

## 论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.20.007

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220630.1108.004.html\(2022-07-01\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220630.1108.004.html(2022-07-01))

## 无创左心室压力-应变环在评估冠心病患者心肌做功中的应用\*

曹文琪,孙文娜,杨寒凝,陆永萍<sup>△</sup>

(云南大学附属医院超声科,昆明 650021)

**[摘要]** **目的** 利用无创左心室压力-应变环(LV-PSL)分析心肌做功(MW)参数在诊断冠心病(CAD)患者冠状动脉狭窄的临床价值。**方法** 选取该院 2019 年 8 月至 2020 年 8 月可疑 CAD 患者 125 例,其中对照组 45 例(狭窄率 $<70\%$ ),冠状动脉严重狭窄组 80 例(狭窄率 $\geq 70\%$ ),并进一步将冠状动脉严重狭窄组分为单支冠状动脉狭窄组 43 例,多支冠状动脉狭窄组 37 例。把袖带血压作为左心室压力形成 LV-PSL,收集患者动态超声心动图,利用二维斑点追踪技术对整体纵向应变(GLS)进行分析,得到应变达峰时间离散度(PSD),计算并比较各组 MW 参数[整体做功指数(GWI)、整体有用功(GCW)、整体做功效率(GWE)、整体无用功(GWW)],绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各参数预测 CAD 患者发生冠状动脉狭窄的效能。**结果** 冠状动脉狭窄组 GLS、GW、GCW、GWE 低于对照组,纵向 PSD、GWW 高于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ );单支冠状动脉狭窄组 GW、GCW、GWE 低于对照组,GWW 高于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),两组 GLS 无明显差异( $P>0.05$ );多支冠状动脉狭窄组 GLS、GW、GCW、GWE 低于对照组和单支冠状动脉狭窄组,GWW 高于对照组和多支冠状动脉狭窄组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。GW 预测 CAD 患者冠状动脉狭窄的 ROC 曲线下面积(AUC)为 0.765,高于 GWE、GCW、GWW(分别为 0.758、0.725、0.638),其灵敏度为 90%,特异度为 70%。**结论** CAD 患者 LV-PSL 下左心室 MW 受损,GW 预测冠状动脉狭窄的效能优于 GCW、GWE 及 GWW。

**[关键词]** 冠心病;压力应变环;心肌做功;斑点追踪;受试者操作特征曲线**[中图分类号]** R541.4**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2022)20-3459-06

## Application of non-invasive left ventricular pressure strain loop in evaluation of myocardial work in patients with coronary atherosclerotic heart disease\*

CAO Wenqi, SUN Wenna, YANG Hanning, LU Yongping<sup>△</sup>

(Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of Yunnan University, Kunming, Yunnan 650021, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the clinical value of myocardial work (MW) parameters for diagnosing coronary artery stenosis in the patients with coronary atherosclerotic heart disease (CAD) by using non-invasive left ventricular pressure strain loop (LV-PSL). **Methods** A total of 125 patients with suspected CAD in this hospital from August 2019 to August 2020 were selected, including 45 cases in the control group (stenosis rate  $<70\%$ ) and 80 cases in the severe coronary artery stenosis group (stenosis rate  $\geq 70\%$ ). The severe coronary artery stenosis group was further divided into the single-vessel coronary artery stenosis group (43 cases) and the multi-vessel coronary artery stenosis group (37 cases). The cuff blood pressure was used as left ventricular pressure to form a LV-PSL. The dynamic ultrasonic cardiogram was collected, and the global longitudinal strain (GLS) was analysed by using the two-dimensional speckle tracking technology to obtain the longitudinal strain peak time dispersion (PSD). The MW parameters, including global work index (GW), global constructive work (GCW), global work efficiency (GWE), and global wasted work (GWW), in each group were calculated and compared. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the efficiency of each parameter in predicting the coronary artery stenosis occurrence in CAD patients. **Results** The values of GLS, GW, GCW and GWE of the coronary artery stenosis group were lower than those of the control group, and the values of longitudinal PSD and GWW were higher than those of the control group, and the differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). The values of GW, GCW and GWE of the

\* 基金项目:云南省高校超声分子影像医学工程研究中心。 作者简介:曹文琪(1997—),在读硕士研究生,主要从事心血管超声研究。

<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: luyongp@163.com。

single-vessel coronary artery stenosis group were lower than those of the control group, the value of GWW was higher than that of the control group, and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in the value of GLS between the two groups ( $P > 0.05$ ). The values of GLS, GWI, GCW and GWE of the multi-vessel coronary artery stenosis group were lower than those of the control group and single-vessel coronary artery stenosis group, and the value of GWW was higher than that of the control group and multi-vessel coronary artery stenosis group, and the differences were statistically significant ( $P < 0.05$ ). The area under the ROC curve (AUC) of GWI for predicting coronary artery stenosis in CAD patients was 0.765, which was higher than that of GWE, GCW and GWW (0.758, 0.725 and 0.638, respectively), with a sensitivity of 90% and a specificity of 70%. **Conclusion** Left ventricular MW is impaired under LV-PSL in CAD patients, and the efficiency of GWI in predicting coronary artery stenosis is better than that of GCW, GWE and GWW.

**[Key words]** coronary heart disease; pressure strain loop; myocardial work; spot tracking; receiver operator characteristic curve

冠状动脉狭窄时心肌缺血缺氧导致异常心肌能量代谢,影响心脏收缩功能,最终导致心力衰竭,及时有效地发现患者心功能变化有助于早期对患者进行干预治疗,延缓疾病进展,加速转归,保障患者的生命健康。冠心病(coronary atherosclerotic disease, CAD)患者心功能的测定,既往采用经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)、左心室压力-容积环(pressure-volume loop, PVL)、二维(two-dimensional, 2D)斑点追踪超声心动图等技术。本研究应用左心室压力-应变环(left ventricular pressure-strain loop, LV-PSL),通过 PSL 的相关评估参数探讨左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)正常与无局部室壁运动异常的 CAD 患者心肌做功(myocardial work, MW)情况,讨论 LV-PSL 在平静呼吸时检测 CAD 患者 MW 的增量价值,为临床定量诊断 CAD 提供更多有意义的参考信息,现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取本院 2019 年 8 月至 2020 年 8 月首次临床诊断为可疑 CAD 患者 130 例, CAD 诊断标准依据《稳定性冠心病诊断与治疗指南》<sup>[1]</sup>, 所有病例均于入院 72 h 内完成冠状动脉造影检查。纳入标准: (1) 入院首次心电图显示窦性心律; (2) 病史、临床症状、心电图改变、冠状动脉 CT 造影检查及实验室检查结果提示可疑的 CAD; (3) 依从性较好; (4) 对本次研究内容安全性知情并自愿签署同意书。排除标准: (1) 有心肌梗死病史; (2) 有既往经皮冠状动脉介入诊疗或其他心脏手术史; (3) 有结构性心脏病史(先天性心脏病、瓣膜病、心肌病等); (4) 合并其他代谢疾病且服用负性肌力药物。依据纳入及排除标准, 5 例患者因为未完成冠状动脉造影检查或图像质量差被排除, 最终冠状动脉严重狭窄组(狭窄率  $\geq 70\%$ ) 纳入 80 例, 其中单支冠状动脉狭窄组 43 例, 多支冠状动脉狭窄组 37 例; 对照组纳入冠状动脉狭窄  $< 70\%$  的患者 45 例。本研究已通过本院医学伦理委员会批准(伦理审查编号: 2020144)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 仪器

GE VividE95 超声诊断仪, M5S 超声探头, 频率 1.5~4.6 MHz, 配有 EchoPAC203 工作站, 购自通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限公司。

#### 1.2.2 临床资料收集

收集患者年龄、心率、肱动脉收缩压及舒张压、体重、身高、性别等信息。

#### 1.2.3 图像采集及分析

参考美国超声心动图学会委员(American Society of Echocardiography, ASE)操作指南, TTE(左心室长轴切面)测量左心室舒张末期内径(left ventricular internal diastolic diameter, LVIDd)、左心房前后径(left atrium anterior and posterior diameter, LAD); 改良双平面 Simpson 法测量 LVEF、左心室收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV)、左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV); 采集心脏切面(心尖三腔、四腔、两腔)动态二维图像及主动脉瓣、二尖瓣前向血流频谱图, 帧频 57~68 帧/秒, 所有图像均采集 3 个及以上心动周期, 并导入至 EchoPAC 203 工作站分析; 最后获得全部整体 MW 数据: 整体做功指数(global work index, GWI)、整体有用功(global constructive work, GCW)、整体无用功(global wasted work, GWW)、整体做功效率(global work efficiency, GWE), 牛眼图呈现纵向应变达峰时间离散度(peak strain dispersion, PSD), 评估左心室心肌收缩情况(图 1、2)。所有患者均在完成超声心动图检查后 24 h 内做冠状动脉造影检查。

#### 1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 统计软件进行统计分析, 正态分布且方差齐的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 多组比较采用单因素方差分析, 组间两两比较采用 LSD- $t$  检验, 两组比较采用独立样本  $t$  检验; 采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 GLS、GWI、GCW、GWW 和 GWE

对 CAD 患者冠状动脉狭窄的预测价值;以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

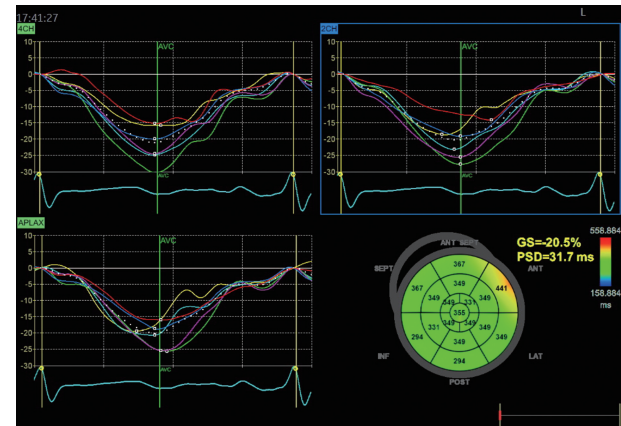


图 1 对照组(狭窄率<70%)左心室纵向应变曲线及 PSD

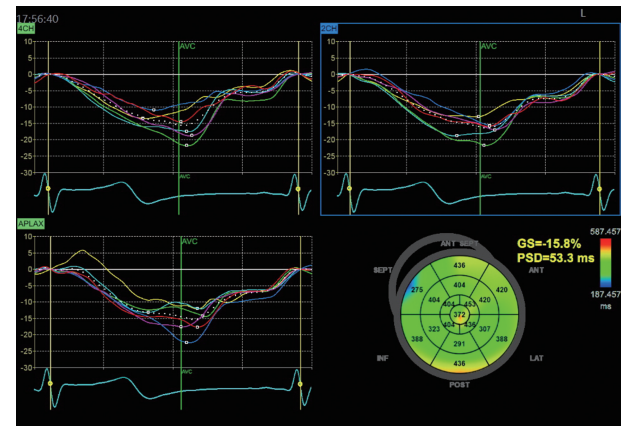


图 2 冠状动脉狭窄组(狭窄率≥70%)左心室纵向应变曲线及 PSD

## 2 结 果

### 2.1 3 组间一般资料比较

表 1 3 组一般临床资料比较( $\bar{x}\pm s$ )

| 组别        | <i>n</i> | 年龄<br>(岁) | 身高<br>(cm) | 体重<br>(kg) | 心率<br>(次/分钟) | 收缩压<br>(mm Hg) | 舒张压<br>(mm Hg) |
|-----------|----------|-----------|------------|------------|--------------|----------------|----------------|
| 对照组       | 45       | 58.7±3.8  | 164.4±6.2  | 66.7±7.0   | 69.2±6.5     | 119.1±14.0     | 70.1±7.8       |
| 单支冠状动脉狭窄组 | 43       | 59.8±3.0  | 163.3±8.5  | 66.8±8.7   | 71.4±9.6     | 118.9±18.1     | 77.1±11.2      |
| 多支冠状动脉狭窄组 | 37       | 59.7±4.9  | 158.0±30.1 | 65.5±8.3   | 72.1±7.5     | 118.1±20.1     | 79.6±8.6       |
| <i>F</i>  |          | 0.526     | 0.783      | 0.140      | 2.486        | 0.174          | 1.325          |
| <i>P</i>  |          | 0.593     | 0.461      | 0.870      | 0.090        | 0.841          | 0.277          |

表 2 3 组间常用超声心动图参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

| 组别        | <i>n</i> | LAD(mm)                | LVIDd(mm)              | LVEDV(mL)               | LVESV(mL)               | LVEF(%)                |
|-----------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 对照组       | 45       | 29.1±2.1               | 42.8±2.8               | 82.4±9.9                | 29.0±3.9                | 65.4±3.2               |
| 单支冠状动脉狭窄组 | 43       | 33.6±3.7 <sup>a</sup>  | 44.0±3.1               | 87.7±10.4               | 29.7±6.4                | 65.1±2.9               |
| 多支冠状动脉狭窄组 | 37       | 36.9±4.7 <sup>ab</sup> | 48.4±5.4 <sup>ab</sup> | 99.4±15.8 <sup>ab</sup> | 37.4±10.2 <sup>ab</sup> | 61.6±5.4 <sup>ab</sup> |
| <i>F</i>  |          | 25.802                 | 13.427                 | 12.550                  | 10.397                  | 7.528                  |
| <i>P</i>  |          | <0.001                 | <0.001                 | <0.001                  | <0.001                  | 0.001                  |

<sup>a</sup>:  $P<0.05$ ,与对照组比较; <sup>b</sup>:  $P<0.05$ ,与单支冠状动脉狭窄组比较。

3 组患者年龄、身高、体重、心率、血压等一般资料比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 1。

### 2.2 3 组间常用超声心动图参数比较

腔室内径大小:单支冠状动脉狭窄组 LAD 明显高于对照组( $P<0.05$ ),LVIDd 与对照组无明显差异( $P>0.05$ )。多支冠状动脉狭窄组 LAD、LVIDd 均明显高于对照组和单支冠状动脉狭窄组( $P<0.05$ ),见表 2。左心功能指标:对照组与单支冠状动脉狭窄组 LVEDV、LVESV、LVEF 均无明显差异( $P>0.05$ );多支冠状动脉狭窄组 LVEDV、LVESV 高于对照组和单支冠状动脉狭窄组,LVEF 低于对照组和单支冠状动脉狭窄组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表 2。室壁运动情况:对照组及冠状动脉严重狭窄组所有病例均未出现节段性室壁运动异常。

### 2.3 左室 GLS、MW 参数分析

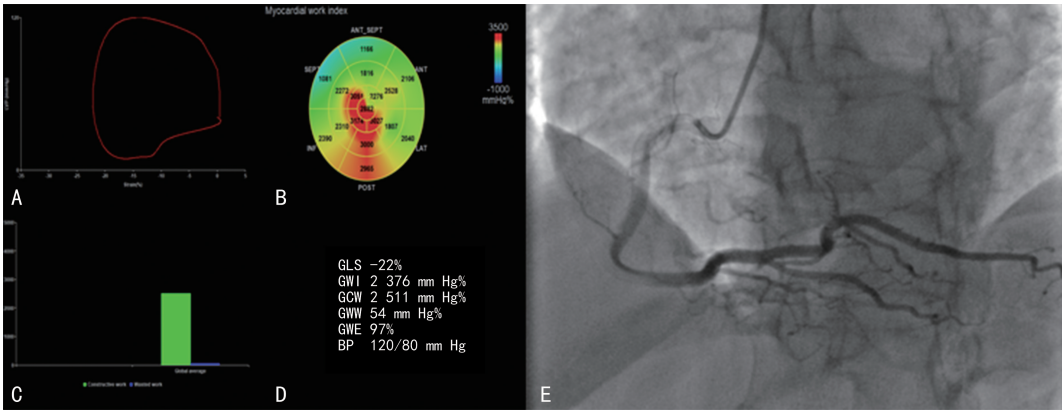
冠状动脉狭窄组 GLS、GWI、GCW、GWE 低于对照组,GWW、纵向 PSD 高于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表 3。单支冠状动脉狭窄组 GWI、GCW、GWE 低于对照组,GWW 高于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),两组 GLS 无明显差异( $P>0.05$ );多支冠状动脉狭窄组 GLS、GWI、GCW、GWE 低于对照组和单支冠状动脉狭窄组,GWW 高于对照组和单支冠状动脉狭窄组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),见表 4。

对照组患者 17 节段牛眼图与其冠状动脉造影结果一致,见图 3;单支冠状动脉狭窄组患者 17 节段牛眼图显示应变异常部位与冠状动脉造影显示的冠状动脉血管狭窄结果一致,冠状动脉造影狭窄血管所对应室壁的 GWI 降低,见图 4。

| 表 3 对照组与冠状动脉严重狭窄组 MW 参数比较( $\bar{x}\pm s$ ) |          |            |                 |                 |                 |            |                |
|---------------------------------------------|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|
| 组别                                          | <i>n</i> | GLS<br>(%) | GWI<br>(mm Hg%) | GCW<br>(mm Hg%) | GWW<br>(mm Hg%) | GWE<br>(%) | 纵向 PSD<br>(ms) |
| 对照组                                         | 45       | 19.6±1.2   | 2 036.9±239.5   | 2 137.8±270.3   | 106.8±40.6      | 94.6±1.8   | 34.0±3.8       |
| 冠状动脉严重狭窄组                                   | 80       | 16.2±3.0   | 1 704.2±402.9   | 1 879.6±407.6   | 146.3±76.4      | 91.2±4.1   | 54.0±6.2       |
| <i>t</i>                                    |          | 7.016      | 4.456           | 3.222           | 2.946           | 5.164      | 17.018         |
| <i>P</i>                                    |          | <0.001     | 0.004           | 0.014           | 0.006           | <0.001     | 0.049          |

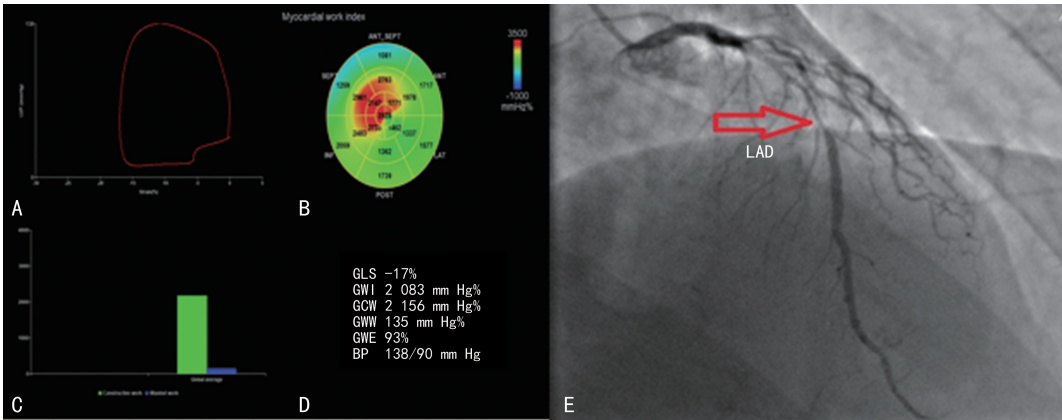
| 表 4 3 组间 MW 参数比较( $\bar{x}\pm s$ ) |          |                        |                             |                             |                          |                        |
|------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| 组别                                 | <i>n</i> | GLS(%)                 | GWI(mm Hg%)                 | GCW(mm Hg%)                 | GWW(mm Hg%)              | GWE(%)                 |
| 对照组                                | 45       | 19.6±1.2               | 2 036.9±239.5               | 2 137.8±270.3               | 106.8±40.6               | 94.6±1.8               |
| 单支冠状动脉狭窄组                          | 43       | 18.5±2.4               | 1 897.8±410.9 <sup>a</sup>  | 2 079.1±408.7 <sup>a</sup>  | 131.2±61.0 <sup>a</sup>  | 92.6±3.2 <sup>a</sup>  |
| 多支冠状动脉狭窄组                          | 37       | 14.7±2.5 <sup>ab</sup> | 1 556.2±332.0 <sup>ab</sup> | 1 726.9±339.3 <sup>ab</sup> | 157.8±85.3 <sup>ab</sup> | 90.0±4.5 <sup>ab</sup> |
| <i>F</i>                           |          | 34.635                 | 14.536                      | 11.622                      | 3.568                    | 10.930                 |
| <i>P</i>                           |          | <0.001                 | <0.001                      | <0.001                      | 0.033                    | <0.001                 |

<sup>a</sup>:*P*<0.05,与对照组比较;<sup>b</sup>:*P*<0.05,与单支冠状动脉狭窄组比较。



A:LV-PSL 曲线图,曲线下面积代表左心室整体 GWI;B:左心室 17 节段 GWI 牛眼图;C:左心室 GCW 和 GWW 的柱状图;D:左心室 MW 参数;E:冠状动脉造影。

图 3 对照组 LV-PSL 评估左心室 MW 指数及冠脉造影



A:LV-PSL 曲线图,曲线下面积代表左心室整体 GWI;B:左心室 17 节段 GWI 牛眼图;C:左心室 GCW 和 GWW 的柱状图;D:左心室 MW 参数;E:冠状动脉造影。

图 4 单支冠状动脉狭窄组 LV-PSL 评估左心室 MW 指数及冠状动脉造影

2.4 左心室 MW 参数预测 CAD 患者冠状动脉狭窄的 ROC 曲线分析

ROC 曲线分析显示,GWI、GWE、GCW、GWW

预测 CAD 患者冠状动脉狭窄的曲线下面积(AUC)分别为 0.765、0.758、0.725、0.638,GWI 预测冠状动脉狭窄灵敏度较高,见图 5、表 5。

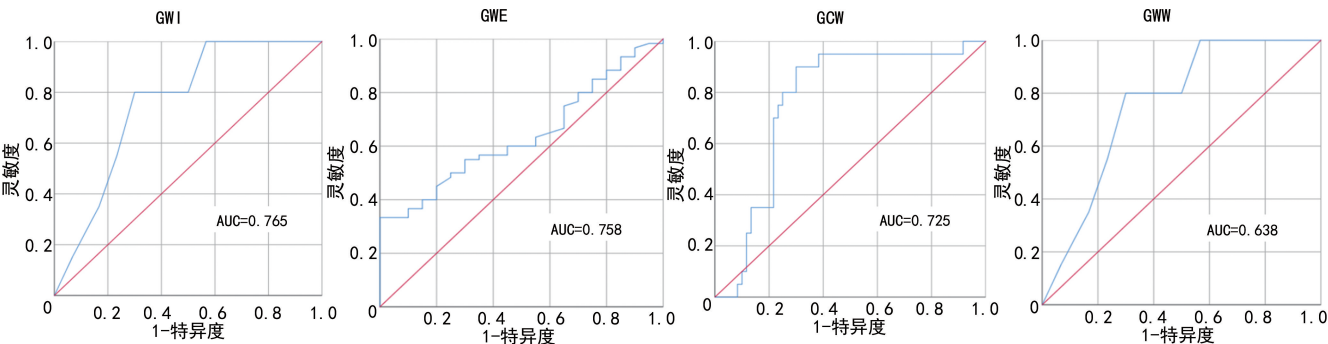


图5 GWI、GWE、GCW 及 GWW 预测 CAD 患者冠状动脉狭窄的 ROC 曲线

| 表 5 MW 参数预测 CAD 患者冠状动脉狭窄的 ROC 曲线分析 |                |                    |         |         |
|------------------------------------|----------------|--------------------|---------|---------|
| 项目                                 | 截断值            | AUC(95%CI)         | 灵敏度 (%) | 特异度 (%) |
| GWl                                | 1 889.0 mm Hg% | 0.765(0.652,0.878) | 90      | 70      |
| GWE                                | 93.5%          | 0.758(0.652,0.865) | 80      | 70      |
| GCW                                | 1 914.5 mm Hg% | 0.725(0.607,0.843) | 90      | 58      |
| GWW                                | 176.0 mm Hg%   | 0.638(0.513,0.763) | 67      | 100     |

3 讨 论

研究表明,70%以上的冠状动脉狭窄程度对心脏血流动力学的影响有较高特异性<sup>[2]</sup>,临床上也常以狭窄程度≥70%作为行介入治疗的指标,因此,本研究以冠状动脉狭窄程度 70%作为分组依据。有学者发现,无创评估 MW 与心肌代谢之间存在高度相关性,据此认为 LV-PSL 能反映心肌代谢情况,可用来观察 MW 情况,是一种新的分析评估 MW 的无创方法<sup>[3]</sup>。在本研究中,对照组与冠状动脉严重狭窄组患者既未出现 LVEF 异常也无节段性室壁运动异常,但 LV-PSL 所测冠状动脉严重狭窄组患者心肌相关参数均出现了明显改变,GLS、GWI、GCW、GWE 低于对照组,GWW、纵向 PSD 高于对照组。LV-PSL 较常规超声心动图能够更敏感的检测出 CAD 患者 MW 的变化。

本研究发现,单支冠状动脉狭窄组 GWI、GCW、GWE 明显低于对照组,GWW 明显高于对照组( $P<0.05$ ),两组 GLS 无明显差异( $P>0.05$ ),但多支冠状动脉狭窄组 GLS 明显低于对照组( $P<0.05$ ),即 LV-PSL 仍可对单支冠状动脉狭窄 CAD 患者的诊断提供一定依据。与 EDWARDS 等<sup>[4]</sup>的研究一致,GLS 在单只与多支血管病变中出现差异的原因可能与 CAD 累及多支血管时,更多的左心室心肌血流灌注减少、缺血范围增加使得心内膜下纵向心肌纤维损伤较单支病变者更为严重有关。CHOI 等<sup>[5]</sup>也曾报道,CAD 高风险、冠状动脉多支和主干病变患者的 GLS 明显降低,上述患者尽管没有明显的静息性局部运动异常,但因为冠状动脉狭窄条件下心内膜纤维更容易受到缺血的影响<sup>[6-7]</sup>,左心室心肌的重复性和间歇性缺

血损伤可能已使心肌发生轻微的顿抑,从而导致收缩期纵向功能降低。LVEF 和局部壁运动的评估是基于心内膜边界的径向增厚,这些参数对早期缺血的检测不太敏感<sup>[8-9]</sup>。与本研究相同,有研究表明以心内膜层为主的纵向应变能更准确地检测缺血引起的早期心功能紊乱<sup>[5,10]</sup>。

在本研究中,GWI<1 889.0 mm Hg%为预测冠状动脉狭窄的敏感指标,优于 GCW 和 GWE。本研究结果中整体 GWI 和整体 GCW 明显降低主要有以下两点原因:(1)由于心肌收缩能力受冠状动脉血流量影响显著,冠状动脉狭窄或闭塞使得心肌血流灌注减弱,运动能力受损,收缩期时心肌缩短幅度较正常减小、伸长幅度较正常加大,导致 GCW 减低、GWW 增加。(2)心内膜下毛细血管阻力伴随冠状动脉狭窄逐渐上升,微血管容量减少,造成心肌缺血<sup>[11]</sup>。

相关研究证明,冠状动脉造影对左心室 MW 的评估与 LV-PSL 评价心肌功能的结果存在高度相关性<sup>[12]</sup>;LV-PSL 评价 MW 的可信度和易行性已在多种心血管疾病及心脏再同步化诊治过程中进一步被证实<sup>[13-16]</sup>,可在早期敏感地反映 CAD 患者各心肌节段的做功情况。LV-PSL 基于心室应变和压力这两种因素对 MW 进行评价<sup>[13]</sup>,基础是二维斑点追踪技术,该方法为无创检查,虽然其对心功能评估的准确性受心脏后负荷影响<sup>[12]</sup>,但由于 LV-PSL 考虑了更多的心脏后负荷对心功能的影响,它能比传统心肌变更早期精确地识别心肌缺血及心肌梗死是否存在,能更客观地反映心肌缺血缺氧时心脏的整体与局部功能,也能更准确地反映 MW,为临床及时诊断心肌缺血提供敏感的参考指标。

本研究的局限性:(1)由于压力-应变环对 MW 的评估是基于二维斑点追踪技术,而心脏运动是三维立体的,故具有一定空间依赖性,局部心肌斑点无法准确追踪,从而影响试验结果;(2)本研究仅对左心室整体做功进行评估,未对冠状动脉狭窄组细化,也未对罪犯血管供血区 MW 情况进行评估,存在一定的偏倚。

综上所述,对于 LVEF 正常且无显著节段性室壁运动异常的 CAD 患者,在无创 LV-PSL 的基础上,观

察包括心肌有效性做功及效率减低在内的 MW 受损的敏锐度更高,其灵敏度高于传统技术检查。LV-PSL 能够评估 MW,评价左心室收缩功能,并为高血压病、扩张型心肌病、肥厚型心肌病等相关心血管疾病的风险及疗效评估提供有力支撑。本研究通过 LV-PSL 对 MW 进行评价,发现 GWI 预测冠状动脉狭窄的效能优于 GWE、GCW 及 GWW,可作为预测 CAD 患者的敏感指标, LV-PSL 为 CAD 患者左心室收缩功能的定量评估提供了新的方法。

## 参考文献

- [1] 王斌,李毅,韩雅玲. 稳定性冠心病诊断与治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2018, 46(9): 680-694.
- [2] NEUMANN F J, SOUSA-UVA M, AHLSSON A, et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40(2): 87-165.
- [3] RUSSELL K, ERIKSEN M, AABERGE L, et al. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2013, 305(7): H996-1003.
- [4] EDWARDS N F A, SCALIA G M, 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.
- [5] CHOI J O, CHO S W, SONG Y B, et al. Longitudinal 2D strain at rest predicts the presence of left main and three vessel coronary artery disease in patients without regional wall motion abnormality[J]. Eur J Echocardiogr, 2009, 10(5): 695-701.
- [6] MONTGOMERY D E, PUTHUMANA J J, FOX J M, et al. Global longitudinal strain aids the detection of non-obstructive coronary artery disease in the resting echocardiogram[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2012, 13(7): 579-587.
- [7] DAHLSLETT T, KARLSEN S, GRENNE B, et al. Early assessment of strain echocardiography can accurately exclude significant coronary artery stenosis in suspected non-ST-segment elevation acute coronary syndrome[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2014, 27(5): 512-519.
- [8] REIMER K A, JENNINGS R B. The "wavefront phenomenon" of myocardial ischemic cell death. II. Transmural progression of necrosis within the framework of ischemic bed size (myocardium at risk) and collateral flow[J]. Lab Invest, 1979, 40(6): 633-644.
- [9] HANEKOM L, CHO G Y, LEANO R, et al. Comparison of two-dimensional speckle and tissue Doppler strain measurement during dobutamine stress echocardiography: an angiographic correlation[J]. Eur Heart J, 2007, 28(14): 1765-1772.
- [10] YINGCHONCHAROEN T, AGARWAL S, POPOVIC Z B, et al. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2013, 26(2): 185-191.
- [11] TANABE Y, KIDO T, UETANI T, 等. 动态 CT 灌注成像识别心肌缺血与梗死, 与心脏 MR 及 SPECT 进行比较[J]. 国际医学放射学杂志, 2017, 40(1): 100.
- [12] HUBERT A, LE R V, LECLERCQ C, et al. Estimation of myocardial work from pressure-strain loops analysis: an experimental evaluation[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(12): 1372-1379.
- [13] CHAN J, EDWARDS N, KHANDHERIA B K, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(1): 31-39.
- [14] GALLI E, VITEL E, SCHNELL F, et al. Myocardial constructive work is impaired in hypertrophic cardiomyopathy and predicts left ventricular fibrosis[J]. Echocardiography, 2019, 36(1): 74-82.
- [15] GALLI E, LECLERCQ C, FOURNET M, et al. Value of myocardial work estimation in the prediction of response to cardiac resynchronization therapy[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2018, 31(2): 220-230.
- [16] 崔存英, 李欣, 李亚南, 等. 超声心动图左室压力-应变环对冠脉搭桥术患者心肌做功的定量研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2019, 28(12): 1025-1030.