

CZT-SPECT 测定心肌血流量和血流储备对 冠状动脉重度狭窄的预测价值*

崔利军¹ 于朋伟¹ 田刚¹ 宋振国¹ 黄平¹ 王洋种子¹ 王永德¹

[摘要] **目的:**探讨基于碲锌镉(CZT)心脏专用 SPECT(CZT-SPECT)测定心肌血流量(MBF)及血流储备(CFR)对冠状动脉(冠脉)重度狭窄的预测价值。**方法:**回顾性分析 2021 年 1 月—2021 年 8 月于泰达国际心血管病医院完成 CZT-SPECT 检查的可疑或已确诊冠心病患者 129 例。本研究根据患者是否存在冠脉重度狭窄病变分为缺血组 and 对照组(冠脉重度狭窄病变的定义标准为血管直径 ≥ 2 mm 且狭窄 $\geq 70\%$ 的病变)。绘制静息 MBF(rMBF)、负荷 MBF(sMBF)及 CFR 预测冠脉重度狭窄的受试者工作特性(ROC)曲线,并根据 Youden 指数确定截断值。**结果:**共纳入 129 例患者,平均年龄为(60.3 \pm 9.6)岁,男性占比 51.2%,单支病变患者 33 例(25.6%),双支病变患者 22 例(17.1%),三支病变患者 18 例(13.9%)。分别在血管水平和患者水平进行分析,结果显示缺血组 rMBF、sMBF、CFR 均明显低于对照组($P < 0.01$),其中 sMBF 差异最为明显。绘制 rMBF、sMBF、CFR 预测冠脉重度狭窄的 ROC 曲线,结果显示 rMBF、sMBF、CFR 预测冠脉重度狭窄的 AUC 分别为 0.641、0.808、0.781,截断值分别为 0.735 mL \cdot g⁻¹ \cdot min⁻¹、1.885 mL \cdot g⁻¹ \cdot min⁻¹、2.185。有效预测指标为 sMBF 和 CFR,灵敏度分别为 78.5%、83.5%,特异度分别为 88.2%、70.1%。**结论:**CZT-SPECT 较容易获得 rMBF、sMBF、CFR 心肌定量血流参数,缺血组参数值明显低于对照组。sMBF 和 CFR 预测心肌缺血表现出较好的诊断性能,其中 sMBF 最为突出。临床应用 CFR 进行缺血评估时,需要同时关注 sMBF、rMBF 绝对值。

[关键词] 心肌血流量;冠状动脉血流储备;单光子发射型断层成像;心肌灌注显像

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.02.011

[中图分类号] R543.3 **[文献标志码]** A

The predictive values of myocardial blood flow and coronary flow reserve measured by CZT-SPECT in severe coronary stenosis

CUI Lijun YU Pengwei TIAN Gang SONG Zhenguo HUANG Ping
WANG Yangchongzi WANG Yongde

(Department of Cardiology, TEDA International Cardiovascular Hospital and Tianjin Medical University Cardiovascular Clinical Institute, Tianjin, 300457, China)

Corresponding author: WANG Yongde, E-mail: wangyddoc@163.com

Abstract Objective: To investigate the predictive value of myocardial blood flow (MBF) and blood flow reserve (CFR) based on cadmium zinc telluride (CZT) cardiac-specific SPECT (CZT-SPECT) for severe coronary

*基金项目:天津市卫生健康科技项目资助(No:TJWJ2022QN104);天津市医学重点学科(专科)建设项目资助(No:TJYX-ZDXK-020A)

¹天津医科大学心血管病临床学院 泰达国际心血管病医院心血管内科(天津,300457)
通信作者:王永德,E-mail:wangyddoc@163.com

引用本文:崔利军,于朋伟,田刚,等. CZT-SPECT 测定心肌血流量和血流储备对冠状动脉重度狭窄的预测价值[J]. 临床心血管病杂志,2023,39(2):129-134. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.02.011.

[7] Deerochanawong C, Chan SP, Matawaran BJ, et al. Use of sodium-glucose co-transporter-2 inhibitors in patients with type 2 diabetes mellitus and multiple cardiovascular risk factors: An Asian perspective and expert recommendations [J]. Diabetes Obes Metab, 2019,21(11):2354-2367.

[8] Damman K, Beusekamp JC, Boorsma EM, et al. Randomized, double-blind, placebo controlled, multicentre pilot study on the effects of empagliflozin on clinical outcomes in patients with acute decompensated heart failure (EMPA-RESPONSE-AHF) [J]. Eur J Heart

Failure,2020,22(4):713-722.

[9] Tanajak P, Sa-Nguanmoo P, Sivasinprasasn S, et al. Cardioprotection of dapagliflozin and vildagliptin in rats with cardiac ischemia-reperfusion injury [J]. J Endocrinol,2018,236(2):69-84.

[10] Lee TM, Chang NC, Lin SZ. Dapagliflozin, a selective SGLT2 inhibitor, attenuated cardiac fibrosis by regulating the macrophage polarization via STAT3 signaling in infarcted rat hearts [J]. Free Radic Biol Med, 2017,104:298-310.

(收稿日期:2022-09-15)

stenosis. **Methods:** From January 2021 to August 2021, 129 patients with suspected or confirmed coronary heart disease who completed the CZT-SPECT examination in TEDA International Cardiovascular Hospital were retrospectively analyzed. In this study, patients were divided into the ischemia group and control group according to the presence or absence of severe coronary stenosis (the definition criteria for severe coronary stenosis were lesions with a vessel diameter ≥ 2 mm and stenosis $\geq 70\%$). The receiver operating characteristic (ROC) curves of resting MBF (rMBF), stress MBF (sMBF) and CFR for predicting severe coronary stenosis were drawn, and the cut-off value was selected according to the maximum Youden index. **Results:** A total of 129 patients with an average age of (60.3 ± 9.6) years, 51.2% males, were included. Among them, 33 patients (25.6%) with single-vessel disease, 22 (17.1%) with double-vessel disease, and 18 with three-vessel disease, example (13.9%). The rMBF, sMBF, and CFR of the ischemia group were significantly lower than those of the control group ($P < 0.01$). The AUCs of rMBF, sMBF, and CFR for predicting severe coronary stenosis were 0.641, 0.808, and 0.781, and the cut-off values were $0.735 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $1.885 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 2.185, respectively. The effective predictors were sMBF and CFR, with sensitivities of 78.5% and 83.5%, and specificities of 88.2% and 70.1%, respectively. **Conclusion:** CZT-SPECT could easily obtain rMBF, sMBF, and CFR, and the parameter values in the ischemic group were significantly lower than those in the control group. sMBF and CFR showed good diagnostic performance in predicting myocardial ischemia, of which sMBF was the most outstanding.

Key words myocardial blood flow; coronary flow reserve; single photon emission tomography; myocardial perfusion imaging

冠状动脉(冠脉)粥样硬化所导致的血管狭窄和(或)功能异常被认为是心肌缺血的主要原因^[1]。目前认为冠脉重度狭窄的患者不良心血管事件发生率远高于轻中度狭窄的患者,有缺血症状且直径狭窄 $\geq 70\%$ 的病变,需要进行血运重建改善缺血症状及预后^[1]。冠脉造影检查(coronary angiography, CAG)是目前临床上判定冠脉狭窄的“金标准”,缺点是属于有创检查,对于重度肾功能不全和造影剂过敏患者应用受限,而且在门诊不能完成,因此,部分胸痛患者可能难以确诊而贻误治疗时机。基于正电子发射型断层成像(positron emission computed tomography, PET)的心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)能定量计算心脏在负荷和静息状态下的心肌血流量(myocardial blood flow, MBF),进而获得冠脉血流储备(coronary flow reserve, CFR)。国际上和国内多项研究表明 MBF 和 CFR 对冠脉狭窄有较高诊断价值^[2-5], PET 心肌血流定量被认为是无创测定 CFR 的“金标准”^[2],但受于 PET 设备及显像剂普及困难,临床上较难广泛开展。基于碲锌镉心脏专用 SPECT 机(cadmium zinc telluride-SPECT, CZT-SPECT)测定的 CFR 与 PET 相比具有较好相关性^[2],而且由于 SPECT 普及性高,其应用前景巨大^[6]。本文旨在评估 CZT-SPECT 测量 MBF 和 CFR 对冠脉重度狭窄的预测价值。

1 对象与方法

1.1 对象

回顾性分析 2021 年 1 月—2021 年 8 月于泰达国际心血管病医院完成 CZT-SPECT 检查的可疑或已确诊冠心病患者 129 例。其中,男 66 例,女 63 例,年龄 (60.3 ± 9.6) 岁, BMI $(24.9 \pm 7.2) \text{ kg/m}^2$ 。单支病变 33 例,双支病变 22 例,三支病变 18 例。

其中合并 2 型糖尿病 26 例,高血压病 88 例,吸烟史 44 例。

入选标准:年龄 ≥ 18 周岁,在 CZT-SPECT 检查后 1 个月内完成 CAG 检查。排除标准:CAG 提示左主干病变、冠脉小血管重度狭窄及临床怀疑微血管功能障碍的患者;急性心肌梗死、冠脉痉挛、既往接受过冠脉旁路移植术;心力衰竭、心肌病、心脏瓣膜病、严重肺部疾病、恶性肿瘤、哮喘等;对三磷酸腺苷或腺苷有使用禁忌的患者。详细收集患者的临床资料,包括身高、体重、高血压病史、糖尿病病史、吸烟史、CAG 结果、冠脉静息 MBF (rest MBF, rMBF)、负荷 MBF (stress MBF, sMBF) 及 CFR 结果。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

1.2 CAG 及结果判定

常规穿刺右桡动脉,采用 Tig 冠脉造影导管进行造影。左侧冠脉造影至少采用 4 个投照体位(左前斜位 30° +头位 30° ;右前斜位 30° +头位 30° ;左前斜位 30° +足位 30° ;右前斜位 30° +足位 30°);右侧冠脉造影至少采用 2 个投照体位(左前斜位 30° ;正头位 30°)。CAG 图像由 2 位经验丰富的介入术者判断冠脉直径及狭窄程度。本研究根据患者是否存在冠脉重度狭窄病变分为缺血组和对照组。冠脉重度狭窄病变的定义标准为血管直径 ≥ 2 mm 且狭窄 $\geq 70\%$ 的病变。小血管重度狭窄病变定义为血管直径 < 2 mm 且狭窄 $\geq 70\%$ 的病变,不纳入研究。多支冠脉狭窄者,按最严重者分组,同一支血管内有多处狭窄者取其最严重处。

1.3 SPECT 检查及图像分析

所使用的成像设备为 CZT-SPECT(NM530c, GE Healthcare, USA),显像剂使用 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -甲氧基异丁基异腈($^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -methoxyisobutylisonitrile, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI),标记放化纯 $\geq 95\%$ 。显像均采用一日法:先静息后

腺苷负荷显像,具体方法见文献[4-5,7]。所有患者在 SPECT 检查前至少 24 h 停用血管活性药物、钙离子拮抗剂、双嘧达莫、腺苷类药物、茶碱类药物,以及茶、咖啡或含咖啡因类饮料。选取左前降支(left anterior descending, LAD)、左回旋支(left circumflex, LCX)及右冠脉(right coronary artery, RCA)进行血管水平分析,冠脉对应灌注区域为 LAD 对应前壁及间隔、LCX 对应侧壁、RCA 对应下壁。

1.4 统计学处理

应用 SPSS 23.0 进行统计分析。计量资料用 $\bar{X} \pm S$ 表示,两组间比较选择独立样本 t 检验,计数资料用比例(%)表示;计算 $CFR < 2.0$ 预测冠脉重度狭窄的灵敏度、特异度、准确性、阳性预测值、阴性预测值;绘制 rMBF、sMBF、CFR 预测冠脉重度狭窄的受试者工作特性(ROC)曲线,并根据最大 Youden 指数确定截断值。以 $P < 0.05$ 为差异有

统计学意义。

2 结果

2.1 缺血组和对照组 MBF、CFR 在血管水平及患者水平的比较。

在血管水平,387 支血管中共 127 支冠脉严重狭窄病变,在患者水平,共 73 例患者存在冠脉严重狭窄病变,结果显示在血管水平和患者水平缺血组 rMBF、sMBF、CFR 明显低于对照组($P < 0.01$),其中 sMBF 差别最为明显。见表 1。

2.2 CFR 预测冠脉重度狭窄的诊断价值

以 $CFR < 2.0$ 作为预测冠脉重度狭窄的参考指标,计算 $CFR < 2.0$ 对预测冠脉重度狭窄的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确性,结果显示在血管水平分别为 56.9%、87.9%、70.5%、80.1%、77.5%,在患者水平分别为 57.5%、85.7%、84.0%、60.8%、69.8%,见表 2。

表 1 缺血组和对照组 MBF、CFR 在血管水平及患者水平的比较

Table 1 MBF and CFR in the ischemic group and the control group

例(%), $\bar{X} \pm S$

参数	缺血组	对照组	t	P
血管水平(387 支)/支	127	242		
rMBF/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	0.78 ± 0.19	0.87 ± 0.31	3.03	0.003
sMBF/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	1.52 ± 0.46	2.36 ± 0.91	9.91	<0.001
CFR	2.02 ± 0.60	2.83 ± 0.92	9.01	<0.001
患者水平(129 例)/例	73	56		
rMBF-LAD/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	0.81 ± 0.16	0.88 ± 0.09	3.03	0.003
sMBF-LAD/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	1.76 ± 0.59	2.52 ± 0.89	5.75	<0.001
CFR-LAD	2.24 ± 0.72	2.87 ± 0.96	4.22	<0.001
rMBF-LCX/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	0.79 ± 0.20	0.87 ± 0.18	2.07	0.040
sMBF-LCX/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	1.70 ± 0.58	2.26 ± 0.88	4.31	<0.001
CFR-LCX	2.20 ± 0.73	2.68 ± 0.89	3.36	0.001
rMBF-RCA/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	0.79 ± 0.14	0.87 ± 0.58	2.48	0.014
sMBF-RCA/(mL · min ⁻¹ · g ⁻¹)	1.88 ± 0.77	2.67 ± 1.11	4.67	<0.001
CFR-RCA	2.40 ± 0.77	3.17 ± 1.04	4.82	<0.001

表 2 $CFR < 2.0$ 在患者水平和血管水平预测冠脉重度狭窄的诊断价值

Table 2 Diagnostic value of $CFR < 2.0$ in predicting severe coronary stenosis

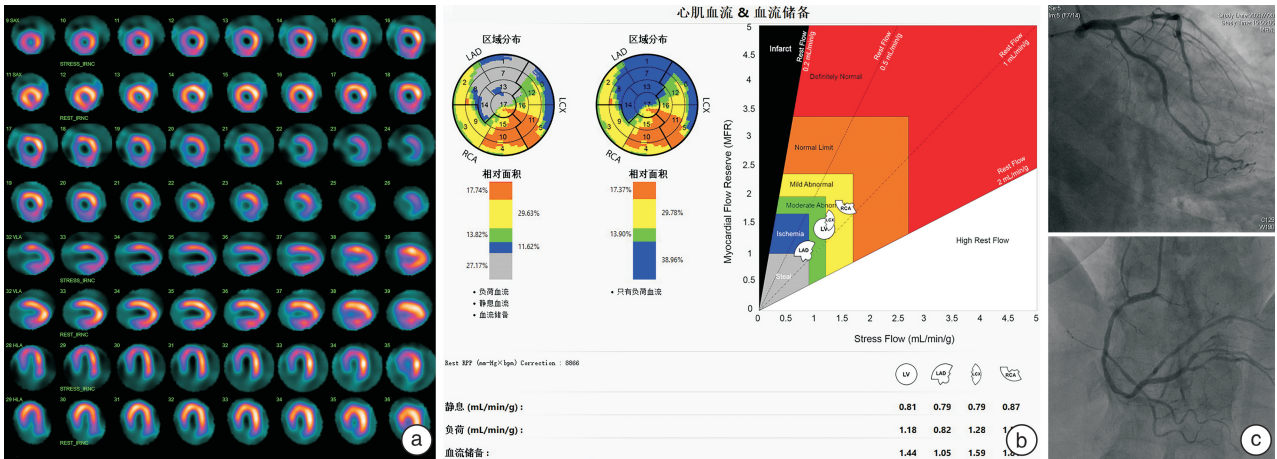
参数	血管水平(387 支)	患者水平(129 例)
灵敏度	56.9%(74/130)	57.5%(42/73)
特异度	87.9%(226/257)	85.7%(48/56)
阳性预测值	70.5%(74/105)	84.0%(42/50)
阴性预测值	80.1%(226/282)	60.8%(48/79)
准确性	77.5%(300/387)	69.8%(90/129)

2.3 典型病例分析

病例 1,男,57 岁,有劳力性心绞痛症状,MPI 可见部分前壁心尖段及部分前间壁显像剂分布呈

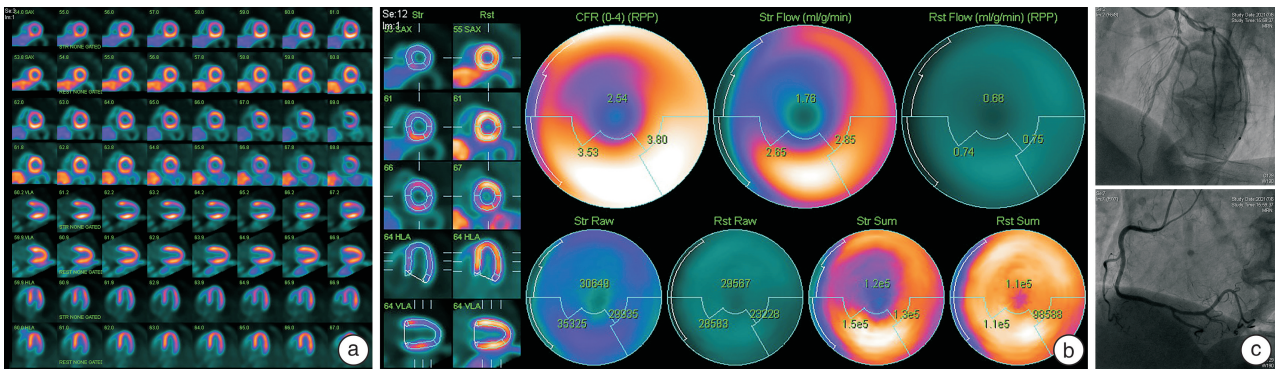
小范围可逆性分布,为 LAD 灌注区域,LCX 及 RCA 灌注区域无明显可逆性改变,但通过 Myo-FlowQ 软件计算的 LAD、LCX 和 RCA 灌注区域定量参数 sMBF、CFR 异常减低。侵入性 CAG 证实冠脉三支重度狭窄病变(图 1)。

病例 2,男,56 岁,间断静息下发作心绞痛,MPI 可见左室壁部分心尖段,部分前侧壁心尖段显像剂分布呈小范围可逆性分布,为 LAD 灌注区域;LAD 灌注区域 rMBF、sMBF、CFR 分别为 0.68 mL · min⁻¹ · g⁻¹、1.76 mL · min⁻¹ · g⁻¹、2.54,LCX、RCA 灌注区域 rMBF、sMBF、CFR 均正常。侵入性 CAG 证实 LAD 近段局限性重度狭窄病变,LCX、RCA 未见明显狭窄(图 2)。



注:a:CTZ-SPECT 腺苷负荷/静息心肌血流灌注显像图(第 1/3/5/7 排为负荷显像,第 2/4/6/8 排为静息显像);b:CFR 分区靶心图;c:侵入性 CAG。

图 1 例 1 患者图像资料
Figure 1 Images of the case one



注:a:CTZ-SPECT 腺苷负荷/静息心肌血流灌注显像图(第 1/3/5/7 排为负荷显像,第 2/4/6/8 排为静息显像);b:CFR 分区靶心图;c:侵入性 CAG。

图 2 例 2 患者图像资料
Figure 2 Images of the case two

2.4 ROC 曲线

绘制 rMBF、sMBF、CFR 对预测冠脉重度狭窄的 ROC 曲线,并根据 Youden 指数确定截断值(表 3、图 3)。结果显示 rMBF、sMBF、CFR 预测冠脉重度狭窄的 AUC 分别为 0.641、0.808、0.781,截

断值分别为 $0.735 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $1.885 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 2.185 。最有效预测指标为 sMBF 和 CFR,灵敏度分别为 78.5%、83.5%,特异度分别为 88.2%、70.1%。

表 3 rMBF、sMBF、CFR 预测冠脉重度狭窄的 ROC 曲线相关参数

Table 3 ROC curve parameters of rMBF, sMBF and CFR for predicting severe coronary stenosis

指标	AUC	95%CI	Youden 指数	截断值	灵敏度/%	特异度/%
rMBF	0.641	0.581~0.700	0.201	$0.735 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	64.7	56.4
sMBF	0.808	0.761~0.855	0.667	$1.885 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	78.5	88.2
CFR	0.781	0.732~0.831	0.536	2.185	83.5	70.1

3 讨论

冠心病是临床上最常见的心血管疾病,严重危害人类健康^[8]。冠脉狭窄是引起心肌缺血的主要原因,CAG 是目前临床上判定冠脉狭窄的“金标

准”,缺点是属于有创检查,对于重度肾功能不全和造影剂过敏患者应用受限,需要住院才能完成。部分可疑冠心病患者可能因不接受有创检查或禁忌证无法完成 CAG,从而延误诊断和治疗。早期识

别和诊断冠心病,并进行危险分层有助于识别高危风险患者,采取积极预防措施。冠脉重度狭窄患者不良心血管事件发生率明显高于轻中度狭窄患者,如何精准识别高危风险患者更为重要^[1]。

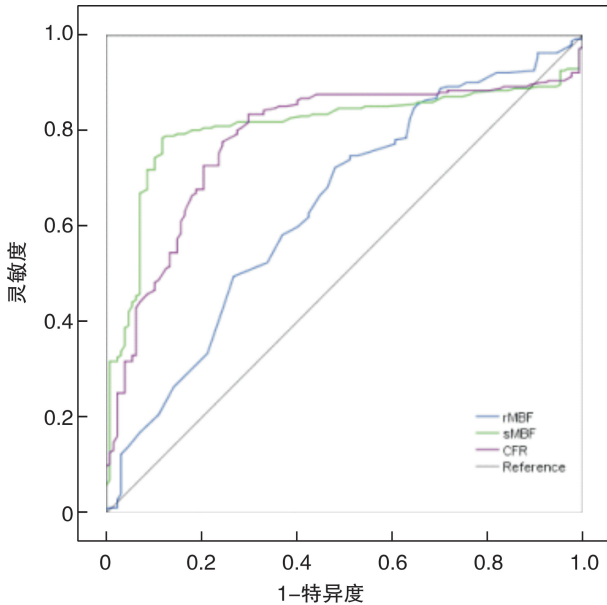


图3 rMBF、sMBF、CFR对预测冠脉重度狭窄的ROC曲线
Figure 3 ROC curves of rMBF, sMBF, and CFR for predicting severe coronary stenosis

与冠心病诊断和治疗相关的无创检查及评估手段一直是研究的热点^[6,9-12]。MPI已在临床应用数年,但在评估心肌缺血方面存在一定局限性:①主要依赖于诊断医师的主观判定,缺少客观、定量的相关参数;②冠脉多支狭窄病变可导致“均衡性”缺血,而引起低估缺血程度或漏诊的可能性;③属于高噪声影像,对于轻微缺血难以显示或识别;CZT-SPECT有较好的成像时间分辨率、探测灵敏度和空间分辨率,可定量计算sMBF与rMBF,两者的比值即为CFR,与PET相比具有较好相关性,对评估微循环功能障碍和预测冠脉狭窄均有一定应用价值^[13-14]。如图1所示病例,常规门控MPI可见LAD灌注区域显像剂分布存在部分可逆性改变,而LCX及RCA灌注区域无明显可逆性改变,但通过MyoFlowQ软件计算的LAD,LCX和RCA灌注区域定量参数sMBF、CFR均异常减低,CAG证实了冠脉三支重度狭窄病变。显示CZT-SPECT定量参数比半定量方法准确性更高。

本研究结果显示,在血管水平和患者水平进行分析,缺血组rMBF、sMBF、CFR明显低于对照组,但以sMBF降低最为明显,符合冠脉重度狭窄引起的CFR功能下降,与文献报道一致^[3-4,14]。部分研究显示冠脉狭窄组rMBF与正常组相比未见明显下降,分析其入选患者均为可疑冠心病或稳定型冠

心病患者,冠脉狭窄程度偏轻,rMBF并不会明显降低。本研究中包括部分不稳定型心绞痛患者,正如病例2所示,冠脉重度狭窄病变会导致患者rMBF、sMBF明显同步下降,而CFR表现为假性正常值。

有文献报道,在可疑冠心病或稳定型冠心病患者,推荐以 $CFR < 2.0$ 作为预测冠心病心肌缺血的界定值^[14]。以本研究入选患者计算 $CFR < 2.0$ 对预测冠脉重度狭窄的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、准确性,结果显示在血管水平分别为56.9%、87.9%、70.5%、80.1%、77.5%,显示灵敏度偏低,分析原因可能与CFR假性正常导致假阴性率增高有一定关系。

sMBF是血管舒张剂峰值出现时的MBF峰值,与心外膜冠脉扩张和微循环阻力有关。生理实验表明,正常的冠脉系统在药物作用下的血流峰值可增加到休息时的3~5倍。Gould等^[15]第1次采用实验方法验证了CFR与冠脉狭窄之间的关系,结果表明冠脉狭窄 $< 50\%$ 时CFR无明显异常,50%~95%狭窄时CFR下降速率逐渐陡直,主要是负荷血流量减少,但也指出冠脉狭窄不能完全代表相应的血流动力学异常。CFR也是预测患者预后的独立因素^[16],Fame I试验和Fame II试验均显示,FFR引导下PCI治疗患者的获益明显优于单纯CAG^[1,17-18]。目前,用压力导丝测量的FFR已被用作判断心外膜冠脉狭窄是否影响心肌灌注的有创“金标准”。在本研究中,我们发现在血管水平缺血组的rMBF、sMBF、CFR均低于对照组,随着诊断标准的提高,且有进一步同步下降的趋势。本研究绘制rMBF、sMBF、CFR对预测冠脉重度狭窄的ROC曲线,结果显示sMBF和CFR表现出较好的诊断性能,其中sMBF最为突出,与文献报道一致^[3-4,6,14]。对于严重缺血病变,患者rMBF和sMBF会同步降低,这时CFR值 > 2.0 甚至比较高。所以临床应用CFR进行缺血评估时,需要同时关注sMBF、rMBF绝对值,如何降低CFR的假阴性率尚需进一步研究探讨。对于CAG阴性,CZT-SPECT三支冠脉定量参数明显异常而且相互无明显差异时,定量的阳性结果将被视为假阳性,因此临床怀疑为微血管功能障碍的患者被纳入本研究的排除标准。

研究局限性:首先,本研究的样本量相对较小,是一项回顾性研究,由于临床实际工作及费用的原因等,只能以CAG的结果作为标准,无法得到心外膜冠脉灌注和微循环功能的FFR和微血管阻力指数;第二,合并冠脉狭窄的微循环功能障碍患者不能通过定量参数区分;第三,由于未做乙酰胆碱试验,并不能完全除外有冠脉痉挛因素的参与;最后,由于不同类型的设备和成像剂,不同的CZT类型、

单光子药物和正电子药物之间等因素的影响,获得的定量参数有待进一步研究。

综上所述,本研究结果表明,通过 CZT-SPECT 能比较容易获得 rMBF、sMBF、CFR 心肌定量血流参数,缺血组参数值明显低于对照组。sMBF 和 CFR 对预测心肌缺血表现出较好的诊断性能,其中 sMBF 最为突出。临床应用 CFR 进行缺血评估时,同时需要关注 sMBF、rMBF 绝对值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 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.
- [2] Camici PG, Rimoldi OE. The clinical value of myocardial blood flow measurement[J]. J Nucl Med, 2009, 50(7):1076-1087.
- [3] Cantoni V, Green R, Acampa W, et al. Diagnostic performance of myocardial perfusion imaging with conventional and CZT single-photon emission computed tomography in detecting coronary artery disease: A meta-analysis[J]. J Nucl Cardiol, 2021, 28(2): 698-715.
- [4] Pang Z, Wang J, Li S, et al. Diagnostic analysis of new quantitative parameters of low-dose dynamic myocardial perfusion imaging with CZT SPECT in the detection of suspected or known coronary artery disease[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2021, 37(1): 367-378.
- [5] Wang J, Li S, Chen W, et al. Diagnostic efficiency of quantification of myocardial blood flow and coronary flow reserve with CZT dynamic SPECT imaging for patients with suspected coronary artery disease: a comparative study with traditional semi-quantitative evaluation[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2021, 11(1): 56-67.
- [6] Shiraishi S, Tsuda N, Sakamoto F, et al. Clinical usefulness of quantification of myocardial blood flow and flow reserve using CZT-SPECT for detecting coronary artery disease in patients with normal stress perfusion imaging[J]. J Cardiol, 2020, 75(4):400-409.
- [7] 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.
- [8] 中国心血管健康与疾病报告 2020[J]. 心肺血管病杂志, 2021, 40(9):885-889.
- [9] Fearon WF, Zimmermann FM, De Bruyne B, et al. Fractional Flow Reserve-Guided PCI as Compared with Coronary Bypass Surgery[J]. N Engl J Med, 2022, 386(2):128-137.
- [10] Milzi A, Dettori R, Marx N, et al. Quantitative flow ratio(QFR) identifies functional relevance of non-culprit lesions in coronary angiographies of patients with acute myocardial infarction[J]. Clin Res Cardiol, 2021, 110(10):1659-1667.
- [11] Xu B, Tu S, Song L, et al. Angiographic quantitative flow ratio-guided coronary intervention (FAVOR III China): a multicentre, randomised, sham-controlled trial[J]. Lancet, 2021, 398(10317):2149-2159.
- [12] 韩梦月,谢锋,吴天慧,等. PET/SPECT核素心肌显像对存活心肌检测的研究进展[J]. 临床心血管病杂志, 2020, 36(9):790-793.
- [13] 崔利军,汪娇,田刚,等. 基于 CZT-SPECT 初探胸痛患者冠状动脉微血管疾病的发生风险及相关因素[J]. 临床心血管病杂志, 2022, 38(5):383-388.
- [14] 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.
- [15] Gould KL, Lipscomb K, Hamilton GW. Physiologic basis for assessing critical coronary stenosis. Instantaneous flow response and regional distribution during coronary hyperemia as measures of coronary flow reserve[J]. Am J Cardiol, 1974, 33(1):87-94.
- [16] 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.
- [17] Sels JW, Tonino PA, Siebert U, et al. Fractional flow reserve in unstable angina and non-ST-segment elevation myocardial infarction experience from the FAME (Fractional flow reserve versus Angiography for Multivessel Evaluation) study[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011, 4(11):1183-1189.
- [18] Fearon WF, Nishi T, De Bruyne B, et al. Clinical Outcomes and Cost-Effectiveness of Fractional Flow Reserve-Guided Percutaneous Coronary Intervention in Patients With Stable Coronary Artery Disease: Three-Year Follow-Up of the FAME 2 Trial (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation)[J]. Circulation, 2018, 137(5):480-487.

(收稿日期:2022-05-10)