

# 腺苷负荷超声心动图联合左室压力-应变环预测经皮冠状动脉介入治疗术后支架内再狭窄程度的临床价值

达文会 丁云川 王庆慧 赵丽 许彭黎 李井池

**摘要** **目的** 应用腺苷负荷超声心动图(ASE)联合左室压力-应变环(LVPSL)检测经皮冠状动脉介入治疗(PCI)术后支架内再狭窄心肌节段做功参数,探讨其在预测冠状动脉再狭窄程度中的临床应用价值。**方法** 选取我院经冠状动脉造影确诊的 PCI 术后支架内再狭窄患者 41 例,排除腺苷负荷前后图像不满意的 12 个节段,共获得 726 个心肌节段,其中狭窄程度 <50% 的节段 300 个(无明显狭窄组)、狭窄程度 50%~75% 的节段 175 个(中度狭窄组),狭窄程度 >75% 的节段 251 个(重度狭窄组),比较各组基础及负荷状态下心肌节段纵向应变(LS)、心肌有用功(CMW)、心肌无用功(WW)、心肌做功指数(MWI)及心肌做功效率(MWE)的差异。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析基础及负荷状态下各心肌做功参数预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的诊断效能。**结果** 与无明显狭窄组比较,中度狭窄组基础及负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均减低,WW 增加,重度狭窄组基础及负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均减低,负荷状态下 WW 增加,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ );与中度狭窄组比较,重度狭窄组负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均减低,WW 增加,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ )。与基础状态下比较,无明显狭窄组和中度狭窄组负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均增加,WW 减低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ );重度狭窄组负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均减低,WW 增加,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。ROC 曲线分析显示,负荷状态下 MWI、MWE、CMW 预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的曲线下面积(AUC)分别为 0.829、0.766、0.841,均高于基础状态下各参数的 AUC 高,且负荷状态下 CMW 预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的 AUC 高于负荷状态下 MWE、WW 的 AUC,差异均有统计学意义(均  $P < 0.001$ );负荷状态下 CMW 与 MWI 预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的 AUC 比较差异无统计学意义。**结论** ASE 联合 LVPSL 可有效评估 PCI 术后再狭窄心肌节段的做功情况,在预测冠状动脉再狭窄程度中有一定的临床应用价值。

**关键词** 超声心动描记术,腺苷负荷;心肌做功;经皮冠状动脉介入治疗;支架内再狭窄

[中图法分类号]R540.45;R541.4

[文献标识码]A

## Clinical value of adenosine stress echocardiography combined with left ventricular pressure-strain loop in predicting the degree of in-stent restenosis after percutaneous coronary intervention

DA Wenhui, DING Yunchuan, WANG Qinghui, ZHAO Li, XU Pengli, LI Jingchi

Department of Ultrasound Medicine, Yan'an Hospital Affiliated to Kunming Medical University, Kunming 650051, China

**ABSTRACT** **Objective** To measure the myocardial work parameters of myocardial segments with in-stent restenosis after percutaneous coronary intervention (PCI) by adenosine stress echocardiography (ASE) combined with pressure-strain loop (LVPSL), and to explore its clinical application value for predicting the degree of coronary artery restenosis. **Methods** Forty-one patients with in-stent restenosis after PCI diagnosed by coronary angiography were selected from our hospital, excluding the 12 segments with unsatisfactory images before and after adenosine loading, a total of 726 myocardial segments were obtained, of which 300 segments with a stenosis degree of <50% (no significant stenosis group), 175 segments with a stenosis degree of 50%~75% (moderate stenosis group) and 251 segments with a stenosis degree of >75% (severe stenosis group), and the differences of

基金项目:昆明市卫生健康委员会卫生科研课题项目(2022-09-02-001)

作者单位:650051 昆明市,昆明医科大学附属延安医院超声医学科

通讯作者:丁云川,Email:dd82109@163.com

longitudinal strain (LS), constructive myocardial work (CMW), wasted work (WW), myocardial work index (MWI) and myocardial work efficiency (MWE) of myocardial segments among groups were compared. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic efficacy of each parameters at basal and loading states for evaluating severe coronary artery stenosis after PCI. **Results** Compared with no significant stenosis group, LS, MWI, MWE and CMW decreased and WW increased at basal and loading states in moderate stenosis group, and LS, MWI, MWE and CMW decreased at basal and loading states in severe stenosis group, and WW increased at loading state, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.01$ ). Compared with the moderate stenosis group, LS, MWI, MWE, CMW decreased and WW increased at loading state in severe stenosis group, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.01$ ). Compared with the basal state, LS, MWI, MWE, CMW increased and WW decreased at loading state in no significant stenosis group and moderate stenosis group, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). In the Severe stenosis group, LS, MWI, MWE, CMW decreased and WW increased at loading state, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) of MWI, MWE and CMW at loading state for predicting severe coronary artery stenosis after PCI were 0.829, 0.766 and 0.841, respectively, all of which were higher than those at basal state, and the AUC of CMW at loading state for predicting severe coronary artery stenosis after PCI was higher than that of MWE and WW at loading state, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.001$ ). The difference in AUC was not statistically significant between CMW and MWI at loading state for predicting severe coronary stenosis after PCI. **Conclusion** ASE combined with LVPSL can effectively evaluate the myocardial work of restenosis myocardial segments after PCI, and it has certain clinical application value in predicting the degree of coronary artery stenosis.

**KEY WORDS** Echocardiography; adenosine stress; Myocardial work; Percutaneous coronary intervention; In-stent restenosis

冠心病是世界范围内发病率和死亡率较高的疾病,经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是其主要治疗方法<sup>[1]</sup>,但仍有部分患者在 PCI 术后出现支架内再狭窄,即支架段或其边缘(距离支架近端和远端 5 mm)的冠状动脉狭窄程度  $\geq 50\%$ <sup>[2]</sup>,因此对 PCI 术后的随访具有重要意义。腺苷负荷超声心动图(adenosine stress echocardiography, ASE)以腺苷作为负荷源,可使正常冠状动脉血流增加,诱发心肌缺血,进而判断心肌活力、识别心肌缺血、诊断冠心病等,具有较高的灵敏度和特异度<sup>[3-4]</sup>。左室压力-应变环(left ventricular pressure-strain loop, LVPSL)是基于二维斑点追踪技术的一种无创评估心肌做功的方法,采用肱动脉血压代替左室压力,将左室心肌应变与压力参数相结合,可以减少后负荷对心肌应变的影响,较心肌应变参数能更准确地反映心肌收缩功能,不仅可用于评估整体心功能,还可以检测局部室壁运动障碍,现已广泛用于心力衰竭、心肌病等诊断<sup>[5]</sup>。本研究应用 ASE 联合 LVPSL 检测 PCI 术后再狭窄心肌节段的做功参数,比较基础及负荷状态下心肌做功参数的差异,探讨其在预测冠状动脉再狭窄程度中的临床应用价值。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取 2022 年 6~12 月在我院心内科经冠状动脉造

影(CAG)确诊的 PCI 术后再狭窄患者 41 例,男 25 例,女 16 例,年龄 38~75 岁,平均(57.9±8.6)岁;其中合并糖尿病 12 例,高血压 25 例,高脂血症 12 例。本研究采用左室 18 节段模型,排除腺苷负荷前后图像不满意的 12 个节段,共获得 726 个心肌节段,其中狭窄程度  $< 50\%$  的节段 300 个(无明显狭窄组),狭窄程度 50%~75% 的节段 175 个(中度狭窄组),狭窄程度  $> 75\%$  的节段 251 个(重度狭窄组)。纳入标准:①既往行 PCI 术;②经 CAG 确诊冠状动脉支架内再狭窄。排除标准:①重要脏器功能严重不全恶性肿瘤、扩张型心肌病及心房颤动影响心功能者;② ASE 检查禁忌者;③心力衰竭或 NYHA 心功能 III 级以上者。本研究经我院医学伦理委员会批准(批准号:2022-122-02),患者或其家属均签署知情同意书。

### 二、仪器与方法

1. 仪器:使用 GE Vivid E95 彩色多普勒超声诊断仪, M5S 探头,频率 1.5~4.6 MHz, 帧频  $\geq 40$  帧/s; 配备 EchoPAC 工作站及 Q-Analysis 软件。

2. ASE 检查:经肘静脉或手背静脉持续静脉泵入腺苷注射液,剂量为 140  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ , 用药时间为 6 min(总剂量 0.84 mg/kg)。输注速度( $\text{ml}/\text{min}$ ) = 0.14 mg/( $\text{kg}\cdot\text{min}$ ) $\times$ 体质量(kg)/腺苷质量浓度(3 mg/ml)。出现以下情况时停止试验<sup>[3]</sup>:①严重的心绞痛症状伴心电

图ST段明显改变(相邻2个或2个以上导联ST段下移至少0.1 mV);②血压明显升高[收缩压>180 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)和/或舒张压>110 mmHg];③心电图示严重心律失常或传导阻滞;④无法耐受不良反应者。于腺苷注射液给药开始前(基础状态下)、终止给药时(负荷状态下)2个时间点分别记录患者心率、血压并存储心尖四腔心、三腔心、两腔心切面的3个心动周期动态二维图像。

3.左室心肌节段做功参数分析:于EchoPAC工作站采用Q-Analysis软件以2D-Strain手动描记左室内膜边界,测量左室总体纵向应变(GLS);选择显示牛眼图,输入所测血压值,系统自动根据血压和应变情况绘制LVPSL曲线,采用左室18节段模型,得到基础及负荷状态下心肌节段纵向应变(LS)及心肌做功参数,包括心肌有用功(CMW)、心肌无用功(WW)、心肌做功指数(MWI)及心肌做功效率(MWE)。

三、统计学处理

应用SPSS 26.0、GraphPad Prism 9.0统计软件,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,多组比较采用单因素方差分析,两组比较采用LSD检验;组内两两比较采用配对样本t检验。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析基础及负荷状态下各心肌做功参数预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的诊断效能;曲线下面积(AUC)比较采用Delong检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

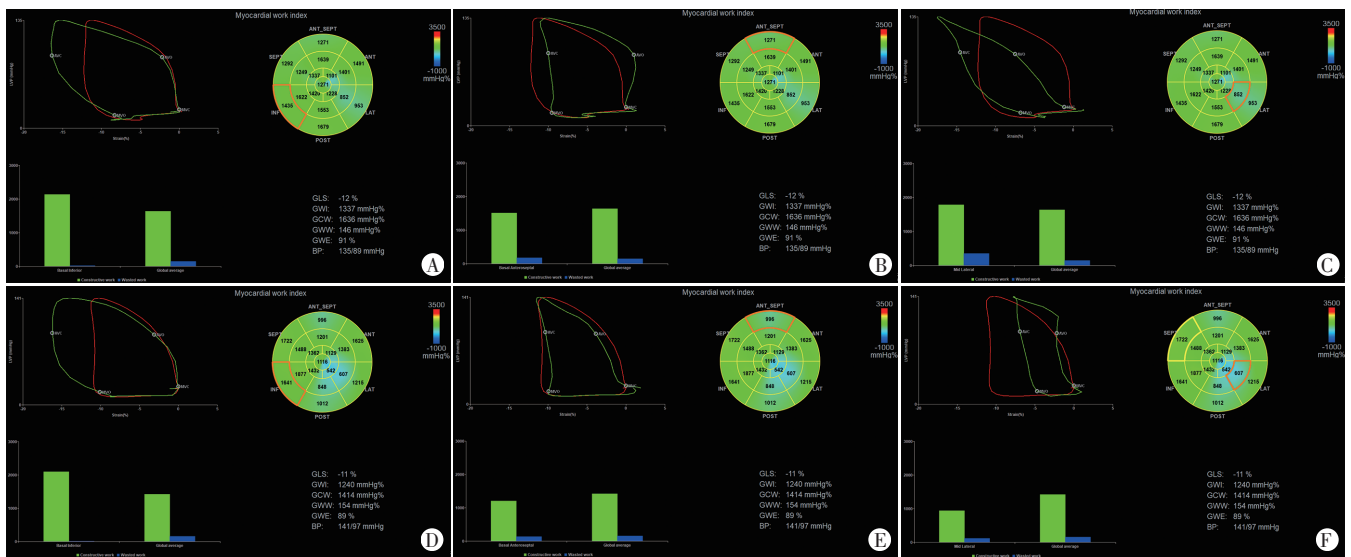
一、各组基础及负荷状态下心肌做功参数比较

1.组间比较:与无明显狭窄组比较,中度狭窄组基础及负荷状态下LS、MWI、MWE、CMW均减低,WW增加,重度狭窄组基础及负荷状态下LS、MWI、MWE、CMW均减低,负荷状态下WW增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$ );与中度狭窄组比较,重度狭窄组负荷状态下LS、MWI、MWE、CMW均减低,WW增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$ )。见图1和表1。

2.组内比较:与基础状态下比较,无明显狭窄组和中度狭窄组负荷状态下LS、MWI、MWE、CMW均增加,WW减低,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ );重度狭窄组负荷状态下LS、MWI、MWE、CMW均减低,WW增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。见图1和表1。

二、ROC曲线分析心肌做功参数预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的诊断效能

ROC曲线分析显示,负荷状态下MWI、MWE、CMW预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的AUC分别为0.829、0.766、0.841,均高于基础状态下各参数的AUC,且负荷状态下CMW预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的AUC高于负荷状态下MWE、WW的AUC,差异均有统计学意义(均 $P<0.001$ );负荷状态下CMW与MWI预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的AUC比较差异无统计学意义。见表2和图2。



A:无明显狭窄节段基础状态下MWI为1435 mmHg%,MWE为96%,CMW为2177 mmHg%,WW为76 mmHg%;B:中度狭窄节段基础状态下MWI为1271 mmHg%,MWE为90%,CMW为1560 mmHg%,WW为156 mmHg%;C:重度狭窄节段基础状态下MWI为852 mmHg%,MWE为84%,CMW为1740 mmHg%,WW为325 mmHg%;D:无明显狭窄节段负荷状态下MWI为1641 mmHg%,MWE为98%,CMW为2314 mmHg%,WW为51 mmHg%;E:中度狭窄节段负荷状态下MWI为996 mmHg%,MWE为88%,CMW为1201 mmHg%,WW为143 mmHg%;F:重度狭窄节段负荷状态下MWI为607 mmHg%,MWE为83%,CMW为906 mmHg%,WW为179 mmHg%

图1 冠心病患者(男,58岁)PCI术后再狭窄心肌节段基础及负荷状态下LVPSL图



表1 各组基础及负荷状态下心肌做功参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	基础状态下					负荷状态下				
	LS(%)	MWI(mmHg%)	MWE(%)	CMW(mmHg%)	WW(mmHg%)	LS(%)	MWI(mmHg%)	MWE(%)	CMW(mmHg%)	WW(mmHg%)
无明显狭窄组	-18.94±4.49	1741.46±546.80	92.96±7.05	2109.91±571.95	151.20±176.07	-21.21±5.27 <sup>®</sup>	1917.89±603.98 <sup>®</sup>	94.89±5.29 <sup>®</sup>	2289.98±651.78 <sup>®</sup>	106.61±135.90 <sup>®</sup>
中度狭窄组	-13.67±5.01 <sup>*</sup>	1212.34±494.57 <sup>*</sup>	87.06±11.35 <sup>*</sup>	1521.54±537.57 <sup>*</sup>	225.78±272.49 <sup>*</sup>	-15.63±4.54 <sup>*®</sup>	1384.20±500.43 <sup>*®</sup>	89.59±9.48 <sup>*®</sup>	1692.14±544.00 <sup>*®</sup>	192.77±229.47 <sup>*®</sup>
重度狭窄组	-13.11±4.65 <sup>*</sup>	1140.97±488.78 <sup>*</sup>	88.33±10.78 <sup>*</sup>	1431.13±508.11 <sup>*</sup>	166.22±173.84	-10.63±6.01 <sup>*®</sup>	926.02±557.72 <sup>*®</sup>	81.08±16.73 <sup>*®</sup>	1195.71±545.62 <sup>*®</sup>	262.46±301.74 <sup>*®</sup>
F值	127.144	109.296	26.411	124.643	7.783	265.780	212.337	100.878	235.754	32.337
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

与无明显狭窄组比较, \* $P<0.01$ ; 与中度狭窄组比较, <sup>#</sup> $P<0.01$ ; 与同组基础状态下比较, <sup>®</sup> $P<0.05$ 。LS: 心肌节段纵向应变; MWI: 心肌做功指数; MWE: 心肌做功效率; CMW: 心肌有用功; WW: 心肌无用功

表2 基础及负荷状态下心肌做功参数预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的ROC曲线分析

参数	AUC及其95%可信区间	截断值	灵敏度(%)	特异度(%)	P值
基础状态下 MWI	0.704(0.665-0.742)	<1259 mmHg%	66.1	68.2	<0.001
基础状态下 MWE	0.577(0.533-0.620)	<90.5%	47.4	65.1	<0.001
基础状态下 CMW	0.714(0.676-0.752)	<1584 mmHg%	66.1	68.6	<0.001
基础状态下 WW	0.510(0.467-0.554)	>43.5 mmHg%	78.1	27.4	0.649
负荷状态下 MWI	0.829(0.799-0.860)	<1215 mmHg%	72.1	78.3	<0.001
负荷状态下 MWE	0.766(0.729-0.802)	<91.5%	67.3	71.8	<0.001
负荷状态下 CMW	0.841(0.812-0.871)	<1583 mmHg%	78.9	74.5	<0.001
负荷状态下 WW	0.685(0.645-0.725)	>84.5 mmHg%	73.7	53.9	<0.001

AUC: 曲线下面积

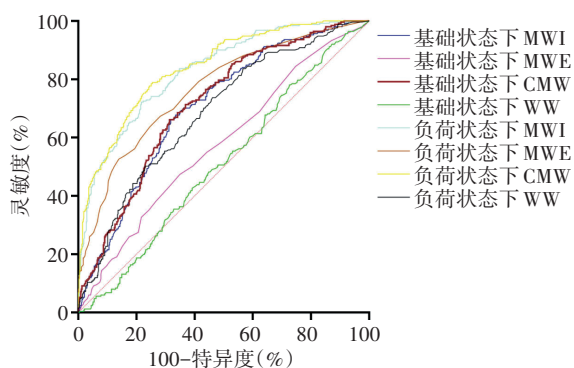


图2 基础及负荷状态下心肌做功参数预测PCI术后冠状动脉重度狭窄的ROC曲线图

### 讨论

PCI术可用于促进冠心病患者心肌血流恢复,但仍有一部分患者术后会出现灌注再狭窄等情况,影响手术效果及预后<sup>[6]</sup>。目前临床用于评价PCI术后是否存在支架内再狭窄主要依据CAG,但其为侵入性操作,且费用较高。ASE主要通过观察室壁运动的异常来确定心肌是否缺血,能准确识别室壁运动明显异常的患者,已被临床用于评估冠心病患者心肌缺血情况及预后<sup>[7]</sup>,但其无法判断微小的异常心肌形变,故其单独应用的临床价值有限<sup>[8]</sup>。研究<sup>[9]</sup>显示,左室心肌应变参数在识别心肌缺血方面较常规超声心动图参数具有更高的灵敏度;另有研究<sup>[10]</sup>指出,负荷超声心动图联合斑点追踪技术可早期检出心肌功能异常。然而采用心肌应变参数评估左室心肌收缩功能易受到后负荷的影响,与左

室应变参数相比,由LVPSL获得的心肌做功参数可反映心脏收缩功能,且兼顾心肌应变与后负荷,可早期、敏感地识别左室整体及节段心肌收缩功能的改变<sup>[11]</sup>。心肌做功参数包括MWI、CMW、WW、MWE,其中MWI定义为二尖瓣关闭至开放整个时期内心肌做功的总和;CMW为有助于心肌细胞收缩期缩短和舒张期延长所做的功;WW为不利于左室射血的做功,代表能量的损失;MWE为CMW在CMW与WW之和中所占比重,可反映心肌收缩功能受损的程度。正常情况下,心脏保持高效做功状态,能量损耗很少,若无用功增加则会使心肌做功效率减低。本研究应用ASE联合LVPSL检测PCI术后再狭窄心肌节段的做功参数,探讨其预测冠状动脉再狭窄程度的临床应用价值。

本研究结果显示,基础状态下中度狭窄组及重度狭窄组MWI、MWE、CMW均较无明显狭窄组减低,中度狭窄组WW较无明显狭窄组增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$ )。表明冠状动脉狭窄时心肌做功效率减低,能量损耗增加,分析原因为:冠状动脉狭窄时供应心肌节段灌注减少,导致心肌发生坏死和纤维化,心肌活动僵硬,顺应性下降,等容舒张期心肌延长受限,机械运动减弱<sup>[12]</sup>,因此中度狭窄节段及重度狭窄节段MWI和CMW均明显降低。WW增加表明不利于左室射血的做功明显增加,这可能是由于心肌细胞发生坏死,使得心肌不同步收缩,导致等容舒张期心肌缩短和收缩期心肌延长所做的功显著增加所致。本研究发现,部分重度狭窄心肌节段WW均较低,原

因可能与此类心肌节段存在侧支循环,部分心肌运动代偿性增加有关。

腺苷可使正常的冠状动脉扩张,使血流灌注量增加 4~5 倍,而对狭窄的冠状动脉扩张有限,从而引起“冠状动脉盗血”现象,导致病变冠状动脉供血区心肌缺血。本研究结果显示,与基础状态下比较,无明显狭窄组和中度狭窄组负荷状态下 LS、MWI、MWE、CMW 均增加、WW 均减低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。表明腺苷使无明显狭窄及中度狭窄的冠状动脉显著扩张,心肌做功效率提高,能量损耗减少,原因可能为腺苷非选择性作用于血管平滑肌细胞壁的 A<sub>2a</sub> 受体,产生显著的扩张冠状动脉效应<sup>[13]</sup>,从而促使冠状动脉血流量增加,以保证心肌细胞的血供,导致心肌做功较基础状态下增加。另外,本研究重度狭窄组负荷状态下 MWI、MWE、CMW 均较基础状态下减低,负荷状态下 WW 较基础状态下增加,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),与 Borrie 等<sup>[14]</sup>应用运动负荷超声心动图检测冠状动脉重度狭窄患者心肌做功参数的变化模式相同,表明 PCI 术后重度狭窄的冠状动脉由于失去储备功能而无法扩张,且狭窄冠状动脉的跨狭窄区压力差增大,导致供应心肌区域的氧和血流量均明显减少,心肌细胞和心肌收缩蛋白均受损,引发心脏收缩效率减低、能量消耗增加,从而使腺苷应激下心肌做功恶化,WW 增加。此外,本研究还发现,负荷状态下随着冠状动脉狭窄程度越重,除 WW 随之增加外,对应心肌节段 MWI、MWE、CMW 均减低,差异均有统计学意义(均  $P < 0.01$ ),表明 WW 是唯一随着冠状动脉狭窄程度加重而增加的节段心肌做功参数,与 Edwards 等<sup>[15]</sup>研究结论相符。

本研究 ROC 曲线分析显示,负荷状态下 MWI、MWE、CMW 预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的 AUC (分别为 0.829、0.766、0.841)均高于基础状态下各参数的 AUC;负荷状态下 CMW 与 MWI 预测 PCI 术后冠状动脉重度狭窄的 AUC 比较差异无统计学意义,且均高于负荷状态下 MWE 及 WW 的 AUC,差异均有统计学意义(均  $P < 0.001$ )。表明 ASE 联合 LVPSL 在诊断 PCI 术后冠状动脉再狭窄程度方面具有潜在的临床应用价值。ASE 可准确识别室壁运动明显异常的心肌,对微小的异常心肌形变诊断价值有限,而 LVPSL 可对其进行早期、敏感地识别,二者联合应用可提高对 PCI 术后冠状动脉再狭窄程度的诊断效能。

综上所述,腺苷负荷状态下的心肌做功参数在反映心肌节段收缩功能变化方面较基础状态下更为敏感。ASE 联合 LVPSL 可用于评估 PCI 术后再狭窄心肌节段的做功情况,在预测冠状动脉再狭窄程度方面有

一定的临床应用价值,可为临床诊疗评估提供参考。但本研究为单中心、回顾性研究,样本量小,且未进行临床随访,待今后扩大样本量进一步完善。

#### 参考文献

- [1] Gaba P, Gersh BJ, Ali ZA, et al. Complete versus incomplete coronary revascularization: definitions, assessment and outcomes [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(3): 155-168.
- [2] Pleva L, Kukla P, Hlinomaz O. Treatment of coronary in-stent restenosis: a systematic review [J]. *J Geriatr Cardiol*, 2018, 15(2): 173-184.
- [3] 吴爵非,吕创业,唐颖,等.腺苷负荷心肌声学造影的临床应用[J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2019, 16(10): 723-726.
- [4] Porter TR, Mulvagh SL, Abdelmoneim SS, et al. Clinical applications of ultrasonic enhancing agents in echocardiography: 2018 American Society of Echocardiography Guidelines Update [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31(3): 241-274.
- [5] Roemer S, Jaglan A, Santos D, et al. The utility of myocardial work in clinical practice [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(8): 807-818.
- [6] 姜哲,李一丹,秦芸芸,等.斑点追踪超声心动图评估冠状动脉杂交血运重建术短期疗效[J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(3): 205-208.
- [7] Kim H, Kim IC, Hwang J, et al. Surveillance of adenosine stress myocardial contrast echocardiography following percutaneous coronary intervention [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(9): 1909-1918.
- [8] Gaibazzi N, Bergamaschi L, Pizzi C, et al. Resting global longitudinal strain and stress echocardiography to detect coronary artery disease burden [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2023, 24(5): e86-e88.
- [9] Stankovic I, Putnikovic B, Cvjetan R, et al. Visual assessment vs. strain imaging for the detection of critical stenosis of the left anterior descending coronary artery in patients without a history of myocardial infarction [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(4): 402-409.
- [10] Uusitalo V, Luotolahti M, Pietilä M, et al. Two-dimensional speckle-tracking during dobutamine stress echocardiography in the detection of myocardial ischemia in patients with suspected coronary artery disease [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(5): 470-479.
- [11] Jaglan A, Roemer S, Perez Moreno AC, et al. Myocardial work in stage 1 and 2 hypertensive patients [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(7): 744-750.
- [12] 张小花,姜志荣,宋家光,等.冠心病患者左心室心肌节段力学和局部容积负荷间关系与左室收缩同步性的研究[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2016, 27(7): 471-474.
- [13] Vleeming EJ, Lazarenko SV, van der Zant FM, et al. Cardiac displacement during <sup>13</sup>N-ammonia myocardial perfusion PET/CT: comparison between adenosine- and regadenoson-induced stress [J]. *J Nucl Med Technol*, 2018, 46(2): 114-122.
- [14] Borrie A, Goggin C, Ershad S, et al. Noninvasive myocardial work index: characterizing the normal and ischemic response to exercise [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(10): 1191-1200.
- [15] Edwards NFA, Scalia GM, Shiino K, et al. Global myocardial work is superior to global longitudinal strain to predict significant coronary artery disease in patients with normal left ventricular function and wall motion [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(8): 947-957.

(收稿日期:2023-11-02)