

# 负荷动态 CT 心肌灌注定量参数对中重度冠心病风险患者心肌缺血的诊断价值

尚 兰<sup>1</sup>, 孔维芳<sup>1</sup>, 龙冰竹<sup>2</sup>, 李 方<sup>1</sup>, 何岳丰<sup>1</sup>, 黄红云<sup>1</sup>

1. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)放射科, 四川 成都 610072;  
2. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610072

**【摘要】目的** 探讨负荷动态 CT 心肌灌注定量参数对中重度冠心病风险患者心肌缺血的诊断效能及最佳诊断界值。**方法** 回顾性收集同时进行了负荷动态 CTP+CTA 检查, 及 ICA 或 FFR 检查疑似或已知中重度风险冠心病患者。以 ICA  $\geq 80\%$  或 FFR  $\leq 0.8$  为诊断功能性缺血的标准, 分为缺血组及非缺血组; 比较灌注定量参数 (MBF、MBV 及 PCBV) 在组间的差异; 并绘制参数诊断心肌缺血的 ROC 曲线, 计算曲线下面积 (AUC)、最佳诊断截断值、诊断敏感性、特异性、准确性等诊断效能指标。**结果** 42 例患者年龄 (65.40 $\pm$ 8.64) 岁, 120 根血管纳入研究; 经金标准诊断心肌缺血、非缺血分别为 38、14 例患者, 39 及 81 根血管。以血管分析, MBF、MBV 及 PCBV 在缺血组均显著低于非缺血组 ( $P < 0.001$ ); MBF、MBV 及 PCBV 诊断心肌缺血的最佳诊断截断值为 117.71 ml/100 (ml·min)、11.976 ml 和 6.38 ml, 诊断敏感性、特异性、准确性和 AUC 分别为: MBF 97.44% (38/39), 74.07% (60/81), 81.66% (98/120) 和 0.936 (95% CI: 0.876 ~ 0.973), MBV 71.75% (28/39), 98.77% (80/91), 90% (110/120) 和 0.890 (95% CI: 0.82 ~ 0.94), PCBV 76.92% (30/39), 81.48% (66/81), 90% (96/120), 0.832 (95% CI: 0.753 ~ 0.894), MBF 的 AUC 值优于 MBV 及 PVBV ( $P < 0.05$ )。**结论** 负荷动态 CTP 的定量参数可以用来诊断中重度冠心病风险患者的心肌缺血, 其中 MBF 具有较高的诊断效能, MBV 具有较高的诊断特异性, 在临床实践中可以联合使用。

**【关键词】** 心肌灌注; X 射线计算机断层摄影; 冠状动脉疾病; 心肌缺血; 心肌血流量

**【中图分类号】** R445.3, R816.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-6170(2025)01-0120-06

**Diagnostic value of quantitative parameters of stress dynamic CT myocardial perfusion for myocardial ischemia risk in patients with moderate to severe coronary heart disease** SHANG Lan<sup>1</sup>, KONG Wei-fang<sup>1</sup>, LONG Bing-zhu<sup>2</sup>, LI Fang<sup>1</sup>, HE Yue-feng<sup>1</sup>, HUANG Hong-yun<sup>1</sup> 1. Department of Radiology, Sichuan Academy of Medical Sciences·Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China; 2. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610072, China

**【Corresponding author】** Shang Lan, Email: shanglan@scut.edu.cn

**【Abstract】Objective** To explore the diagnostic efficacy and optimal cutoff value of quantitative parameters of stress dynamic CT myocardial perfusion in patients with moderate to severe of coronary artery disease (CAD). **Methods** Patients who simultaneously conducted stress dynamic CT myocardial perfusion and computed tomography angiography (CTA) as well as suspected or diag-

- [12] Chechlińska M, Kowalewska M, et al. Systemic inflammation as a confounding factor in cancer biomarker discovery and validation [J]. Nat Rev Cancer, 2010, 10(1): 2-3.
- [13] 姚平. 循环肿瘤细胞与炎症参数对结直肠癌患者的临床意义 [D]. 大连医科大学, 2019.
- [14] Chen M, Yan R, Zhou K, et al. Akt-mediated platelet apoptosis and its therapeutic implications in immune thrombocytopenia [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(45): E10682-E10691.
- [15] Rooper LM, Thompson L, Gagan J, et al. Low-grade non-intestinal-type sinonasal adenocarcinoma: a histologically distinctive but molecularly heterogeneous entity [J]. Mod Pathol, 2022, 35(9): 1160-1167.
- [16] Sukoco YAP, Noor MS, Armanza F, et al. Post-chemotherapy response of paclitaxel and carboplatin regimens in advanced stage cervical cancer types of histopathology squamous cell carcinoma and adenocarcinoma [J]. Bali Medical Journal, 2023, 12(1): 799-804.

- [17] 吴共发, 刘钰君, 姚雨江, 等. 肿瘤相关中性粒细胞通过 IL-17a 诱导 EMT 促进结肠癌细胞迁移和侵袭 [J]. 中国实用医药, 2024, 19(3): 172-175.
- [18] 朱金海, 左泽平, 字洪涛, 等. 术前外周血中淋巴细胞与单核细胞比值对高危非肌层浸润性膀胱癌预后的评估价值 [J]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版). 2022, 16(02): 124-127.
- [19] 赵征, 宋张骏, 孙海凤, 等. 血小板通过上调 NF- $\kappa$ B 信号通路增强乳腺癌循环肿瘤细胞的侵袭和迁移能力 [J]. 现代肿瘤医学, 2019, 27(22): 3943-3949.
- [20] 白素杭, 杨晓悦, 张楠, 等. 肿瘤浸润淋巴细胞在实体肿瘤中作用的研究进展 [J]. 生物工程学报, 2019, 35(12): 2308-2325.
- [21] Zhou Q, Su S, You W, et al. Systemic inflammation response index as a prognostic marker in cancer patients: a systematic review and meta-analysis of 38 cohorts [J]. Dose-Response. 2021, 19(4): 1485814696.

(收稿日期: 2024-04-01; 修回日期: 2024-06-28)

(本文编辑: 彭 羽)

nosed patients with moderate to severe CAD identified by invasive coronary angiography (ICA) or fractional flow reserve (FFR) were retrospectively collected. ICA  $\geq 80\%$  or FFR  $\leq 0.8$  were used as diagnostic standard for functional ischemia. The patients were divided into an ischemia group and a non-ischemia group. The perfusion quantitative parameters such as myocardial blood flow (MBF), myocardial blood volume (MBV) and perfusion capillary blood volume (PCBV) were compared between the two groups. The ROC curve analysis of the parameters in the diagnosis of myocardial ischemia were performed. The area under the curves (AUC), optimal diagnostic cutoff values, sensitivity, specificity, and accuracy were calculated. **Results** Forty-two patients [mean age (65.40  $\pm$  8.64) years old] with 120 vessels were included. According to the ICA/FFR examination, 28 patients with 39 vessels, and 14 patients with 81 vessels were divided into myocardial ischemia and non-ischemia groups, respectively. In per-vessels analysis, MBF, MBV and PCBV in the ischemic group were significantly lower than those in the non-ischemic group ( $P < 0.001$ ). The optimal diagnostic cutoff value of MBF, MBV and PCBV for diagnosing myocardial ischemia was 117.71 ml/100(ml  $\cdot$  min), 11.976 ml and 6.38 ml, respectively. The diagnostic sensitivity of MBF, MBV and PCBV was 97.44% (38/39), 71.79% (28/39) and 76.92% (30/39). The diagnostic specificity of MBF, MBV and PCBV was 74.07% (60/81), 98.77% (80/91) and 81.48 (66/81). The diagnostic accuracy of MBF, MBV and PCBV was 81.66% (98/120), 90.0% (110/120) and 80.0% (96/120). The AUC value of MBF, MBV and PCBV were 0.936 (95% CI: 0.876 ~ 0.973), 0.890 (95% CI: 0.82 ~ 0.94) and 0.832 (95% CI: 0.751 ~ 0.894). The AUC value of MBF was better than that of MBV and PVBV ( $P < 0.05$ ). **Conclusions** The quantitative parameters of stress dynamic CTP would be used to diagnose myocardial ischemia in patients with moderate and severe CAD. MBF has better diagnostic efficiency. MBV has better diagnostic specificity. These can be used in combination in clinical practice.

**【Key words】** Myocardial perfusion; Computed tomography; Coronary artery disease; Myocardial ischemia; Myocardial blood flow

冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)在世界范围带来的医疗费用及社会负担巨大。对疑似CAD的患者,冠状动脉CT血管成像(computed tomography angiography, CTA)具有确定的诊断和预后作用。但CTA只提供解剖信息,不能直接反映心肌是否缺血<sup>[1]</sup>。由于确定心肌缺血是否存在,是临床选择治疗方案的重要指标,因此需要对冠状动脉狭窄程度和心肌灌注同时进行评估<sup>[2]</sup>。药物负荷动态CT心肌灌注成像(CT perfusion, CTP)是一项较新的无创功能学影像检查。经过国际上多个临床试验证实,CTP对诊断及评估稳定性CAD具有良好的诊断价值<sup>[3~6]</sup>。CTP在临床实践中得到推广应用,心肌灌注定量参数,心肌血流(myocardial blood flow, MBF)的诊断截断值,文献报道为 $105 \sim 164$  ml/100(ml  $\cdot$  min)均有报道,目前临床尚无统一的诊断截断值标准<sup>[3~6]</sup>;而且不同种族的人群可能会影响心肌灌注的MBF范围。临床实践中,中重度CAD风险的患者,需要进一步检查以评估是否有心肌缺血,也是CTP推荐的检查对象<sup>[3,5]</sup>。因此,我们采用较先进的第三代双源CT对临床CAD中重度风险患者进行药物负荷动态CTP扫描,获得心肌灌注信息,比较常用的定量参数,包括MBF、心肌血容量(myocardial blood volume, MBV)、毛细血管血容量(perfusion capillary blood volume, PCBV)诊断心肌缺血的价值,并探索各参数的最佳诊断截断值。

**【基金项目】**四川省科技厅重点研发项目(编号:2022YFS0075);四川省干部保健课题(编号:川干研2020-225, 2021-230);凉山州科技局项目(编号:21ZDY0069)

**【通讯作者】**孔维芳

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 2020年10月至2023年12月四川省人民医院就诊怀疑CAD的患者。纳入标准:怀疑或已知有稳定型CAD,已按标准流程完成负荷动态CTP联合冠脉CTA检查<sup>[3,5]</sup>,且检查60天后进行了有创冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)或储备分数(fractional flow reserve, FFR)检查的成人患者,愿意签署知情同意书的患者。排除标准:①冠状动脉血管再通术后(如支架、旋磨或冠脉搭桥等);②其他类型心脏病,如肺心病、高血压性心脏病、瓣膜病等;③CTP及CTA图像质量不符合诊断及后处理要求。本研究经四川省人民医院伦理委员会批准(批号:No. 2022-357)。

### 1.2 扫描方法及后处理

**1.2.1 检查前准备** 检查前停用以下药物及食物24~48小时: $\beta$ -受体阻滞剂、硝酸酯类、钙离子拮抗剂、潘生丁及氨茶碱类药物,咖啡、可乐等含咖啡因的饮料和食物。扫描前进行呼吸训练,并于双侧上臂分别建立静脉通道。

**1.2.2 扫描流程** 应用第三代双源CT(Somatom Force, 西门子医疗, 德国),患者平躺后连接心电门控,行心脏定位图及心脏钙化积分扫描。然后行CTP检查:使用药物泵以 $0.14$  mg/(kg  $\cdot$  min)的速率静脉内泵入三磷酸腺苷二钠注射液(ATP)引起血管舒张,在注射第3 min结束时,以 $5$  ml/s的速率注入 $40$  ml碘对比剂(碘迈伦,含碘 $400$  mg/ml),随后注射 $40$  ml生理盐水;采用触发延迟 $5$  s,采用摇篮床扫描模式以覆盖左心室心肌,采集窗为收缩末期(R波后大约 $250$  ms),总扫描时间 $32$  s;扫描时密切观察患者心率等反应,扫描结束立即停止ATP注射。管电压及管电流为自动调节。

患者于扫描床上休息 5 ~ 10 min。采用回顾性心电门控进行 CTA 检查:以 5 ml/s 的速度采用高压注射剂注入 40 ~ 50 ml 碘对比剂(典迈伦,含碘 400 mg/ml),随后追加生理盐水。采用升主动脉自动触发扫描,触发阈值为 150 HU,延时 4 s 自动扫描;电压 100 kv,自动电流,旋转时间 0.28 s,扫描层厚 0.75 mm,扫描范围覆盖冠状动脉。

**1.2.3 图像后处理** 首先将心肌灌注序列数据传至 Syngo. via(西门子)心肌灌注分析软件,经过呼吸相关位移校正、降噪、心肌分割等步骤,生成多组左心室灌注序列。把上述生成的灌注序列传至(Cardiac Function Analysis, version 2.0.5, Siemens Healthineers)软件,自动生成左心室整体心肌血流量平均值(MBF-global);然后避开心内膜及心外膜,分别在 1 ~ 16 心肌节段内灌注最低及最高的区域,手动勾画出体积至少为 0.5 cm<sup>2</sup> 的感兴趣区(VOI),自动计算出灌注定量参数:MBF、MBV、PCBV。

CTA 数据传送至 Syngo. via(西门子)冠状动脉分析。首先根据 Likert 评分对图像质量进行分类,评估 CTA 可评估性;其次自动计算冠状动脉钙化积分;然后对三支大血管及各段(左冠状动脉前降支 LAD、回旋支 LCX 及右冠状动脉 RCA)的管腔狭窄程度评估;阻塞性 CAD 被定义为冠脉狭窄程度 ≥ 50%。

CTP 及 CTA 结果分别由介入心脏放射科医生盲法判断,存在分歧时,请教介入心脏放射科医师(拥有 10 年以上介入心脏放射科经验)通过 PACS 系统查询患者的基本信息、既往病史、高血压、体重指数(body mass index, BMI)、吸烟高危因素等。并记录 CTP 的剂量长度乘积(length product, DLP),再计算有效辐射剂量(ESDI)。

**1.2.4 ICA 和 FFR** 介入心脏病医生在 CTA 检查后 60 天内进行 ICA 及 FFR 测量。采用盲法(对 CTA 和 CTP 结果不知情)对 ICA 结果进行分析:以下情况中的一种可认为存在功能性心肌缺血:FFR ≤ 0.8 或 ICA ≥ 80%<sup>[7,8]</sup>。

**1.3 统计学方法** 统计分析使用 SPSS 26.0 和 MedCalc 15.2.0 软件包。正态分布数据采用方差分析或 *t* 检验,非正态分布数据采用 Mann-Whitney *U* 检验。分类变量以例数(%)表示,连续变量以均数 ± 标准差表示,或中位数及 1/4 分位数。首先比较心肌缺血组与非缺血组内灌注定量参数的差异;其次绘制 CTP 参数及 CTA 诊断心肌缺血的受试者工作(receiver operating characteristic, ROC)曲线,得出曲线下面积(area under curve, AUC),使用 DeLong 测试进行差异比较,使用最大 Youden 试验确定各参数的最佳诊断截断值,计算诊断敏感性、特异性、准确性、阴性预测值(NPV)和阳性预测值(PPV)。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 患者一般资料** 共纳入 54 例患者,因支架置入排除 4 例、高血压性心脏病排除 3 例,图像质量不符合要求排除 5 例,最终纳入 42 例;经 FFR 及 ICA 标准判定,心肌缺血及非缺血分别为 28 例、14 例,冠状动脉中度、重度狭窄患者分别为 25 例、17 例。132 根血管,排除狭窄程度为 50% ~ 80% 但未进行 FFR 检测的血管 6 根,最终纳入 120 根,其中心肌缺血及非缺血分别为 39 根、81 根;轻微及阴性、轻度、中度、重度狭窄的血管分别为 33、27、46 及 14 根。患者年龄(65.40 ± 8.64)岁;与非缺血组相比,缺血组为多支病变的比例更高(*P* = 0.045),两组在年龄、性别、钙化积分、CAD 高危因素方面比较差异无统计学意义(*P* > 0.05)。见表 1。

表 1 缺血组及非缺血组患者基本情况比较

项目	总例数( <i>n</i> = 42)	非缺血组( <i>n</i> = 14)	缺血组( <i>n</i> = 28)	<i>P</i>	
年龄(岁)	65.4 ± 8.64	67.21 ± 9.01	64.5 ± 8.46	0.343	
男性[ <i>n</i> (%)]	30(71.43)	9(64.3)	21(75)	0.719	
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	24.17 ± 2.71	23.75 ± 2.26	24.38 ± 2.92	0.484	
高血压[ <i>n</i> (%)]	22(52.38)	7(50)	15(53.6)	1.000	
糖尿病[ <i>n</i> (%)]	17(40.48)	6(42.9)	11(39.3)	1.000	
高血脂[ <i>n</i> (%)]	20(47.62)	6(42.9)	13(46.4)	1.000	
冠心病家族史[ <i>n</i> (%)]	16(38.10)	3(21.4)	4(14.3)	0.668	
冠状动脉病变数[ <i>n</i> (%)]					
	3支	28(66.67)	6(42.9)	22(78.6)	0.045
	2支	9(21.43)	6(42.9)	3(10.7)	
	1支	5(11.90)	2(14.3)	3(10.7)	
吸烟[ <i>n</i> (%)]	16(38.1)	6(42.9)	10(35.7)	0.742	
钙化积分(分)	367.18 ± 516.89	181.26 ± 146.63	460.26 ± 606.96	0.099	

**2.2 缺血组及非缺血组定量参数差异分析** 以患者分析,缺血组的各定量参数均低于非缺血组,仅 MBF-global 差异有统计学意义( $P=0.006$ ),见表 2。以血管分析,缺血组中 MBF、MBV 及 PCBV 显著低

于非缺血组( $P<0.001$ ),且冠状动脉狭窄程度更重( $P<0.001$ );全部的重度狭窄的血管及 46% 的中度狭窄血管引起了心肌缺血。见表 3。

表 2 以患者分析缺血组及非缺血组定量参数比较

参数	总例数( $n=42$ )	非缺血组( $n=14$ )	缺血组( $n=28$ )	$t$	$P$
MBF-global [ ml/100( ml · min ) ]	135.93±27.50	153.06±30.24	127.37±21.92	-3.149	0.003
MBV( ml )	15.66±2.50	16.70±2.48	15.14±2.39	-1.977	0.074
PCBV( ml )	9.09±2.88	9.82±1.91	8.37±2.38	1.973	0.053

表 3 以血管分析缺血组及非缺血组定量参数比较

参数	总例数( $n=120$ )	非缺血组( $n=81$ )	缺血组( $n=39$ )	统计量	$P$
MBF [ ml/100( ml · min ) ]	117.83 ( 95.05, 138.968 )	128(116.435, 151.51 )	73(106.82~147.66)	$Z=10.902$	$<0.001$
MBV( ml )	11.3175(11.3175, 15.7225)	15.224±2.718	10.67±7.54	$Z=4.792$	$<0.001$
PCBV( ml )	7.047±3.355	8.293±2.854	5.33±6.437	$F=3.465$	$<0.001$
冠状狭窄程度[ $n(%)$ ]	1% ~24%	33 (27.5)	33 (40.7)	$\chi^2=67.975$	$<0.001$
	25% ~49%	27 (22.5)	27 (33.3)		
	50% ~69%	46 (38.3)	21 (25.9)		
	70% ~99%	14 (11.7)	14 (35.9)		
CCTA 判读心肌缺血( $\geq 50%$ ) [ $n(%)$ ]	60 (50)	21 (25.9)	39 (100)	$\chi^2=50.556$	$<0.001$

**2.3 灌注定量参数诊断心肌缺血的效能分析** 以血管分析,各参数诊断心肌缺血的 ROC 见图 1。MBF 的 AUC 值显著高于 CTA、MBV 及 PCBV ( $P<0.05$ );MBV、CTA 及 PCBV 三者间差异无统计学意义( $P>0.05$ )。MBF 的最佳截断值为 117.71 ml/100( ml · min ),在最佳截断值时具有最高的诊断敏感性,中等特异性;MBV 的最佳截断值为 11.976 ml,在最佳截断值时具有最高的特异性,较低的诊断敏感性。PCBV 的最佳截断值为 6.38 ml,在最佳截断值时具有中等的敏感性 & 特异性。各参数诊断心肌缺血的最佳截断值及诊断效能见表 4。CTP 诊断心肌缺血的典型案例见图 2。

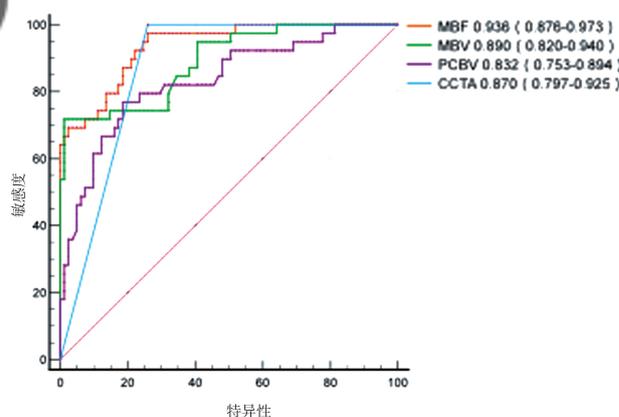


图 1 灌注定量参数与 CTA 诊断心肌缺血的 ROC 曲线

表 4 以血管分析各定量参数诊断心肌缺血的诊断效能

参数	敏感性(%)	特异性(%)	准确性(%)	PPV(%)	NPV(%)	AUC(95% CI)	$P$	Cutoff 值	约登指数
MBF	97.44	74.07	81.66	63.33	98.36	0.936(0.876~0.973) *	$<0.001$	117.71	0.715
MBV	71.79	98.77	90.00	0.9655	87.9	0.890(0.820~0.940) *	$<0.001$	11.1	0.7056
PCBV	76.92	81.48	80.00	0.6666	81.48	0.832(0.753~0.894) *	$<0.001$	6.38	0.5840
CTA	100.00	74.07	65.00	100.00	82.50	0.870(0.797~0.925) *	$<0.001$	$\geq 50%$	0.7407

\* MBF 与 MBV、PCBV 及 CTA 比较, $P<0.05$ ;MBV 与 CTA 及 PCBV 三者间比较, $P>0.05$

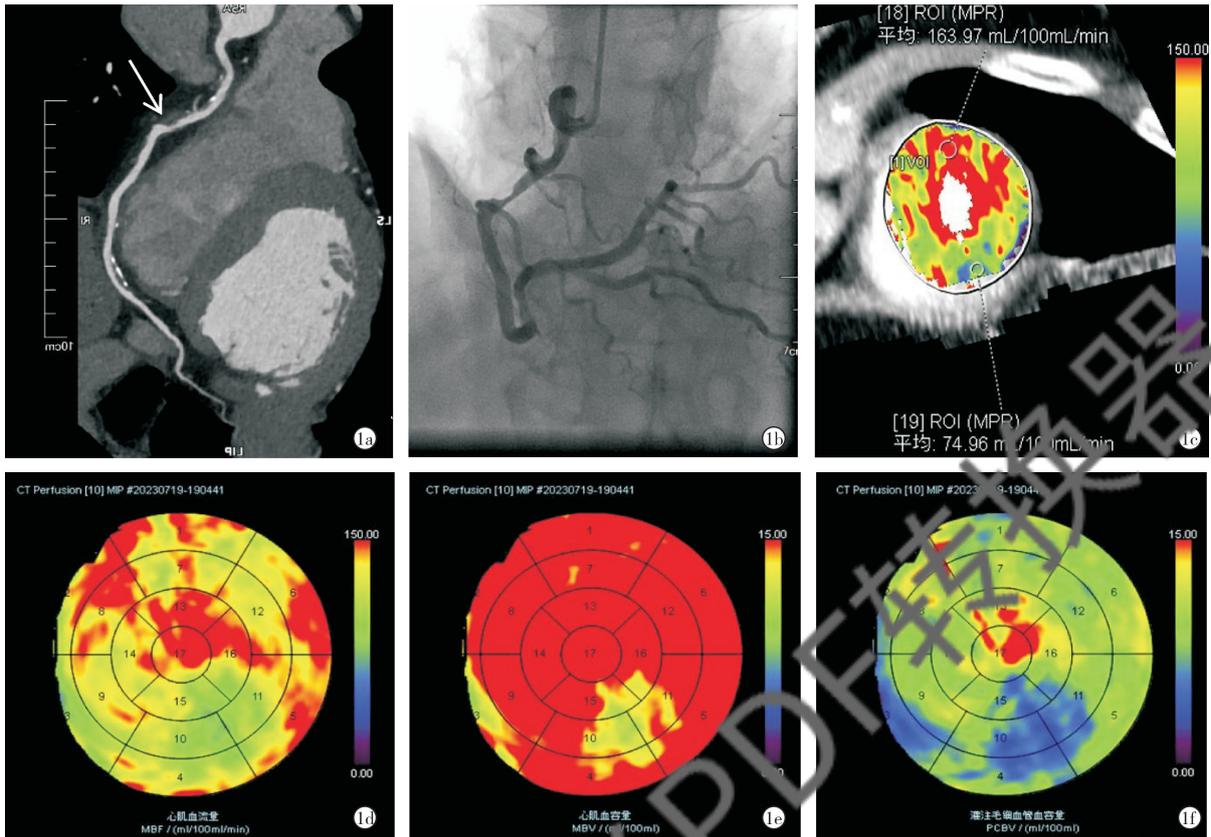


图2 典型病例 男,70岁,胸部不适1年,有高血压,糖尿病史7年;a:CTA示RCA中段,中度狭窄50%~75%(白色箭头),提示CAD;b:ICA图示RCA中段狭窄50%~80%(黑色箭头),FFR为0.75,提示心肌缺血;c:左心室短轴轴MBF图示下壁灌注降低[蓝色,ROI19,MBF值为74.96 ml/100(ml·min)],小于诊断截断值117.71,提示心肌缺血;前壁红色区[ROI18,MBF值为163.97 ml/100(ml·min)],大于诊断截断值117.71,提示缺血心肌;d:MBF牛眼图示左心室下壁(右冠供血区,第4,10,11,15节段)灌注异常(蓝色、绿色区);e:MBV牛眼图示左心室下壁(灌注异常区呈黄色,较MBF范围略缩小);f:PCBV牛眼图示左心室下壁灌注异常(蓝色)。

### 3 讨论

本研究的主要结论是MBF及缺血组的定量参数以血管分析患者分析,仅MBF存在显著差异。分析,MBF诊断心肌缺血的最佳截断值为117.71 ml/100(ml·min),MBF对中重度CAD风险患者诊断心肌缺血的敏感性、特异性、准确性分别为97.44%、74.07%、81.66%,AUC值为0.936(95%CI:0.876~0.973, $P<0.001$ );③MBF较MBV、PCBV和CTA具有更优秀的诊断效能,MBV具有较高的诊断特异性。

在缺血组中患者冠状动脉病变均为多支受累,全部的重度狭窄血管及接近一半的中度狭窄血管引起了心肌缺血;超过一半的中度狭窄血管未引起心肌缺血;也印证了血管狭窄程度与心肌缺血不完全成比例。以往研究报道<sup>[9~15]</sup>,负荷动态CTP有助于心肌缺血的诊断,与单独CTA相比,CTP联合CTA可显著提高诊断心肌缺血的准确性;并避免不必要的ICA检查,尤其是对于冠脉中度狭窄的患者。Yu等<sup>[16]</sup>研究表明,与单独使用CTA相比,CTA

联合CTP可以降低未进行血管重建的ICA的发生率。

与非缺血组比较,缺血组的MBF在患者和血管分析均显著较低。以ICA及FFR作为金标准,MBF的最佳诊断截断值为117.71 ml/100(ml·min),与中国人群的研究报道的正常人群的MBF下限[116 ml/100(ml·min)]一致<sup>[8]</sup>。MBF最佳截断值变化较大的原因可能为,各研究中的患者心肌缺血程度不同,金标准的选择不同,以及各设备算法不同<sup>[5]</sup>。在最佳诊断截断值以血管分析时,MBF具有较高的AUC值0.936,和较高的敏感性97.44%,中等特异度74.07%。据Meta-分析报道,负荷CTP在血管分析的AUC为0.911,敏感性85%,特异性81%<sup>[6]</sup>。本研究同时比较了多个灌注定量参数对心肌缺血的诊断效能,其中MBF的诊断效能优于MBV、PCBV及CTA( $P<0.05$ ),与以往研究一致,MBF在检测血流显著异常的CAD中优于其他定量参数,MBV的诊断特异度较高,两者结合可以更好的发挥CTP的价值<sup>[3~5]</sup>。

负荷动态 CTP 具有高空间分辨率和对左心室的完全覆盖,以及将灌注异常与冠状动脉 CTA 结果相关联的能力,从而将解剖和功能整合在一起,在 CAD 中心肌缺血的应用得到了国内外多个研究的肯定及指南的推荐<sup>[3~16]</sup>。目前影响 CTP 临床推广的另一原因是 CT 辐射剂量的担心和关注,本研究采用第三代双源 CT,辐射暴露剂量为 $(297.44 \pm 91.64) \text{ mGy} \cdot \text{cm}$ ,相当于 $(4.16 \pm 1.28) \text{ mSv}$ 。比先前使用第二代双源 CT 的研究减少了近 50%<sup>[3,5]</sup>。CT 新技术也推动低剂量 CTP 方案的实施。本研究是回顾性、单中心小样本的研究,研究结果可能仅适用于第三代双源 CT 且类似的 CTP 检查方案;其次本研究样本内包含非缺血的血管,这可能导致对其诊断性能的高估。

综上,负荷动态 CTP 的定量参数可以用来诊断中重度冠心病风险患者的心肌缺血,其中 MBF 具有较高的诊断效能,MBV 具有较高的诊断特异性,在临床实践中两者可以联合使用。

#### 【参考文献】

- [1] Ciccarelli G, Barbato E, Toth GG, et al. Angiography versus hemodynamics to predict the natural history of coronary stenoses: fractional flow reserve versus angiography in multivessel evaluation 2-study [J]. *Circulation*, 2018, 137:1475-1485.
- [2] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute coronary syndromes: the Task Force for the diagnosis and management of acute coronary syndromes of the European Society of Cardiology [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41:407-440.
- [3] Patel AR, Bamberg F, Branch CR, et al. Cardiovascular computed tomography expert consensus statement on myocardial computed tomography perfusion imaging [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020, 14:87-100.
- [4] Celeng C, Leiner T, Maurovich-Horvat P, et al. Anatomical and functional computed tomography for diagnosing hemodynamically significant coronary artery disease: a meta-analysis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12:1316-1325.
- [5] Sliwicki O, Sechopoulos I, Baggiano A, et al. Dynamic myocardial CT perfusion imaging-state of the art [J]. *European Radiology*, 2023, 33(8):5509-5525.
- [6] Lu M, Wang S, Sirajuddin A, et al. Dynamic stress computed tomography myocardial perfusion for detecting myocardial ischemia: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Cardiol*, 2018, 258:325-331.
- [7] Rossi A, Merkus D, Klotz E, et al. Stress myocardial perfusion: imaging with multidetector CT [J]. *Radiology*, 2014, 270:25-46.
- [8] Lyu LJ, Pan JC, Li DM, et al. Knowledge of hyperemic myocardial blood flow in healthy subjects helps identify myocardial ischemia in patients with coronary artery disease [J]. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, 3:9:817911.
- [9] Bamberg F, Becker A, Schwarz F, et al. Detection of hemodynamically significant coronary artery stenosis: incremental diagnostic value of dynamic CT-based myocardial perfusion imaging [J]. *Radiology*, 2011, 260:689-698.
- [10] Pontone G, Baggiano A, Andreini D, et al. Dynamic stress computed tomography perfusion with a whole-heart coverage scanner in addition to coronary computed tomography angiography and fractional flow reserve computed tomography derived [J]. *J Am Coll Cardiol Img*, 2019, 12:2460-2471.
- [11] Pontone G, Andreini D, Guaricci AI, et al. Incremental diagnostic value of stress computed tomography myocardial perfusion with whole-heart coverage CT scanner in intermediate- to high-risk symptomatic patients suspected of coronary artery disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12:338-349.
- [12] Kitagawa K, Nakamura S, Ota H, et al. Diagnostic performance of dynamic myocardial perfusion imaging using dual-source computed tomography [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 16, 78(20):1937-1949.
- [13] Seitun S, Castiglione MM, Budaj I, et al. Stress computed tomography myocardial perfusion imaging: a new topic in cardiology [J]. *Rev Esp Cardiol*, 2016, 69:188-200.
- [14] Nours FMA, Geisler T, Kruk MBP, et al. Dynamic myocardial perfusion CT for the detection of hemodynamically significant coronary artery disease [J]. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2022, 15(1):75-87.
- [15] 易妍,王怡宁,徐橙,等. 动态负荷 CT 心肌灌注成像诊断中重度冠心病风险患者心肌缺血的价值 [J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(2), 117-122.
- [16] Yu M, Shen C, Dai X, et al. Clinical outcomes of dynamic computed tomography myocardial perfusion imaging combined with coronary computed tomography angiography versus coronary computed tomography angiography-guided strategy [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(1):e009775.

(收稿日期:2024-02-22;修回日期:2024-04-30)

(本文编辑:林 贇)