

• 临床研究 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.06.018

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250328.1335.007\(2025-03-28\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250328.1335.007(2025-03-28))

MCE 定量分析在冠心病及经皮冠状动脉介入治疗术后心肌微循环障碍评估中的应用价值*

廖莹¹, 曹怀泽², 王世巧¹, 刘逢秋³

(1. 大理大学第一附属医院超声科, 云南大理 671000; 2. 大理大学第一附属医院放射科, 云南大理 671000; 3. 重庆医科大学附属第二医院超声科/重庆医科大学超声影像学研究所, 重庆 400010)

[摘要] **目的** 探讨心肌声学造影(MCE)定量分析在冠心病心肌微循环障碍的诊断及经皮冠状动脉介入术(PCI)治疗评估中的临床价值。**方法** 选取 2022 年 6 月至 2024 年 6 月 50 例经冠状动脉 CT 血管成像(CTA)或冠状动脉造影(CAG)确诊单支以上冠状动脉存在重度狭窄(狭窄率 75%以上)患者为冠心病组, 30 例冠状动脉病变合并心梗后行 PCI 治疗的患者为 PCI 术后组, 80 例冠状动脉正常或仅轻度狭窄(狭窄率 50%以下)患者为对照组。各组患者行 MCE 检查后, 应用 ROI 软件分析对照区及病变冠状动脉供血区心肌灌注的峰值强度(A)、上升斜率(β)、达峰时间(TTP)、灌注曲线下面积(MCE-ACU)、局部心肌血流量(MBF= $A \times \beta$)、左室射血分数(LVEF)等参数; 采用 ROC 曲线分析 MCE 的各项参数对冠状动脉病变引起心肌微灌注及 PCI 术后心肌的灌注情况的诊断价值。**结果** 冠心病组、PCI 术后组 MCE 各项参数均低于对照组, 其中 PCI 术后组最低($P < 0.05$); 各组间除 TTP 以外的参数差异均有统计学意义($P < 0.05$)。PCI 术后组通过支架置入使病变冠状动脉血流均达到 3 级, 但病变冠状动脉供血区域心肌的 A、 β 、MCE-ACU 仍低于正常冠状动脉供血区($P < 0.05$)。ROC 曲线得出 MCE 参数 A、 β 、MBF 对冠心病的心肌微循环障碍具有独立诊断价值, 多参数联合诊断冠心病心肌微循环障碍的灵敏度、特异度明显提高, 而且 MCE 参数与左室收缩功能具有相关性。**结论** MCE 定量分析各项参数对冠心病患者的心肌微循环障碍的诊断具有重要价值, 能有效评估 PCI 术的治疗效果和远期预后。

[关键词] 心肌声学造影; 冠心病; 微循环障碍; 心肌灌注; 经皮冠状动脉介入术**[中图法分类号]** R541.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)06-1377-05

Application value of MCE quantitative analysis in assessing myocardial microcirculation disorders in coronary artery disease and post-percutaneous coronary intervention*

LIAO Ying¹, CAO Huaize², WANG Shiqiao¹, LIU Fengqiu³

(1. Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Dali University, Dali, Yunnan 671000, China; 2. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Dali University, Dali, Yunnan 671000, China; 3. Department of Ultrasound/Institute of Ultrasound Imaging, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the clinical value of myocardial contrast echocardiography (MCE) quantitative analysis in diagnosing myocardial microcirculation disorders in coronary artery disease and evaluating outcomes after percutaneous coronary intervention (PCI). **Methods** Fifty patients diagnosed with severe stenosis of a single or more coronary arteries (stenosis rate of over 75%) through coronary CT angiography (CTA) or coronary angiography (CAG) from June 2022 to June 2024 were selected as the coronary heart disease group. Thirty patients with coronary artery lesions complicated with myocardial infarction who underwent PCI treatment were selected as the post PCI group. Eighty patients with normal or only mild coronary artery stenosis (stenosis rate below 50%) were selected as the control group. All participants underwent MCE examination. Quantitative parameters, including peak intensity (A), upslope rate (β), time-to-peak (TTP), area under the curve (MCE-ACU), regional myocardial blood flow (MBF= $A \times \beta$), and left ventricular ejection

fraction (LVEF), were analyzed using ROI software in both normal and lesion-supplied myocardial regions. Receiver operating characteristic (ROC) was used to analyze the diagnostic value of various parameters of MCE for myocardial micro perfusion caused by coronary artery disease and myocardial perfusion after PCI. **Results** Quantitative MCE parameters were significantly lower in the coronary heart disease group and post-PCI groups compared to the control group ($P<0.05$), with the post-PCI group showing the lowest values. Except for TTP, all parameters differed significantly between groups ($P<0.05$). Despite successful stent placement (TIMI grade 3 flow) in lesion vessels post-PCI, A, β , and MCE-ACU remained reduced in lesion-supplied regions compared to normal territories ($P<0.05$). The ROC curve showed that MCE parameters A, β , and MBF had independent diagnostic value for myocardial microcirculation disorders in coronary heart disease. The sensitivity and specificity of multi parameter combined diagnosis of myocardial microcirculation disorders in coronary heart disease were significantly improved, and MCE parameters were correlated with left ventricular systolic function. **Conclusion** MCE quantitative analysis provides significant diagnostic value for myocardial microcirculation disorders in coronary artery disease patients and effectively evaluates PCI therapeutic efficacy and long-term prognosis.

[Key words] myocardial contrast echocardiography; coronary artery disease; microcirculation disorder; myocardial perfusion; percutaneous coronary intervention

冠心病是由于冠状动脉粥样硬化斑块引起血管狭窄、闭塞,导致局部心肌缺血、缺氧或坏死的一类心脏疾病。冠状动脉除通过大血管对心脏供血外,还存在微小血管对心肌组织供血,称为心肌的微循环系统^[1]。心肌的微循环系统能确保心肌细胞获得足够的氧气和营养物质,以维持心肌的正常代谢和收缩功能的完成^[2]。目前临床中对冠心病的治疗,除药物保守治疗外主要是对病变冠状动脉狭窄的解除,常规以经皮冠状动脉支架置入术(PCI)为首选治疗方案^[3-5]。PCI术的支架置入能够快速、有效地解除病变冠状动脉的狭窄,恢复冠状动脉内部供血,提高心脏供血,改善心功能。大量临床研究发现冠心病的治疗不应仅关注病变冠状动脉的血管直径、血流量,还应该了解心肌的微循环病变^[6-9]。心肌微循环障碍的存在使患者心衰、心梗、猝死等不良预后事件的发生率明显增高。心肌声学造影技术(myocardial contrast echocardiography, MCE)在评价心肌的微循环灌注方面具有无辐射、无创、准确等特征^[10]。MCE通过有效评估心脏的心肌灌注状态,对冠心病的诊断、治疗方案的制订及PCI术后疗效的评估、远期预估方面具有重要价值^[11-13]。本研究主要探讨MCE检查后利用ROI软件分析心肌灌注的各项参数指标在冠心病及PCI治疗后心肌微循环障碍中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2022年6月至2024年6月因胸闷、胸痛就诊于大理大学第一附属医院考虑可能存在冠状动脉病变的160例成年患者为研究对象,均完成常规经胸超声检查后行左室MCE。纳入标准:符合心肌声学造影的适应证;排除标准:存在严重的肝肾功能不全、

极重度肺动脉高压、严重瓣膜病、恶性肿瘤、药物成分过敏等MCE禁忌证。其中入院后行冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)或冠状动脉CT血管造影(CT angiography, CTA)确认存在冠状动脉病变或仅存在冠状动脉轻度狭窄(狭窄率 $<50\%$)的80例患者为对照组,其中男37例、女43例,年龄(54.86 ± 13.00)岁;通过CAG或CTA确诊至少一支主要冠状动脉存在重度狭窄(狭窄率 $>75\%$)的50例患者为冠心病组,其中男32例、女18例,年龄(59.06 ± 12.50)岁;存在冠状动脉重度狭窄合并心梗后经PCI术后的30例患者为PCI术后组,其中男19例、女11例,年龄(57.03 ± 10.03)岁。3组研究对象的性别、年龄等一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$)。本研究已通过大理大学第一附属医院伦理委员会审批(审批号:DFY20250117001),患者均知情同意。

1.2 方法

1.2.1 常规经胸超声心动图检查

使用超声心动图检查设备(飞利浦,型号EPIQ 7C,实时三维探头X5-1)行常规经胸超声心动图检查,同步连接心电图。患者取用左侧卧位体位。测量左室大小、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF),并根据左室17节段划分,判断是否存在节段性室壁运动异常。

1.2.2 MCE检查

1.2.2.1 图像采集

MCE使用注射用六氟化硫微泡(Bracoon公司,声诺维),每支瓶内注入5 mL生理盐水,充分摇匀至冻干粉末完全溶解后制成混悬液。检查时抽取2 mL混悬液,经外周静脉缓慢注入,并于推注完成后以0.9%生理盐水充注。在造影剂注射过程中同步连接

心电图,选取心尖四腔心切面。当造影剂在左室内完全填充良好的状态下,于左心腔声学造影(left ventricular opacification,LVO)模式下观察左室壁结构及运动,存储 5 个心动周期。在 MCE 条件下,在低机械指数(<1.5)模式下观察心肌内的微泡灌注显像情况,当心肌内的造影剂微泡达到饱和时,心肌回声增强,再启动高机械指数脉冲照射的爆破功能,发出的脉冲波使心肌内已灌注的造影剂微泡破坏,观察造影剂微泡再次灌注心肌的情况,以显示心肌的血流灌注状态。检查过程中动态存储图像,连续存储自启动爆破前 5 个心动周期至爆破后的 10 个心动周期。

1.2.2.2 图像分析

采用超声心动图机上的心肌声学造影分析软件 ROI13.0 对所存储的动态图像进行分析。图像中选取相应病变冠状动脉供血区直径 5 mm 的正方形范围作为感兴趣区,利用一次性负指数公式拟合感兴趣区,计算出心肌灌注时间信号强度曲线,分析得出感兴趣区的心肌灌注峰值强度(peak intensity,A)、曲线

上升斜率(upslope rate, β)、灌注达峰时间(time-to-peak,TTP)、灌注曲线下面积(area under the curve,MCE-ACU),局部心肌血流量(myocardial blood flow,MBF), $MBF=A\times\beta$,分析感兴趣区心肌灌注的峰值强度与时间变化的关系。并在左室腔充盈良好的状态下利用 Simpson 法测量造影状态下的 LVEF。

1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0 软件进行统计学处理。计量资料以 $n(\%)$ 表示;符合正态分布的计数资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间采用独立样本 t 检验;不符合正态分布的计数资料以 $M(Q_1,Q_3)$ 表示,组间采用 Kruskal-Wallis H 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 心肌灌注情况

冠心病组、PCI 术后组心肌灌注 A、 β 、MCE-ACU、MBF、LVEF 均低于对照组,其中 PCI 术后组最低,差异有统计学意义($P<0.05$)。3 组研究对象的 TTP 比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 3 组 MCE 参数比较[M(Q₁,Q₃)]

项目	对照组($n=80$)	冠心病组($n=50$)	PCI 术后组($n=30$)	H	P
A(dB)	8.29(4.60,9.27)	5.27(2.08,7.78)	2.42(0.46,7.21)	18.15	<0.01
β (dB/s)	1.60(0.77,3.34)	1.23(0.62,1.97)	0.62(0.08,1.36)	14.86	<0.01
TTP(s)	6.70(5.13,8.43)	6.03(4.86,7.83)	7.97(5.71,8.80)	5.35	0.07
MCE-ACU	28.01(10.11,57.67)	13.99(3.80,32.05)	8.21(1.58,41.08)	12.89	0.02
MBF	12.93(4.30,34.35)	9.09(1.53,17.95)	1.83(0.04,9.33)	16.76	<0.01
LVEF	59.00(42.00,65.00)	43.00(35.50,55.00)	45.00(37.00,59.00)	11.87	0.03

2.2 PCI 术后心肌灌注情况比较

选取 PCI 术后组患者行 MCE 检查时所置入支架的病变冠状动脉供血区与正常冠状动脉供血区的心肌进行比较。结果显示,虽然支架置入后病变冠状动脉的血流均达到 3 级,但病变冠状动脉供血区的心肌仍然存在微循环灌注障碍,其供血区心肌的 A、 β 、MCE-ACU 仍然低于正常冠状动脉供血区的心肌灌注,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

表 2 置入支架的冠状动脉供血区与正常冠状动脉供血的心肌的灌注情况比较($\bar{x}\pm s$)

项目	病变冠状动脉供血区	正常冠状动脉供血区	t	P
A(dB)	3.66 $\pm$ 0.89	15.83 $\pm$ 4.89	-2.45	0.02
β (dB/s)	0.60 $\pm$ 0.14	2.40 $\pm$ 0.58	-2.99	0.01
TTP(s)	8.21 $\pm$ 0.50	7.62 $\pm$ 0.68	0.69	0.49
MCE-ACU	18.38 $\pm$ 4.7	68.18 $\pm$ 18.59	-2.60	0.01

2.3 MCE 参数对冠心病及 PCI 术后患者冠状动脉

病变的诊断价值

ROC 曲线分析结果显示心肌灌注 A、 β 、MBF 对冠心病微循环障碍具有独立诊断价值($AUC>0.5$),TTP 不具有独立诊断价值,4 项联合 LVEF 诊断价值更高,见表 3、图 1。

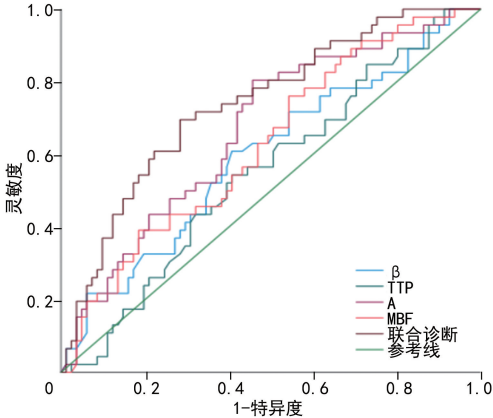


图 1 MCE 定量参数预测冠心病微循环障碍的 ROC 曲线

2.4 MCE 参数与 LVEF 的相关性分析

MCE-ACU 与 LVEF 具有明显相关性($r =$

0.243, $P<0.05$),冠心病微循环障碍的发生与 A、MCE-ACU、LVEF 参数呈明显负相关($r=-0.234$ 、 -0.297 、 -0.286 , $P<0.01$)。

表 3 MCE 各项参数诊断冠心病心肌微循环障碍的 ROC 曲线分析结果

项目	AUC	95%CI	P	最佳截断值	敏感度(%)	特异度(%)
A	0.70	0.57~0.79	0.02	7.90 dB	80.40	61.90
β	0.60	0.49~0.70	0.05	1.42 dB/s	61.00	60.00
MBF	0.63	0.53~0.73	0.01	19.01	87.00	66.70
TTP	0.55	0.45~0.65	0.34	6.34 s	54.30	58.00
联合诊断	0.75	0.65~0.83	<0.01		70.00	70.04

3 讨 论

对冠心病除了关注冠状动脉大血管的狭窄外,还应关注冠状动脉的微循环障碍。本研究发现当冠状动脉的狭窄程度达到重度(狭窄率>75%)时,即使还未发生心肌梗死,病变冠状动脉供血区心肌的灌注峰值、MBF 都已低于正常心肌,说明已存在局部心肌微循环障碍。心肌微循环的血管极细小且分布广泛^[13],是心肌细胞进行氧气及其他相关物质交换的重要场所,在心脏新陈代谢、维持正常功能方面具有重要作用。冠心病微循环障碍与急性心梗死亡率、恶性心律失常、心力衰竭等并发症及左心室心肌重构等长期预后密切相关^[14]。所以及时对冠心病患者微循环情况进行有效评估能为临床诊断、治疗及预后判断提供有效依据。

当冠心病患者出现 AMI 后行 PCI 是最常用治疗方法^[15]。PCI 能有效缓解心梗患者的局部血管狭窄,促进心肌血流灌注恢复,本研究发现 PCI 支架置入后虽然病变冠状动脉的血流达到 3 级,但病变冠状动脉供血区的心肌灌注水平仍低于正常冠状动脉供血区心肌。相关研究表明 PCI 术后仍有 60%~89% 的 AMI 患者相关供血心肌组织水平的心肌灌注无法恢复,存在冠状动脉微循环障碍^[4],与本研究结果一致。

目前临床上冠状动脉微循环状态分析分为无创和有创两大类,在无创方法中,MCE 具有无辐射性、过敏风险极低、受肝肾脏功能影响极小、可重复性高等特点,作为直观反映心肌微灌注、有效评估存活心肌的首选方法。CAG 虽然是冠心病诊断的金标准,能直接显示冠状动脉内血流通畅情况,评估冠状动脉及其分支的狭窄程度,但不能反映心脏心肌微循环灌注情况、心肌缺血程度、心肌是否存在存活^[16-18]。本研究中 MCE 通过 ROI 分析能够准确显示局部心肌的 A、 β 、MBF 等心肌灌注信息,将心肌血流灌注情况、病变部位具体化,更可直观地评价心肌活力及心肌微循环灌注的状态^[19-21]。除判断心肌微循环障碍外,MCE 对节段性室壁运动异常、心室血栓、室壁瘤等冠心病、心梗的并发症的检测灵敏度较二维超声心动图明显

提高^[22-24],对心内膜结构的清晰显示也有更利于 LVEF 的准确评估。

本研究尚存在不足之处:样本量有限;PCI 术后组患者由于 AMI 支架置入的时效性要求,无法在术前及时行 MCE 检查,暂时无法评估术后心肌微灌注的改善程度;未能对相关研究人群进行后续的随访,无法判断微循环障碍发生后对冠心病患者远期心脏功能的影响程度。

本研究证明 MCE 是判断心肌微循环障碍首选的有效方法,通过 ROI 分析后的 MCE 各项参数能有效评估冠心病患者及 PCI 治疗后患者的心肌灌注情况,且与患者的心脏收缩指标具有相关性,可用于冠心病患者 PCI 疗效的评估和长期随访。

参考文献

[1] 王岚,马玉良,王伟民,等. 心肌声学造影评估急性心肌梗死患者血运重建后冠状动脉微循环障碍的研究[J]. 中国循环杂志,2021,36(10):985-990.

[2] 应舟,今可,贺晓天,等. 心肌声学造影联合心脏 MRI 对缺血性心肌病的诊断价值[J]. 临床超声医学杂志,2023,25(12):1020-1023.

[3] 茹翱,范晓华,潘丹丽,等. 实时心肌声学造影在心肌微循环障碍诊断中的应用价值[J]. 中国超声医学杂志,2024,40(3):297-300.

[4] 赵熙璇,湛武逸,王令淳,等. 多模态超声心动图评估急性心肌梗死患者 PCI 术后心肌功能及灌注变化[J]. 中国超声医学杂志,2024,40(11):1254-1257.

[5] 何靖怡,夏娟,马小静,等. 多模态超声技术在急性心肌梗死预后评估中的应用进展[J]. 心肺血管病杂志,2024,43(10):1116-1120.

[6] 周绮平,王莹,王良玉. 小剂量多巴酚丁胺负荷超声心动图联合心肌声学造影评估冠心病患者经皮冠状动脉介入术后心肌灌注[J]. 临床超声医

- 学杂志,2023,25(9):723-727.
- [7] 杨天芬,王安,梁琳,等. 实时心肌声学造影联合斑点追踪技术评估冠心病患者经皮冠状动脉介入术后心肌功能及疗效[J]. 临床超声医学杂志,2022,24(12):946-949.
- [8] 李莎,谷颖,杨军,等. 心肌声学造影评估急性心肌梗死患者 PCI 术后心肌微循环改变的临床价值[J]. 川北医学院学报,2022,37(12):1542-1545.
- [9] 饶莹,王钰,宋文娟,等. 心肌声学造影结合斑点追踪技术评价非冠状动脉阻塞性缺血性心脏病患者心肌微循环及收缩功能[J]. 中国医学影像学杂志,2019,27(12):886-890.
- [10] 方杰,李春梅. 心肌声学造影在急性心肌梗死中的临床应用[J]. 中国医学影像技术,2015,31(3):471-474.
- [11] 汤裕华,钱建芬,林银康,等. 实时心肌声学造影评价急性心肌梗死介入治疗后心肌灌注状况对其长期疗效的影响[J]. 实用医学杂志,2012,28(23):3883-3885.
- [12] 关正宇,洪林巍,张光华,等. 心肌声学造影超声心动图评估经皮冠状动脉介入治疗后合并 2 型糖尿病 ST 段抬高心肌梗死患者心肌功能及微循环[J]. 中国医学影像技术,2023,39(1):32-36.
- [13] 曾炜,王晓茹,李丹,等. 超声心肌灌注成像结合二维斑点追踪技术对老年心肌梗死患者心肌微循环损伤的临床价值[J]. 中国老年学杂志,2024,44(11):2566-2568.
- [14] 张小青,闫国珍,袁彦芬,等. 左心声学造影联合 2D-STI 技术评估高血压性心脏病患者心肌微循环灌注及左室收缩功能的研究[J]. 中国超声医学杂志,2022,38(5):525-528.
- [15] 李臻,谷红丽,李锦丽. 心肌声学造影对急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后心肌灌注及预后的评估价值[J]. 临床超声医学杂志,2023,25(3):193-198.
- [16] 滕鑫,刘连娟,范煜东,等. 左心心肌声学造影在冠心病心肌缺血患者中的诊断价值[J]. 中国循证心血管医学杂志,2024,16(9):1104-1107.
- [17] 韦舒静,张亚龙,万年峰,等. 心肌声学造影在尼可地尔治疗冠脉慢血流患者改善冠脉微循环的临床疗效应用[J]. 中国超声医学杂志,2022,38(9):1000-1003.
- [18] LONG J, LIN J, TAO J, et al. A new semiquantitative parameter to assess functionally significant coronary disease using myocardial contrast echocardiography [J]. Rev Cardiovasc Med,2024,25(12):431.
- [19] 钟龙和,苏艳芳,张建琴,等. 心肌声学造影评估急性心肌梗死介入治疗后患者心肌灌注及其对预后的预测价值[J]. 中华心血管病杂志,2024,52(10):1186-1192.
- [20] GUO L, ZHANG Y, WEN J, et al. Quantitative evaluation of myocardial perfusion in coronary heart disease by myocardial contrast and dobutamine stress echocardiography[J]. J Clin Ultrasound,2025,53(2):234-241.
- [21] CAPDEVILLE S, GHOLSON B A, LINDNER J R. Contrast echocardiography for assessing myocardial perfusion [J]. Curr Cardiol Rep,2023,25(11):1581-1587.
- [22] WANG L, MA Y, JIN W, et al. Coronary microcirculation dysfunction evaluated by myocardial contrast echocardiography predicts poor prognosis in patients with ST-segment elevation myocardial infarction after percutaneous coronary intervention[J]. BMC Cardiovasc Disord,2022,22(1):572.
- [23] WANG J, YANG M, YANG Z, et al. Long-term prognostic value of myocardial viability by myocardial contrast echocardiography in patients after acute myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis [J]. Medicina (Kau-nas),2022,58(10):1429.
- [24] LYU W Y, QIN C Y, WANG X T, et al. The application of myocardial contrast echocardiography in assessing microcirculation perfusion in patients with acute myocardial infarction after PCI[J]. BMC Cardiovasc Disord,2022,22(1):233.

(收稿日期:2024-11-11 修回日期:2025-03-11)

(编辑:成 卓)