Modern Practical Medicine, January 2025, Vol. 37, No. 1

·诊治分析·

负荷动态CT心肌灌注成像联合心脏磁共振心肌灌注成像评估冠状动脉微循环障碍的价值分析

林新江，邵波，李吕明，王怡欣

【关键词】 负荷动态 CT 心肌灌注成像；心脏磁共振心肌灌注成像；高血压；冠状动脉微循环障碍
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.01.020
【中图分类号】 R543.3 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2025)01-0074-04

冠状动脉微循环障碍（CMD）指冠状动脉的微循环结构和功能受影响后出现的一系列异常临床症状[1]。CMD 与其相关的主要心血管不良事件（MACE）的发生率增加有关[2]。高血压是心脑血管疾病发生的重要危险因素[3]，高血压患者在无心外膜阻塞性 CMD 情况下表现为心绞痛时，心脏负荷后心肌血流量（MBF）和冠状动脉血流储备明显减少，这可能与 CMD 导致的心肌缺血相关[4]。单光子发射计算机断层显像（SPECT）的心肌血流灌注成像（MPI）可有效评估心肌血流和心脏功能，但其辐射剂量高，临床应用受限。目前负荷动态 CT-MPI、心脏磁共振（CMR）-MPI 在冠状动脉疾病诊断和风险分级中应用广泛。然而，两者评估高血压患者心肌血流灌注情况的研究较少。因此，本研究基于负荷动态CT-MPI、CMR-MPI技术，探讨两者联合应用对高血压患者 CMD 的评估价值，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2022 年 3 月至 2024 年 3 月树兰（衢州）医院收治的 80 例疑似冠状动脉粥样硬化性心脏病（CHD）或稳定性胸痛症状的高血压患者的临床资料，纳入患者均自愿接受负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 和 SPECT-MPI 检查。纳入标准：（1）存在稳定性胸痛，并高度怀疑心绞痛；（2）经冠状动脉 CT 血管造影证实心外膜冠状动脉狭窄程度均＜ 50%；（3）符合《2018 年欧洲高血压管理指南》[5]中高血压诊断标准。排除标准：（1）既往心脏、冠状动脉手术史；（2）存在各种心肌病、瓣膜病、先天性心脏病及感染性心内膜炎等病史；（3）合并严重心律失常者；（4）妊娠；（5）有明确糖尿病、甲状腺疾病病史；（6）存在非高血压引起的明显的其他心脏结构异常；（7）血流动力学不稳定的患者；（8）存在严重肝肾功能不全者；（9）对含碘造影剂或腺苷过敏者。以 SPECT-MPI 检查结果为参照标准，分为心肌灌注异常组（50 例）和灌注正常组（30 例）。本研究获得树兰（衢州）医院伦理委员会批准，所有研究者均同意参加本研究并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 负荷动态 CT-MPI 选择西门子双源多层螺旋CT机（Siemens Somatom FLASH，西门子公司）进行图像采集。扫描范围包括心脏膈面以下 1 cm 至气管隆突水平下 1 cm。扫描参数：采用自动管电流调制技术，管电压 800 kV，旋转时间 280 ms。通过左侧肘前静脉输液泵注入腺苷（恒定速率：140 $pg \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$）3 min 后采用双筒高压注射器以速率 5.2 ml/s 依次注入 50 ml 对比剂（碘佛醇，350 mg/ml）、50 ml 0.9%氯化钠注射液。注射对比剂的同时进行动态穿梭扫描，扫描结束后立即停止腺苷注射。

1.2.2 CMR-MPI 检查 选择飞利浦 Ingenia 3.0T 超导磁共振仪和心脏相控线圈。采用快速平衡稳态进动（FIESTA）序列，在心脏短轴位行电影扫描，主要含基底部至心尖部，采集 8 ～ 10 层；采用快速梯度回波（FGRET）序列，在心脏短轴位采集心肌首过期灌注扫描，采集 6 ～ 8 层；采用反转恢复快速梯度回波序列（IRFGR），在心脏短轴位行心肌对比剂延迟

基金项目： 衢州市第一批指导性科技攻关项目（2022098）
作者单位： 324000 浙江省衢州，树兰（衢州）医院
通信作者： 林新江，Email：13968869091@163.com

期扫描，延迟时间 8 ～ 15 min，采集 8 ～ 10 层。

1.2.3　SPECT-MPI 检查　在入院两周内完成 SPECT-MPI 检查，使用美国 GE 公司 Infinia 双探头 SPECT 扫描仪，患者注射 ^{99m}Tc- MIBI 20 ～ 25 mCi，注射结束 20 min 后进食脂餐，在 60 ～ 90 min 后进行显像，患者仰卧位，采用低能高分辨准直器，双探头 90°垂直位采集，矩阵 64× 64，放大倍数 1.5，能峰 140 keV，窗宽 20%。

1.3　图像后处理分析

1.3.1　负荷动态 CT-MPI　重建层厚/层间距 1 mm/1 mm，导入后处理工作站 Siemens MMWP（Syngo.via VE23A，Siemens Medical Healthcare）进行图像后处理分析及测量。对左室心肌按照“美国心脏协会 17 节段法”[6]进行分段，分别对短轴位每一节段心肌的感兴趣区（ROI）进行手动描绘，边缘与心内外膜距离超过 1 mm 以上。其中 MBF、心肌血容量（MBV）、达峰时间（TTP）由软件自动生成。由一名具有 5 年及以上心血管诊断经验的放射科医师完成以上测量，取 3 次测量结果的平均值为最终结果。

1.3.2　CMR-MPI　采集各层首过灌注图像采用后处理软件自动分析完成，包括时间-信号强度曲线、各节段心肌峰值信号强度（SI_{peak}）、灌注峰值时间（t_{peak}）、心肌信号强度最大上升斜率（$Slope_{max}$）等灌注参数值。由一名具有 5 年及以上心血管诊断经验的放射科医师完成以上测量，取 3 次测量结果的平均值为最终结果。

1.4　统计方法　选择 SPSS 23.0 统计软件进行分析，利用 Kolmogorov-Smirnov 检验所有计量资料的正态性，符合正态分布的变量以均数±标准差表示，两组间比较采用独立样本 t 检验进行；偏态分布变量以中位数（四分位间距）表示，两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料采用 χ^2 检验。采用 Logistic 回归建立多因子联合诊断模型，通过计算受试者工作特征（ROC）曲线下面积（AUC）分析负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 检查单独及联合应用对高血压患者 CMD 的诊断效能。采用 Delong 检验比较 AUC。P ＜ 0.05 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　两组基线资料比较　两组基础资料差异均无统计学意义（P ＞ 0.05），具有可比性，见表 1。

2.2　两组负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 的定量参数比较　与灌注正常组比较，灌注异常组 MBF、MBV 及 $Slope_{max}$ 明显减低，TTP、t_{peak} 及 SI_{peak} 明显升高（均 P ＜ 0.05），见表 2、图 1。

2.3　负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 的定量参数的多

表 1　灌注异常组和灌注正常组一般临床资料比较

指标		灌注异常组（n=50）	灌注正常组（n=30）	t（χ^2）值	P 值
年龄（岁）		55.4±11.3	54.7±12.9	0.25	＞ 0.05
性别[例（%）]	男	28（56.00）	18（60.00）	（0.12）	＞ 0.05
	女	22（44.00）	12（40.00）		
体质量指数（kg/m^2）		22.49±2.38	22.57±2.51	0.14	＞ 0.05
心率（次/min）		80.27±5.62	78.96±6.23	0.97	＞ 0.05
收缩压（mmHg）		160.27±15.28	158.61±15.35	0.47	＞ 0.05
舒张压（mmHg）		105.39±10.75	106.33±10.27	0.39	＞ 0.05
高血压病程（年）		8.65±3.39	9.07±3.12	0.55	＞ 0.05
冠心病家族史[例（%）]	有	22（44.00）	11（36.67）	（0.42）	＞ 0.05
	无	28（56.00）	19（63.33）		
饮酒史[例（%）]	有	35（70.00）	19（63.33）	（0.38）	＞ 0.05
	无	15（30.00）	11（36.67）		
吸烟史[例（%）]	有	32（64.00）	16（53.33）	（0.89）	＞ 0.05
	无	18（36.00）	14（46.67）		
高同型半胱氨酸血症病史[例（%）]	有	15（30.00）	6（20.00）	（0.97）	＞ 0.05
	无	35（70.00）	24（80.00）		
高胆固醇血症病史[例（%）]	有	19（38.00）	9（30.00）	（0.53）	＞ 0.05
	无	31（62.00）	21（70.00）		
高尿酸血症[例（%）]	有	20（40.00）	10（33.33）	（0.36）	＞ 0.05
	无	30（60.00）	20（66.67）		

注：1 mmHg≈0.133 kPa

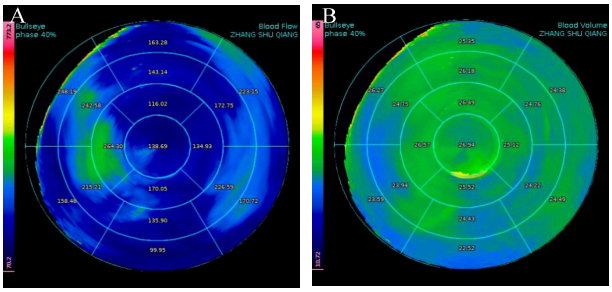
因子 Log P 模型构建　利用多因素 Logistic 回归方法，以灌注状态即 CMD 情况为因变量（1=灌注异常，0=灌注正常），分别以负荷动态 CT-MPI 定量参数（MBF、MBV、TTP）和 CMR-MPI 的定量参数（t_{peak}、$Slope_{max}$、SI_{peak}）为自变量，各自变量均按其两组总均值进行两分类转化：≥总均值赋值为 1，0=否，构建为两个 3 因子 Log P 模型：（1）负荷动态 CT-MPI 参数模型：Ln（P/1−P）=−0.397× MBF−0.242× MBV +0.545× TTP；（2）CMR-MPI 参数模型：Ln（P/1−P）=0.394× t_{peak}−0.481× $Slope_{max}$ +0.739× SI_{peak}；（3）联合应用模型：Ln（P/1−P）=0.380× 负荷动态 CT−MPI 参数+0.661× CMR−MPI 参数。

2.4　负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 的定量参数对 CMD 的诊断效能分析　以上述 3 个模型值为诊断评估指标，以本研究灌注异常组为阳性样本，以灌注正常组为阴性样本，分析其对 CMD 的诊断效能。结果显示负荷动态 CT-MPI 参数、CMR-MPI 参数、联合应用等 3 个模型均有较高的诊断评估效能，且联合应用模型的 *AUC* 明显高于负荷动态 CT-MPI 参数模型和 CMR-MPI 参数模型（Z=2.22、2.06，均 P < 0.05），见表 3。

3　讨论

本研究以 SPECT-MPI 作为参照标准，探讨负荷动态 CT-MPI 联合 CMR-MPI 评估高血压患者 CMD 的临床价值。结果显示灌注异常组 MBF、MBV 显著低于灌注正常组，而 TTP 显著高于灌注正常组（均 P < 0.05），与高扬等[7]研究结果一致。分析其主要原因，MBF、MBV 主要反映心肌血流的灌注情况，而 TTP 时间增高，也间接反映发生心肌缺血区域的血流灌注时间缓慢；此外，高血压加重了患者心脏前负荷和后负荷，心肌细胞大小和心肌体积增大，心肌胶原基质成分改变，引起左室肥厚[8]，高血压患者左室肥厚时心肌氧气消耗增加，当冠状动脉扩张不能满足较厚心肌血流量的需要时，从而降低冠状动脉血流储备，出现 CMD，最终导致心肌缺血。

本研究结果还显示，灌注异常组中 $Slope_{max}$ 显著低于灌注正常组，而 t_{peak}、SI_{peak} 显著高于灌注正常组（均 P < 0.05），提示心肌缺血区域的心肌血流量减少，造影剂到达该区域的率减低、到达量也相应减低，最终还会导致该区域造影剂存在潴留，分析其主要原因可能与高血压患者的多种发病机制有关，包括血管机制、神经机制、肾素-血管紧张素-醛固酮系统（RAAS）等[9]。高血压患者在血液循环中 RAAS 活性增加，血管紧张素 II（Ang II）收缩小动脉；血管压力增加、神经内分泌变化会同时引起心肌内血管损伤，产生的血管内皮细胞炎症、氧化应激反应增强会进一步刺激心肌细胞增殖、胶原蛋白生成增加[10-11]，因此由于血管壁内小血管水平的结构和功能异常，影响冠状动脉血流的自动调节，从而导致冠状动脉血流储备受影响，从而表现为 CMD，最终导致心肌



注：A 为负荷动态 CT-MPI 的 MBF 伪彩图，B 为负荷动态 CT-MPI 的 MBV 伪彩图。患者女性，49 岁，既往高血压病史 4 年，规律降压治疗（倍博特 80 mg：5 mg，1 次/d），动态负荷 CT-MPI 提示负荷态 4、10 段 MBF 减低

图 1　负荷动态 CT-MPI 伪彩图

表 2　两组负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 的定量参数比较

组别	负荷动态 CT-MPI		CMR-MPI			
	MBF（ml • 100 ml^{-1} • min^{-1}）	MBV（100 ml/100 g）	TTP（s）	t_{peak}（s）	$Slope_{max}$	SI_{peak}
灌注异常组	75.36±16.28	7.96±2.01	15.07±2.16	5.12±1.15	24.37±5.01	58.26±12.17
灌注正常组	136.43±23.19	14.59±2.85	8.19±1.98	3.26±0.96	31.28±6.17	29.41±9.83
t 值	12.67	11.18	14.22	7.44	5.47	11.00
P 值	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

表 3　负荷动态 CT-MPI、CMR-MPI 参数模型及其联合应用模型对 CMD 的诊断效能

模型	*AUC*	灵敏度	特异度	约登指数	准确度
负荷动态 CT-MPI 参数模型	0.814（0.656 ～ 0.954）	0.780	0.800	0.580	0.788
CMR-MPI 参数模型	0.868（0.775 ～ 0.947）	0.860	0.833	0.693	0.850
联合应用模型	0.927（0.898 ～ 0.920）	0.900	0.900	0.800	0.900

缺血。

本研究绘制ROC曲线结果显示，联合应用模型的 AUC 明显高于负荷动态 CT-MPI 参数模型和 CMR-MPI 参数模型（均 $P < 0.05$），提示负荷动态 CT-MPI 联合 CMR-MPI 定量参数对 CMD 诊断具有较好的临床应用价值。

综上所述，负荷动态 CT-MPI 联合 CMR-MPI 定量参数对高血压患者 CMD 诊断具有较好的临床应用价值，能为临床诊疗方案的选择提供客观真实的影像学依据。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

参　考　文　献

[1] 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.

[2] JANSEN T P J, KONST R E, ELIAS-SMALE S E, et al. Assessing microvascular dysfunction inAngina with unobstructed Coronary Arteries: JACC review topic of the week[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 78(14): 1471-1479.

[3] 马一涵,李兴雨,刘倩,等.高血压患者血压达标次数对心脑血管疾病发病的影响研究[J].中国全科医学,2020,23(28):3608-3614.

[4] KOPEVA K, GRAKOVA E, MALTSEVA A, et al. Coronary microvascular dysfunction: Features and prognostic value[J]. J Clin Med, 2023, 12(8): 2964.

[5] 程文立.《2018 年欧洲高血压管理指南》解读[J].中国全科医学, 2019,22(21):2519-2523.

[6] TILBORGHS S, BOGAERT J, MAES F. Shape constrained CNN for segmentation guided prediction of myocardial shape and pose parameters in cardiac MRI[J]. Med Image Anal, 2022, 81: 102533.

[7] 高扬, 王成英, 周艳丽, 等. 负荷动态 CT 心肌灌注结合冠状动脉 CT 血管成像对冠心病心肌缺血的诊断价值[J].中华放射学杂志, 2017,51(4):246-250.

[8] CHAU K H, DOUGLAS P S, PIBAROT P, et al. Regression of left ventricular mass after transcatheter aortic valve replacement: The PARTNER trials and registries[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 75(19): 2446-2458.

[9] SAXENA T, ALI A O, SAXENA M. Pathophysiology of essential hypertension: An update[J]. Expert Rev Cardiovasc Ther, 2018, 16 (12): 879-887.

[10] 杜明亮, 王泊然, 惠慧, 等. 冠状动脉微循环功能障碍临床研究进展[J].心血管病学进展,2023,44(8):699-703.

[11] 陈李容,叶兴伟,陈佳,等.麝香保心丸治疗原发性高血压合并冠状动脉微循环障碍的临床研究 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024,22(9):1632-1635.

收稿日期：2024-08-28

（本文编辑：吴迪汉）

乳腺化生性癌临床及病理特征分析（附 23 例报告）

丁万璐，王环，殷禹，杨晓静

【关键词】 乳腺肿瘤；癌；病理特点；鉴别诊断；预后

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.01.021

【中图分类号】 R737.9　**【文献标志码】** A　**【文章编号】** 1671-0800(2025)01-0077-03

乳腺化生性癌（metaplastic breast carcinoma，MBC）是一类罕见的侵袭性乳腺癌，占浸润性癌总数不到 1%[1]。相较于非特殊性乳腺癌，MBC 侵袭性更强且预后差。化生性癌包含多种异质性成分，病理形态多样，且具备恶性程度高、分类不统一等特点，临床极易出现误诊，提高对该病的认识有助于临床早期诊治[2]。尽管 MBC 相关文献越来越多，但 MBC 的具体发病机制仍尚未明确[3]。本研究拟回顾性分析 23 例 MBC 患者的临床及病理特征，现报道如下。

1　临床资料

收集 2016 年 1 月至 2023 年 8 月温州市中心医院及温州医科大学附属第二医院收治的 MBC 患者 23 例，由至少 2 名经验丰富的病理医师对病理切片进行审查，均确诊为 MBC。收集分析患者年龄、首发症状、临床表现、治疗方法、病理检查及免疫组化检测结果等临床资料。本研究获得温州市中心医院伦理委员会批准（温中心医伦审 L2024-02-011），免

基金项目： 温州市基础性科研项目（S20240013）

作者单位： 325000 浙江省温州，温州市中心医院（丁万璐、王环、殷禹）；温州医科大学附属第二医院（杨晓静）

通信作者： 丁万璐，Email：13587459916@163.com