAG)资料,期间未行任何形式的血运重建治疗;(3)可耐受 ATP 负荷、动态及常规 MPI。排除标准:

(1)冠脉搭桥术后、不稳定性心绞痛、先天性心脏病、严重低血压、严重瓣膜病、心肌病及不明原因心力衰竭者;(2)ATP 负荷禁忌者,如 II 度及以上房室传导阻滞、哮喘等;(3)因各种原因未完成检查者及显像失败者;(4)妊娠期或哺乳期患者。

检查前收集患者个体参数:高血压、糖尿病、高脂血症情况,吸烟史、饮酒史、体质指数(body mass index, BMI)、冠心病家族史、既往心肌梗死史与既往经皮冠脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)史。

2.显像设备和方法。设备为美国 GE NM530c 心脏专用 CZT SPECT 仪,显像剂为^{99m}Tc-甲氧基异丁基异腈(methoxyisobutylisonitrile, MIBI),药液由北京森科医药有限公司或原子高科天津医药有限公司提供,MIBI 由江苏省原子医学研究所江原制药厂提供,标记产物放射性纯 $\geq 95\%$ 。所有患者显像前 24 h 禁饮或食用任何含咖啡因与茶碱食物,停用所有心血管病常规治疗药物。显像均采用一日法:先静息后 ATP 负荷显像。第 1 次注射显像剂 185~296 MBq,间隔 1~4 h 行 ATP 药物负荷(0.16 mg·kg⁻¹·min⁻¹, 共 5 min),负荷高峰注射约 3 倍静息剂量的显像剂。静息显像:启动采集(动态表模式 10 min)约 10 s 后注射显像剂,间隔 40~60 min 行常规门控断层显像(6 min)。负荷显像:在 ATP 负荷高峰(第 3 分钟)时注射显像剂,注射及动态采集要求同静息显像,间隔 15~30 min 行常规门控断层显像(4 min)。门控采集参数:8 帧/心动周期,心率窗宽 $\pm 15\%$,能峰 140 keV,窗宽 $\pm 10\%$ 。患者均预先采集 CT 衰减校正数据:电压 120 kV,电流 20 mA,扫描范围为肺尖至肝脏中下部,设备型号为美国 GE NM690。

3.图像处理和分析。将动态表模式数据传输至 MyoFlow Q 工作站(北京百灵云生物医学科技有限公司),自动重分为系列动态帧图像;调用 CT 衰减校正数据行 CT 与 SPECT 图像融合对位、轴位调整、

衰减和散射校正;调整心血池曲线输入函数的 ROI 和心肌基底部位置,最终获得左心室整体和冠脉 3 支血管(左前降支、左回旋支和右冠脉)区域的负荷 MBF(stress MBF, sMBF; $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)、静息 MBF(rest MBF, rMBF; $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)及 MFR(sMBF/rMBF)。采用迭代法对门控图像重建,应用定量灌注 SPECT 和定量门控 SPECT 软件(美国, Cedars Sinai 医学中心)获得断层图像、17 节段靶心图和左心室功能参数。靶心图各节段放射性分布采用标准 5 分法。计算半定量参数:负荷总积分(summed stress score, SSS)、静息总积分(summed rest score, SRS)、总积分差(summed difference score, SDS)、一过性缺血扩张(transient ischemic dilation, TID)指数和左心室功能参数:舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、收缩末期容积(end-systolic volume, ESV)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)和负荷、静息状态下的舒张末期容积差、收缩末期容积差,即 ΔEDV 与 ΔESV 。

4. 冠心病危险分层标准。依据 CAG 结果,将各分支血管区域病变分为 4 组:正常(0),轻度狭窄(1%~49%),中度狭窄(50%~69%)及重度狭窄($\geq 70\%$)。狭窄 $<50\%$ 时视为非阻塞性冠心病。应用改良的 Duke 评分评估冠心病冠脉严重程度,存在以下情况之一时视为高危冠心病^[4]:(1)冠脉 3 支血管中有 2 支血管狭窄 $\geq 70\%$;(2)冠脉三支病变(3 支血管狭窄均 $\geq 50\%$);(3)左主干(left main coronary artery, LM)狭窄 $\geq 50\%$;余情况定义为低中危冠心病。分支血管分析中,单纯 LM 病变视为冠脉双支病变,LM 合并右冠脉病变视为三支病变。

5. 统计学处理。采用 IBM SPSS 19.0 软件处理数据。符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符

合正态分布者用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。2 组间连续变量比较采用两独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验,定性资料变量比较采用 χ^2 检验。采用多因素 logistic 回归分析独立预测因素。变量间的相关性分析采用 Spearman 秩相关分析。通过 ROC 曲线分析评价诊断准确性。应用 DeLong 检验比较 AUC 间的差异性。以 Youden 指数最高的分界点作为最佳诊断阈值。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义。

结 果

1. 一般资料比较(表 1)。78 例高危冠心病患者中,单纯 LM 病变者 2 例、双支病变(狭窄 $\geq 70\%$)者 9 例、三支病变者 67 例。67 例三支病变患者中,11 例同时合并明显 LM 病变。70 例低中危冠心病患者中,CAG 正常和非阻塞性冠心病者 33 例(47.1%)、单支病变者 34 例(48.6%)、双支病变(狭窄 $\geq 50\%$ 且 $<70\%$)患者 3 例(4.3%)。高危冠心病组中,男性、糖尿病和既往有 PCI 史的患者比例均明显高于低中危冠心病组(χ^2 值:10.50、6.86 和 15.94,均 $P < 0.05$);2 组间其他危险因素的差异均无统计学意义(t 值:1.50 和 0.02, χ^2 值:0.00~1.14,均 $P > 0.05$)。

2. 2 组间不同参数的比较(表 2)。定量参数中,高危冠心病组的 MFR 和 sMBF 均明显低于低中危冠心病组(U 值:628.00 和 853.50,均 $P < 0.001$),rMBF 的差异无统计学意义($U = 2\ 523.00, P = 0.426$)。半定量参数中,高危冠心病组的 SSS、SRS 和 SDS 均高于低中危冠心病组(U 值:964.50~1 325.50,均 $P < 0.001$),TID 指数的差异无统计学意义($U = 2\ 451.50, P = 0.284$)。左心室功能参数中,高危冠心病组的负荷 EDV、负荷 ESV、静息 EDV、静息 ESV 和 ΔESV 均较高,负荷 LVEF 与静息 LVEF 较低(U 值:1 772.00~

表 1 高危冠心病组与低中危冠心病患者的一般资料比较

组别	例数	年龄 (岁; $\bar{x} \pm s$)	男性 [例(%)]	BMI (kg/m^2 ; $\bar{x} \pm s$)	高血压 [例(%)]	糖尿病 [例(%)]	高脂血症 [例(%)]
高危冠心病	78	64.7 \pm 8.3	53(67.9)	26.8 \pm 3.3	47(60.3)	35(44.9)	32(41.0)
低中危冠心病	70	62.7 \pm 8.0	29(41.4)	26.6 \pm 3.4	48(68.6)	17(24.3)	28(40.0)
检验值		1.50 ^a	10.50	0.02 ^a	1.11	6.86	0.28
P 值		0.135	<0.001	0.680	0.292	0.009	0.595
组别	例数	吸烟史 [例(%)]	饮酒史 [例(%)]	家族史 [例(%)]	既往 MI 病史 [例(%)]	既往 PCI 史 [例(%)]	
高危冠心病	78	38(48.7)	17(21.8)	27(34.6)	9(11.5)	30(38.5)	
低中危冠心病	70	28(40.0)	15(21.4)	22(31.4)	7(10.0)	7(10.0)	
检验值		1.14	0.00	0.17	0.09	15.94	
P 值		0.287	0.957	0.681	0.763	<0.001	

注:冠心病为冠状动脉粥样硬化性心脏病,BMI 为体质指数,MI 为心肌梗死,PCI 为经皮冠状动脉介入治疗;^a为 t 值,余检验值为 χ^2 值

2 207.50, 均 $P < 0.001$); ΔEDV 的差异无统计学意义 ($U = 2\ 289.50, P = 0.090$)。

3. 多因素 logistic 回归分析。对上述一般资料 and 不同参数行多因素 logistic 回归分析, 结果示 MFR 与 SDS 是高危冠心病患者的独立预测因素 [比值比 (odds ratio, OR) = 0.251 (95% CI: 0.136 ~ 0.464), $P < 0.001$; OR = 1.188 (95% CI: 1.026 ~ 1.375), $P = 0.021$], MFR 对高危冠心病的预测能力优于 SDS。

4. 不同参数对高危冠心病诊断准确性的比较。ROC 曲线分析结果示, MFR 与 sMBF 对高危冠心病的诊断准确性最高 (AUC: 0.885 和 0.844); SSS、SRS 和 SDS 其次 (AUC: 0.823、0.757 和 0.816); 左心室各功能参数的诊断准确性均较低 (AUC: 0.581 ~ 0.675); rMBF 和 TID 指数最低 (AUC: 0.538 和 0.551)。所有参数中, MFR 对高危冠心病的诊断准确性最优 (z 值: 1.99 ~ 6.77, 均 $P < 0.05$); sMBF、SSS 和 SDS 与 SRS、rMBF、TID 指数及左心室功能参数间 AUC 的差异均有统计学意义 (z 值: 2.18 ~ 6.78, 均 $P < 0.05$), 但三者间 AUC 的差异无统计学意义 (z 值: 0.28 ~ 0.72, 均 $P > 0.05$); SRS 与 rMBF、TID 指数、静息 LVEF、 ΔEDV 和 ΔESV 间 AUC 的差异均有统计学意义 (z 值: 2.15 ~ 4.88, 均 $P < 0.05$), 与其他左心室功能参数的 AUC 差异均无统计学意义 (z 值: 1.62 ~ 1.88, 均 $P < 0.05$); rMBF、TID 指数及各左心室各功能参数间 AUC 的差异均无统计学意义 (z 值: 0.02 ~ 1.91, 均 $P > 0.05$)。上述有统计学意义的参数 (即 MFR、sMBF、SSS、SRS 及 SDS) 的 ROC 曲线

见图 1。定量参数 MFR 对高危冠心病的最佳诊断阈值为 ≤ 1.83 (灵敏度: 85.90%; 特异性: 85.71%), sMBF 为 $\leq 1.57\text{ ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (灵敏度 82.05%, 特异性 81.43%)。典型患者影像学检查图见图 2。

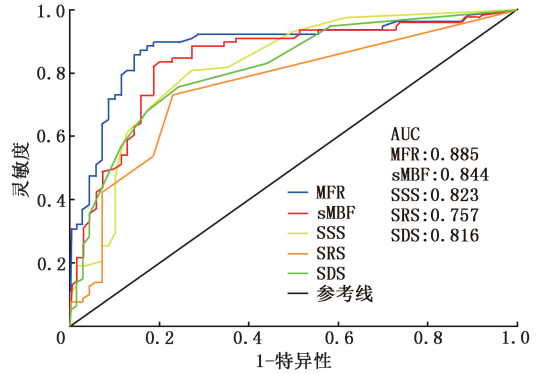


图 1 锝铊钼 (CZT) SPECT 部分定量、半定量参数对 148 例冠状动脉粥样硬化性心脏病 (简称冠心病) 患者高危冠心病诊断效能的 ROC 曲线。MFR 为心肌血流储备, SDS 为总积分差, sMBF 为负荷心肌血流量, SRS 为静息总积分, SSS 为负荷总积分

5. 血管水平分析。148 例患者共 444 支血管, 定量参数 MFR 和 sMBF 与冠脉狭窄程度呈负相关 (R^2 值: 0.39 和 0.35, 均 $P < 0.001$), 半定量参数 SSS、SRS 和 SDS 与冠脉狭窄程度呈正相关 (R^2 值: 0.22、0.12 和 0.14, 均 $P < 0.001$)。

讨 论

与低中危冠心病患者相比, 高危冠心病患者发

表 2 高危冠心病组与低中危冠心病组的定量参数、半定量参数和左心室功能参数及比较 [$M(Q_1, Q_3)$]

组别	例数	MFR	sMBF ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	rMBF ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	SSS	SRS
高危冠心病	78	1.36 (0.87, 1.64)	1.06 (0.69, 1.48)	0.87 (0.68, 0.93)	8 (4, 16)	2 (0, 4)
低中危冠心病	70	2.74 (2.30, 3.33)	2.50 (1.73, 2.95)	0.89 (0.75, 0.93)	1 (0, 4)	0 (0, 1)
U 值		628.00	853.50	2 523.00	964.50	1 325.50
P 值		<0.001	<0.001	0.426	<0.001	<0.001
组别	例数	SDS	TID 指数	负荷 EDV (ml)	负荷 ESV (ml)	负荷 LVEF (%)
高危冠心病	78	5 (3, 10)	1.15 (1.05, 1.25)	99 (69, 122)	46 (23, 66)	56 (42, 66)
低中危冠心病	70	1 (0, 2)	1.12 (1.00, 1.22)	77 (61, 92)	27 (19, 38)	64 (57, 72)
U 值		1 002.00	2 451.50	1 772.00	1 819.50	1 789.00
P 值		<0.001	0.284	<0.001	<0.001	<0.001
组别	例数	静息 EDV (ml)	静息 ESV (ml)	静息 LVEF (%)	ΔEDV (ml)	ΔESV (ml)
高危冠心病	78	96 (64, 112)	41 (20, 61)	59 (48, 69)	8 (0, 14)	4 (1, 10)
低中危冠心病	70	70 (58, 85)	24 (16, 35)	66 (57, 74)	5 (1, 9)	3 (0, 6)
U 值		1 807.50	1 971.00	1 866.00	2 289.50	2 207.50
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	0.090	0.044

注: 冠心病为冠状动脉粥样硬化性心脏病, EDV 为舒张末期容积, ESV 为收缩末期容积, LVEF 为左心室射血分数, MFR 为心肌血流储备, SDS 为总积分差, sMBF、rMBF 分别为负荷、静息心肌血流量, SRS 为静息总积分, SSS 为负荷总积分, TID 为一过性缺血扩张, ΔEDV 、 ΔESV 分别为负荷与静息状态下的 EDV 差、ESV 差

生各种心脏不良事件的可能性显著增高,早期识别高危冠心病对制订进一步的临床诊疗策略具有重要意义^[5]。SPECT MPI 对疑似或确诊冠心病患者的缺血诊断、危险分层和预后评估有着十分重要的临床作用^[6]。尽管常规 SPECT MPI 能够提供许多重要的半定量参数,但在部分 MVD 或高危冠心病患者中,仍存在低估病变甚至漏诊的情况^[7]。其原因可能是该类患者虽然心肌血流灌注整体弥漫性明显减低,但相对血流差异不大或存在“均衡性”缺血,而心肌血流定量评价则有助于准确评估^[8]。

既往的心肌血流定量研究集中于 PET MPI,定量方法在评价冠心病严重程度方面优于半定量方法^[9]。Naya 等^[10]的研究表明,正常的 MFR 对高危冠心病有较高的阴性预测值。Ziadi^[11]提出,MFR 能明显提高对冠脉三支病变的检测灵敏度。但受限于设备价格、显像剂来源及维护成本等限制,PET MPI 仅在国内外少数医疗单位开展,尚未普及应用。

近年来,随着 CZT 心脏专用 SPECT 仪的推广应用,心肌血流定量成为方便实施的新技术,且其显像药物来源方便、相对廉价,使得这一技术倍受重视。近期研究表明,药物负荷下的 CZT SPECT 定量心肌血流分析结果与 CAG、常规半定量分析结果之间有相关性^[12]。陈炜佳等^[13]提出,CZT SPECT 定量分

析可明显提高对 MVD 患者的检出率。Gimelli 等^[14]发现,CZT SPECT 定量参数能准确评估不同区域心肌灌注的差异性,可靠地对冠心病患者进行危险分层。但目前针对 CZT SPECT 心肌血流定量显像在高危冠心病患者中的诊断价值的研究尚有限^[15]。本研究对比分析了定量与半定量方法对高危冠心病的诊断效能,分别从患者水平和血管水平对 CZT SPECT 定量血流显像在高危冠心病患者中的诊断价值进行了分析。结果表明,对于高危冠心病患者,CZT SPECT 测定的心肌血流定量参数 MFR 和 sMBF 均有较好的诊断准确性 (AUC: 0.885 和 0.844);在各参数中,MFR 对高危冠心病的诊断效能最佳。既往 PET 研究显示,MFR 可作为诊断 MVD 的独立预测因素^[16],本研究显示 MFR [OR = 0.251 (95% CI: 0.136 ~ 0.464)] 和 SDS 可作为高危冠心病的独立预测因素,且前者预测高危冠心病的能力更强。有研究报道,TID 指数与心肌缺血程度、范围相关,可以作为描述严重冠心病的重要半定量参数^[17],但本研究中 TID 指数却不能很好地预测高危冠心病。这可能是因为药物负荷下 TID 的发生率和程度不同于运动负荷,后者是通过直接提升心肌耗氧量、诱发病变区域产生广泛心内膜下缺血所致,而前者心肌耗氧量并无明显增加,心肌缺血由药物

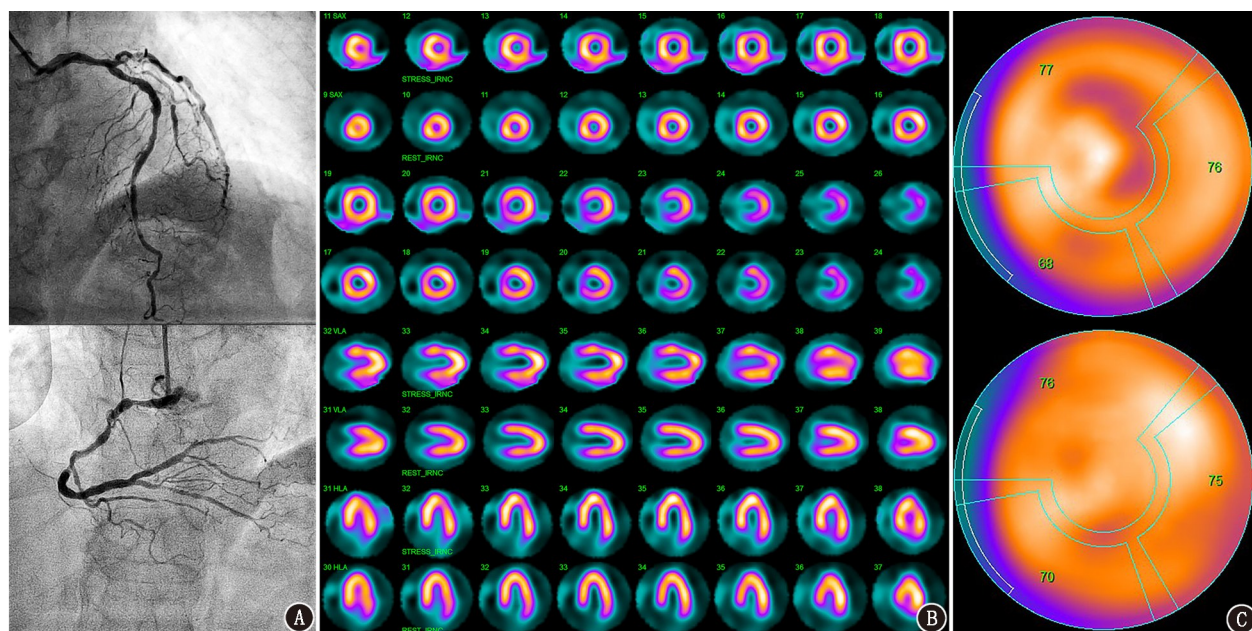


图2 高危冠状动脉粥样硬化性心脏病患者(女,62岁)的影像学检查图。A.冠状动脉造影示左主干(LM)末端狭窄50%;左前降支(LAD)全程弥漫性斑块,狭窄最重处85%;左回旋支(LCX)近中段弥漫性狭窄,狭窄最重处80%;右冠状动脉(RCA)近中段弥漫性狭窄,狭窄最重处90%;B、C.心肌灌注显像(MPI)图(B;奇数排为ATP负荷显像,偶数排为静息显像)与靶心图(C)示左心室壁部分心尖段和前壁中段放射性分布呈小范围轻度稀疏(负荷显像),静息显像基本恢复,提示上述部位轻度可逆性心肌缺血,位于LAD灌注区域;定量结果提示左心室整体和冠状动脉三支区域MFR和sMBF均不同程度明显减低,分别为0.96~1.34和0.88~1.19 ml·g⁻¹·min⁻¹,其中左心室整体MFR仅为1.10。LHA为水平长轴,REST_IRNC静息显像,SAX为左心室心肌短轴,STRESS_IRNC为负荷显像,VLA为垂直长轴

负荷“窃血”机制造成。因此,从机制上而言,药物负荷 TID 诊断灵敏度不如运动负荷,这与此前 van der Veen 等^[18]的研究结果一致。

本研究的局限性:单中心研究,患者选择可能存在偏倚;采用回顾性研究,患者数据来源于临床,对照组未能纳入无症状的健康人群。

综上,由 CZT SPECT 测定的定量参数 MFR 和 sMBF 对高危冠心病的诊断准确性明显优于常规 SPECT MPI 使用的半定量和左心室功能参数,提示其具有更好的诊断效能和临床应用价值。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张梦岩:研究实施、论文撰写;汪娇、庞泽堃、李帅、陈越:统计分析;李剑明:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Travin MI. Is it possible for myocardial perfusion imaging to avoid missing any patients with high-risk coronary disease? [J]. *J Nucl Cardiol*, 2007, 14(4): 492-496. DOI:10.1016/j.nuclcard.2007.06.110.
- [2] Pelletier-Galarneau M, Martineau P, El Fakhri G. Quantification of PET myocardial blood flow [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2019, 21(3): 11. DOI:10.1007/s11886-019-1096-x.
- [3] 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.
- [4] Schulman-Marcus J, Lin FY, Gransar H, et al. Coronary revascularization vs. medical therapy following coronary-computed tomographic angiography in patients with low-, intermediate- and high-risk coronary artery disease: results from the CONFIRM long-term registry [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(8): 841-848. DOI:10.1093/ehjci/jew287.
- [5] Jang JJ, Bhapkar M, Coles A, et al. Predictive model for high-risk coronary artery disease [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(2): e007940. DOI:10.1161/CIRCIMAGING.118.007940.
- [6] 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.
Li Y, Zhang HS, Hu WQ, et al. The value of ATP stress ^{99m}Tc-MIBI gated myocardial SPECT imaging in the risk stratification of intermediate coronary lesion [J]. *Chin J Arterioscler*, 2018, 26(6): 626-632.
- [7] 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.
- [8] 中华医学会心血管病学分会影像学组,中国医师协会放射医师

分会心血管专业委员会.无创性心血管影像学技术临床适用标准中国专家共识 [J]. *中华心血管病杂志*, 2020, 48(11): 906-921. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20200413-00309.

Chinese Society of Cardiology, Division of Cardiovascular Imaging, Chinese Association of Radiologists. Chinese expert consensus on the clinical appropriate use criteria of non-invasive cardiovascular imaging modalities [J]. *Chin J Cardiol*, 2020, 48(11): 906-921. DOI:10.3760/cma.j.cn112148-20200413-00309.

- [9] Iskandrian AE, Dilsizian V, Garcia EV, et al. Myocardial perfusion imaging: lessons learned and work to be done-update [J]. *J Nucl Cardiol*, 2018, 25(1): 39-52. DOI:10.1007/s12350-017-1093-7.
- [10] Naya M, Murthy VL, Taqueti VR, et al. Preserved coronary flow reserve effectively excludes high-risk coronary artery disease on angiography [J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(2): 248-255. DOI:10.2967/jnumed.113.121442.
- [11] 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.
- [12] Hyafil F, Rouzet F, Le Guludec D. Quantification of myocardial blood flow with dynamic SPECT acquisitions: ready for prime time? [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(12): 2170-2172. DOI:10.1007/s00259-018-4127-8.
- [13] 陈伟佳,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.
- [14] 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.
- [15] Zavadovsky KV, Mochula AV, Maltseva AN, et al. The diagnostic value of SPECT CZT quantitative myocardial blood flow in high-risk patients [J]. *J Nucl Cardiol*, 2020, in press. DOI:10.1007/s12350-020-02395-8.
- [16] Ziadi MC, Dekemp RA, Williams K, et al. Does quantification of myocardial flow reserve using rubidium-82 positron emission tomography facilitate detection of multivessel coronary artery disease? [J]. *J Nucl Cardiol*, 2012, 19(4): 670-680. DOI:10.1007/s12350-011-9506-5.
- [17] Alama M, Labos C, Emery H, et al. Diagnostic and prognostic significance of transient ischemic dilation (TID) in myocardial perfusion imaging: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Nucl Cardiol*, 2018, 25(3): 724-737. DOI:10.1007/s12350-017-1040-7.
- [18] van der Veen BJ, Kuperij N, Stokkel MP. Transient ischemic dilatation ratio derived from myocardial perfusion scintigraphy: what are we looking at? [J]. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(2): 207-215. DOI:10.1007/s12350-009-9180-z.

(收稿日期:2021-01-13)