

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2021.22.022

## 左室压力 - 应变环评估冠心病患者经皮冠状动脉介入术前后 心肌做功的临床研究 \*

高晓梅<sup>1,2</sup> 王显悦<sup>3</sup> 张本<sup>3</sup> 颜涛<sup>3</sup> 郭珺<sup>4</sup> 李叶阔<sup>1,4Δ</sup>

(1 南方医科大学第一临床医学院 广东 广州 510515; 2. 珠海市人民医院 / 暨南大学附属珠海医院超声影像科 广东 珠海 519000;  
3 中国人民解放军南部战区总医院心胸外科 广东 广州 510010;  
4 中国人民解放军南部战区总医院心胸外科彩超室 广东 广州 510010)

**摘要 目的:**应用左室压力 - 应变环(LV-PSL)评估冠心病患者经皮冠状动脉介入术(PCI)前后心肌做功的改变。**方法:**选取在中国人民解放军南部战区总医院行 PCI 治疗的冠心病患者 40 例为病例组,同期健康体检者 42 例为对照组,应用 LV-PSL 评估整体做功效率(GWE)、整体做功指数(GWI)、整体无做功(GWW)、整体有做功(GCW),比较对照组与病例组术前、术后 1 周、术后 1 个月各参数的差异,分析 GWI、GCW、GWE、GWW 与左室射血分数(LVEF)及左室整体纵向应变(GLS)的相关性。**结果:**与对照组相比,病例组术前、术后 1 周、术后 1 个月 GWW 升高,GCW、GWI、GWE 降低( $P<0.05$ )。与术前相比,术后 1 周 GWI、GCW、GWE、GWW 差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。与术前及术后 1 周相比,术后 1 个月 GWW 降低,GCW、GWI、GWE 升高( $P<0.05$ )。GWI、GCW、GWE、GWW 与 LVEF 及 GLS 均显著相关( $P<0.05$ )。**结论:**LV-PSL 可定量评估冠心病患者 PCI 前后的心肌做功,为临床提供一种无创性评价 PCI 后心脏收缩功能的新方法。

**关键词:**左室压力 - 应变环;冠心病;经皮冠状动脉介入术;心肌做功

**中图分类号:**R541.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2021)22-4308-05

## Clinical Study of Left Ventricular Pressure-Strain Loop in Evaluating Myocardial Work in Patients with Coronary Heart Disease before and after Percutaneous Coronary Intervention\*

GAO Xiao-mei<sup>1,2</sup>, WANG Xian-yue<sup>3</sup>, ZHANG Ben<sup>3</sup>, YAN Tao<sup>3</sup>, GUO Jun<sup>4</sup>, LI Ye-kuo<sup>1,4Δ</sup>

(1 The First Clinical Medical College of Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong, 510515, China;

2 Department of Ultrasound Imaging, Zhuhai People's Hospital/Zhuhai Hospital Affiliated to Jinan University, Zhuhai, Guangdong, 519000, China; 3 Department of Cardio-Thoracic Surgery, Southern Theater General Hospital of the Chinese People's Liberation Army, Guangzhou, Guangdong, 510010, China; 4 Color ultrasound Room of Cardio-Thoracic Surgery Department, Southern Theater General Hospital of the Chinese People's Liberation Army, Guangzhou, Guangdong, 510010, China)

**ABSTRACT Objective:** To evaluate the changes of myocardial work in patients with coronary heart disease before and after percutaneous coronary intervention (PCI) by left ventricular pressure-strain loop (LV-PSL). **Methods:** 40 patients with coronary heart disease undergoing PCI in the Southern Theater General Hospital of the Chinese People's Liberation Army were selected as the case group, and 42 healthy subjects during the same period were selected as the control group. LV-PSL was used to evaluate global work efficiency (GWE), global work index (GWI), global wasted work (GWW) and global constructive work (GCW), and the differences of parameters between the control group and the case group before operation, 1 week after operation and 1 month after operation were compared. The correlation of GWI, GCW, GWE, GWW and left ventricular ejection fraction (LVEF) and left ventricular global longitudinal strains (GLS) were analyzed. **Results:** Compared with the control group, GWW increased in the case group before operation, 1 week after operation and 1 month after operation, and GWI, GCW and GWE decreased ( $P<0.05$ ). Compared with before operation, there were no significant differences in GWI, GCW, GWE and GWW at 1 week after operation ( $P>0.05$ ). Compared with before operation and 1 week after operation, GWW decreased at 1 month after operation, and GCW, GWI and GWE increased ( $P<0.05$ ). GWI, GCW, GWE, GWW were significantly correlated with LVEF and GLS ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** LV-PSL can quantitatively evaluate the myocardial work before and after PCI, providing a new non-invasive method for clinical evaluation of cardiac systolic function after PCI.

**Key words:** Left ventricular pressure-strain loop; Coronary heart disease; Percutaneous coronary intervention; Myocardial work

**Chinese Library Classification(CLC):** R541.4 **Document code:** A

**Article ID:** 1673-6273(2021)22-4308-05

\* 基金项目:广东省自然科学基金项目(2016A030313611)

作者简介:高晓梅(1985-),女,硕士研究生,主治医师,从事心血管超声方向的研究,E-mail: gaomiaomei1985@163.com

Δ 通讯作者:李叶阔(1971-),男,博士,主任医师,从事心血管超声方向的研究,E-mail: yekuoli@163.com

(收稿日期:2021-04-23 接受日期:2021-05-18)

## 前言

经皮冠状动脉介入术(PCI)是指经心导管技术疏通狭窄甚至闭塞的冠状动脉管腔,进而达到改善心肌血流灌注目的的一种治疗方法<sup>[1-3]</sup>。对于冠心病患者 PCI 后心脏收缩功能的评价, M 型超声和二维超声获得的左室射血分数(LVEF)是临床最常用的指标,然而受左室几何形态和操作者主观因素的影响,准确性和灵敏性有待于进一步提高<sup>[4,5]</sup>。左室压力-应变环(LV-PSL)是指基于二维斑点追踪技术的基础上,将心肌应变与左室压力曲线相结合,降低后负荷对传统心肌应变的影响的检查方法,能够无创、定量地评估左室心肌做功,从而准确评估左室收缩功能<sup>[6,7]</sup>。本研究应用 LV-PSL 评估冠心病患者 PCI 前后心肌做功的改变,旨在探索一种评价 PCI 后心脏收缩功能的

新方法。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选取 2021 年 1 月-5 月在中国人民解放军南部战区总医院行 PCI 治疗的冠心病患者 40 例为病例组。本研究经中国人民解放军南部战区总医院伦理委员会批准。纳入标准:(1)窦性心律;(2)冠心病诊断明确,均行 PCI 治疗;(3)所有患者签署知情同意书。排除标准:(1)心律失常;(2)患有急性心肌梗死、心脏瓣膜病、肥厚型心肌病、先天性心脏病;(3)既往行冠脉搭桥或 PCI;(4)声窗不佳的患者。选取健康体检人群 42 例为对照组,对照组与病例组一般资料比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 1。

表 1 两组人群一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two group

| Groups        | n  | Gender | Age(years)  | Body mass index(kg/m <sup>2</sup> ) | Body surface area(m <sup>2</sup> ) | Heart rate (beats/min) | Systolic blood pressure (mmHg) | Diastolic blood pressure (mmHg) |
|---------------|----|--------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Control group | 42 | 27/15  | 57.69± 9.19 | 22.65± 2.05                         | 1.71± 0.12                         | 70.71± 11.05           | 124.67± 6.97                   | 74.10± 4.65                     |
| Case group    | 40 | 28/12  | 61.08± 9.05 | 23.76± 3.18                         | 1.75± 0.18                         | 66.57± 11.04           | 126.78± 14.22                  | 75.80± 11.17                    |
| $t/\chi^2$    |    | 0.984  | -1.680      | -1.880                              | -0.940                             | 1.696                  | -2.867                         | -2.511                          |
| $P$           |    | 0.321  | 0.097       | 0.064                               | 0.350                              | 0.094                  | 0.564                          | 0.614                           |

### 1.2 方法

(1) 仪器:应用 GE Vivid E95 彩色超声多普勒诊断仪, M5Sc 探头,配有 EchoPAC 202 脱机分析软件。(2)图像采集:输入静息状态下患者双侧上肢肱动脉压的平均值,连接心电导联,患者左侧卧位,常规超声心动图采集左房前后径(LAD),舒张末期间隔厚度(IVSd),舒张末期左心室内径(LVEDD),双平面 Simpson 法测得收缩末期左心室容积(LVESV)、舒张末期左心室容积(LVEDV)、左心室射血分数(LVEF);连续采集 3 个心动周期的心尖四腔心、心尖三腔心、心尖两腔心切面动态二维超声心动图,帧频 >40 帧/s,于心尖四腔心切面采集二尖瓣多普勒血流频谱,心尖五腔心切面采集主动脉瓣多普勒血流频谱。收集对照组、病例组术前、术后 1 周及术后 1 月的图像,存入硬盘以备分析。(3)左室心肌做功数据分析:将原始数据导入 EchoPAC 分析软件,选取心尖三腔心切面图像,点击 Measure,进入 AFI 分析模式,软件自动勾画出心内膜与心外膜间的感兴趣区域,对勾画不满意的节段手动调节,点击 Process 完成此切面分析,并点击 Approve and select next 依次对四腔心、两腔心切面按上述方法完成分析,点击(BE+Only),软件自动算出左室左室整体纵向应变(GLS),再点击 Myocardial Work 选择 AFI/2Dstrain,根据心尖三腔心切面调节主动脉瓣关闭时间(AVC),主动脉瓣开放时间(AVO),二尖瓣开放时间(MVO)和二尖瓣关闭时间(MVC),软件自动识别病例采集时输入的血压,计算出整体做功效率(GWE)、整体做功指数(GWI)、整体无用功(GWW)、整体有用功(GCW)。

### 1.3 统计学分析

应用 SPSS26.0 统计分析软件,性别等计数资料以例表示,

采用  $\chi^2$  检验。LAD、LVEDD、LVEDV 等计量资料采用均数± 标准差表示,采用方差分析(多组间比较)+LSD-t 检验(两两比较)。采用 Pearson 法进行相关性分析。随机抽取 10 例计量资料由另一名医师分析,计算组内及组间相关系数(ICC)进行重复性检验。 $\alpha=0.05$  被设置为检验标准。

## 2 结果

### 2.1 两组人群常规超声心动图参数比较

与对照组相比,病例组术前、术后 1 周、术后 1 个月 LVEF 降低,LVEDD、LAD、LVEDV、LVESV 均增大( $P<0.05$ );与术前相比,术后 1 周上述指标无差异( $P>0.05$ ),术后 1 个月 LVEF 升高,LVEDV、LVEDD、LVESV 减小( $P<0.05$ );与术后 1 周相比,术后 1 个月 LVEF 升高,LVEDV、LVEDD、LVESV 进一步减小( $P<0.05$ )。见表 2。

### 2.2 两组人群 GLS 及心肌做功参数比较

与对照组比较,病例组术前、术后 1 周、术后 1 个月 GLS、GWE、GWI、GCW 降低,GWW 升高,差异有统计学意义( $P<0.05$ );与术前比较,术后 1 周上述指标差异无统计学意义( $P>0.05$ ),术后 1 个月 GLS、GWE、GWI、GCW 升高,GWW 降低,差异有统计学意义( $P<0.05$ );与术后 1 周比较,术后 1 个月 GLS、GWE、GWI、GCW 升高,GWW 降低,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。见表 3、图 1。

### 2.3 GWE、GWI、GCW、GWW 与 LVEF、GLS 的相关性分析

病例组 GWE、GWI、GCW 与 LVEF 均呈显著正相关( $P<0.05$ ),GWW 与 LVEF 呈显著负相关( $P<0.05$ )。GWE、GWI、GCW 与 GLS 均呈显著负相关( $P<0.05$ ),GWW 与 GLS 呈显著正相关( $P<0.05$ )。见表 4。

表 2 对照组与病例组不同时间常规超声心动图参数比较

Table 2 Comparison of routine echocardiographic parameters between control group and case group at different times

| Groups                  | n  | LAD (mm)                 | IVSd (mm)   | LVEDD (mm)                 | LVEDV (mm)                  | LVESV (mm)                  | LVEF (%)                   |
|-------------------------|----|--------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Control group           | 42 | 29.49± 1.53              | 9.19± 0.80  | 44.29± 3.65                | 65.95± 16.23                | 23.57± 8.88                 | 66.29± 4.03                |
| Case group              | 40 |                          |             |                            |                             |                             |                            |
| Before operation        |    | 32.20± 4.65 <sup>#</sup> | 10.15± 1.14 | 51.45± 6.23 <sup>#</sup>   | 86.05± 23.28 <sup>#</sup>   | 40.38± 16.53 <sup>#</sup>   | 53.93± 8.38 <sup>#</sup>   |
| 1 week after operation  |    | 31.75± 4.12 <sup>#</sup> | 10.03± 1.03 | 50.50± 5.04 <sup>#</sup>   | 82.20± 20.56 <sup>#</sup>   | 37.90± 15.06 <sup>#</sup>   | 54.70± 8.58 <sup>#</sup>   |
| 1 month after operation |    | 30.63± 3.34 <sup>#</sup> | 10.18± 0.93 | 48.05± 3.81 <sup>#*@</sup> | 75.95± 18.61 <sup>#*@</sup> | 33.88± 12.78 <sup>#*@</sup> | 58.20± 6.19 <sup>#*@</sup> |
| F                       |    | 20.260                   | 0.771       | 43.421                     | 60.948                      | 43.479                      | 13.783                     |
| P                       |    | 0.000                    | 0.446       | 0.000                      | 0.000                       | 0.000                       | 0.000                      |

Note: compared with the control group, <sup>#</sup>P<0.05. Compared with before operation, \*P<0.05. Compared with 1 week after operation, @P<0.05.

表 3 对照组与病例组不同时间 GLS 及心肌做功参数比较

Table 3 Comparison of GLS and myocardial work parameters between control group and case group at different times

| Groups                  | GLS (%)                     | GWE (mmHg%)                | GWI (mmHg%)                    | GCW (mmHg%)                   | GWW (mmHg%)                   |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Control group (n=42)    | -20.88± 1.45                | 95.69± 1.63                | 1806.00± 161.05                | 2076.21± 292.88               | 80.81± 44.86                  |
| Case group (n=40)       |                             |                            |                                |                               |                               |
| Before operation        | -15.58± 3.25 <sup>#</sup>   | 85.00± 10.20 <sup>#</sup>  | 1492.03± 458.53 <sup>#</sup>   | 1706.43± 342.69 <sup>#</sup>  | 296.15± 161.35 <sup>#</sup>   |
| 1 week after operation  | -16.48± 2.93 <sup>#</sup>   | 85.20± 8.92 <sup>#</sup>   | 1505.45± 365.74 <sup>#</sup>   | 1758.13± 313.83 <sup>#</sup>  | 291.65± 144.38 <sup>#</sup>   |
| 1 month after operation | -18.33± 1.77 <sup>#*@</sup> | 90.33± 2.99 <sup>#*@</sup> | 1710.48± 162.30 <sup>#*@</sup> | 1895.33± 76.08 <sup>#*@</sup> | 226.85± 110.64 <sup>#*@</sup> |
| F                       | 37.367                      | 12.359                     | 11.744                         | 6.492                         | 10.798                        |
| P                       | 0.000                       | 0.001                      | 0.000                          | 0.002                         | 0.000                         |

Note: compared with the control group, <sup>#</sup>P<0.05. Compared with before operation, \*P<0.05. Compared with 1 week after operation, @P<0.05.

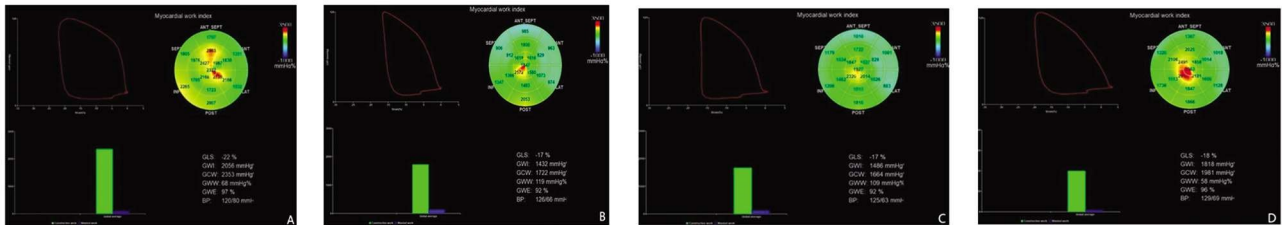


图 1 LV-PSL 评估左室心肌做功参数图

Fig.1 LV-PSL evaluation of left ventricular myocardial work parameters

Note: A: myocardial work parameters of normal control group; B: left ventricular myocardial work parameters of 56 year old male patients with coronary heart disease before PCI; C: left ventricular myocardial work parameters of the same patient 1 week after PCI; D: left ventricular myocardial work parameters of the same patient 1 month after PCI.

表 4 病例组 GWE、GWI、GCW、GWW 与 LVEF、GLS 的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of GWE, GWI, GCW, GWW and LVEF and GLS in case group

| Myocardial work parameters | LVEF   |       | GLS    |       |
|----------------------------|--------|-------|--------|-------|
|                            | r      | P     | r      | P     |
| GWE                        | 0.816  | 0.000 | -0.803 | 0.000 |
| GWI                        | 0.549  | 0.000 | -0.606 | 0.000 |
| GCW                        | 0.500  | 0.000 | -0.503 | 0.000 |
| GWW                        | -0.744 | 0.000 | 0.743  | 0.000 |

2.4 重复性检验

观察者间与观察者内对左室心肌做功参数的评估重复性良好。见表 5。

3 讨论

LV-PSL 是一种评估心功能的新方法，以二维斑点追踪技

表 5 心肌做功参数观察者间及观察者内重复性检验

Table 5 Inter observer and intra observer repeatability tests of cardiac work parameters

| Items | Inter-observer |             | Intra-observer |             |
|-------|----------------|-------------|----------------|-------------|
|       | ICC            | 95%CI       | ICC            | 95%CI       |
| GWE   | 0.897          | 0.793-0.918 | 0.797          | 0.793-0.859 |
| GWI   | 0.796          | 0.792-0.899 | 0.896          | 0.892-0.928 |
| GCW   | 0.785          | 0.770-0.893 | 0.883          | 0.864-0.912 |
| GWW   | 0.869          | 0.836-0.885 | 0.786          | 0.771-0.863 |

术为基础<sup>[8,9]</sup>,将心肌应变与无创估计的左室压力曲线相结合,通过将节段应变微分得到应变率,将其乘以瞬间左室压得到能量,对这个能量进行积分得到心肌做功<sup>[10-12]</sup>。心肌做功参数包括:GWI、GCW、GWW 和 GWE,GWI 指二尖瓣关闭到开放左室 PSL 内的总做功;GCW 指收缩期心肌缩短和等容舒张期心肌伸长所做的总功;GWW 指收缩期心肌伸长和等容舒张期心肌缩短所做的功;GWE 指  $GCW/(GCW+GWW)$  的百分比<sup>[13-15]</sup>。以往研究报道<sup>[16]</sup>指出 LV-PSL 在判断冠脉搭桥术后心肌功能恢复中有重要价值。本研究应用 LV-PSL 评估 PCI 前后心肌做功,为术后心脏收缩功能的评价提供一种新方法。

本研究结果显示,与正常对照组相比,术前病例组 GCW、GWI、GWE 降低,GWW 升高。正常情况下,心肌血液供需恒定,血氧供需平衡,心室的所有节段同步收缩,协调一致的运动有助于将左室的血液排空<sup>[17]</sup>,因此 GCW 多,GWW 少,GWW 越接近零,GWI 就越接近 GCW。当冠状动脉出现严重狭窄时,心肌供血供氧减少,心肌细胞处于低灌注甚至无血流灌注状态,从而出现心肌缺血,甚至梗死病灶,造成心肌节段性收缩异常,运动不同步。左室内的血液不能有效泵出,导致 GWW 增加,GCW 减少,进而使 GWI 及 GWE 降低<sup>[18,19]</sup>。心室内残留血液增多,压力负荷加重,室壁在收缩与舒张期所受的应力增加<sup>[20]</sup>,引起心室重构,因此与对照组相比,病例组 LVEDD、LVEDV、LVESV 增大。同时,左室心肌细胞肥厚,间质成分和结构发生变化,能量代谢障碍,心脏不断扩大,引起 LVEF 下降<sup>[20]</sup>。

本研究结果发现,与术前相比,术后 1 周左室心肌做功各项指标差异无统计学意义,术后 1 个月显著改善,但仍未达正常对照组水平。PCI 术后血管再通,心肌的血供得到改善,但心肌功能并没有立即恢复,可能有以下原因:① 由于缺血的严重程度和时间长短不一,心肌可处于冬眠或顿抑的状态。慢性心肌冬眠过程中,心肌细胞丢失,间质纤维化等因素造成血运重建后心肌功能恢复缓慢<sup>[21-23]</sup>。对于顿抑心肌而言,心内膜心肌的顿抑比心外膜严重,加上心肌缺血时间长、冠脉血流储备低,顿抑心肌功能的恢复需要数小时至数日,甚至数周<sup>[24-26]</sup>。② 冠脉闭塞时,其微小动脉及毛细血管也发生相应损害,重建后的冠脉远端微循环的再灌注不良或缓慢<sup>[27]</sup>。随着时间的推移,术后 1 个月左室心肌做功各项指标较术前及术后 1 周明显改善,表明冬眠或顿抑的心肌细胞不断恢复活性,冠脉微循环得到有效灌注,LVEF 明显改善<sup>[28-30]</sup>。本研究术后 1 个月 GWW 明显降低,说明心脏不同步运动中增加的 GWW 随着心脏再同步化治疗后 LVEF 的升高而降低,GCW、GWI、GWE 进一步升高,但仍

未达到正常对照组水平,说明部分心肌发生不可逆坏死可能,另外随访时间尚短,有待于进一步观察。本研究表明,GWE、GWI、GCW、GWW 与 LVEF、GLS 呈显著相关性,说明心肌做功参数是在二维斑点追踪的基础上衍生而来,并可反映左室收缩功能。

综上所述,LV-PSL 能定量评估冠心病患者 PCI 前后心肌做功,为术后早期心肌功能的恢复提供一种无创性评价的新方法。本研究局限性有以下几点:① 样本量小,只评估了 PCI 近期心脏收缩功能,远期心功能未知,需进一步随访;② 前臂袖带测压作为左室收缩压的替代方法不精确,结果有一定误差;③ 未对狭窄血管供应的局部心肌做功及功能进行评估;④ 斑点追踪需要心内膜的精确勾勒,切面不标准会影响结果,未来将扩大样本量进一步研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] Aggarwal P, Sinha SK, Marwah R, et al. Effect of Percutaneous Coronary Intervention on Diastolic Function in Coronary Artery Disease [J]. *J Cardiovasc Echogr*, 2021, 31(2): 73-76
- [2] 罗江宾,王天松,何喜民,等. 冠心病患者经皮冠状动脉介入治疗术后支架内再狭窄的相关危险因素分析 [J]. *现代生物医学进展*, 2019, 19(15): 2966-2969, 2983
- [3] Jia Q, Hu J, Ji W, et al. Effects of Bivalirudin and Unfractionated Heparin on Liver and Renal Function in Chinese Patients with Coronary Artery Disease Undergoing Coronary Angiography with/without Percutaneous Coronary Intervention [J]. *J Clin Transl Hepatol*, 2021, 9(4): 477-483
- [4] 莫钟玲,王银,马雁,等. 三维斑点追踪技术评价急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后左室收缩功能的变化 [J]. *中国老年学杂志*, 2017, 37(2): 344-346
- [5] 任珊,刘华长,冯艳,等. 斑点追踪成像联合实时三维超声心动图评价经皮冠状动脉介入治疗术后左室功能及同步性 [J]. *临床超声医学杂志*, 2020, 22(7): 505-509
- [6] Donal E, Galli E, Hubert A, et al. New indices of left ventricular function: let's move from ejection fraction to more physiological parameters [J]. *J Physiol*, 2017, 595(12): 3959-3960
- [7] Clemmensen TS, Eiskjær H, Mikkelsen F, et al. Left ventricular pressure-strain-derived myocardial work at rest and during exercise in patients with cardiac amyloidosis [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(5): 573-582
- [8] 柴玉娇,袁建军,朱好辉,等. 超声压力-应变环技术评价乳腺癌化疗后心肌做功能力的改变 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28(10): 757-760

- [9] Zhu M, Wang Y, Cheng Y, et al. The value of non-invasive myocardial work indices derived from left ventricular pressure-strain loops in predicting the response to cardiac resynchronization therapy[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(4): 1406-1420
- [10] 王一洒, 袁建军, 朱好辉, 等. 压力-应变环评价 2 型糖尿病患者左心室心肌做功改变[J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28(12): 934-937
- [11] 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-H1003
- [12] Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(6): 724-733
- [13] Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc imaging*, 2019, 20(5): 582-590
- [14] 张鹏英, 薛婷, 陈允安, 等. 微创左室压力-应变环定量评估经皮冠状动脉介入治疗患者心肌做功情况 [J]. *临床超声医学杂志*, 2021, 23(5): 337-341
- [15] 王岩, 薛莉. 超声心肌做功评价左室收缩功能的临床研究进展[J]. *医疗卫生装备*, 2021, 42(6): 84-89
- [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
- [17] Edwards NFA, Scialia 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
- [18] Chrub F, Schnell F, Donal E, et al. Myocardial work is a predictor of exercise tolerance in patients with dilated cardiomyopathy and left ventricular dyssynchrony [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(1): 45-53
- [19] Cui C, Liu L, Li Y, et al. Left Ventricular Pressure-Strain Loop-Based Quantitative Examination of the Global and Regional Myocardial Work of Patients with Dilated Cardiomyopathy [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(10): 2834-284
- [20] 唐莎, 李华, 牛铭, 等. 左室压力-应变环对冠心病患者心肌做功评价的初步研究[J]. *心脏杂志*, 2020, 32(2): 172-175
- [21] 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运重建术短期疗效 [J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(3): 205-208
- [22] 张艳辉, 孟祥, 从国彬, 等. 冬眠心肌数量与冠心病患者心肌存活状况及左心室功能的关系[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2021, 23(2): 156-159
- [23] Yu H, Yang H. Effect of early home-based exercise for cardiac rehabilitation on the prognosis of patients with acute myocardial infarction after percutaneous coronary intervention [J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(7): 7839-7847
- [24] 贾思, 邓海霞, 吴瑞华, 等. 基于网络药理学探究参附注射液治疗心肌顿抑的作用机制[J]. *中国中医急症*, 2021, 30(3): 391-395
- [25] Smyth B, Chan CT, Grieve SM, et al. Response to: Loutradis et al. Longer Dialysis Sessions Improve Cardiac Systolic Function by Reducing Myocardial Stunning[J]. *J Card Fail*, 2020, 26(11): 1028-1029
- [26] Heusch G. Myocardial stunning and hibernation revisited[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(7): 522-536
- [27] Cauwenberghs N, Tabassian M, Thijs L, et al. Area of the pressure-strain loop during ejection as non-invasive index of left ventricular performance: a population study[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2019, 17(1): 15
- [28] 李亚南, 崔存英, 刘园园, 等. 左室压力-应变环评估慢性心力衰竭患者左心室心肌做功的价值[J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(1): 13-18
- [29] 姬冰, 袁建军. 超声压力-应变环技术评估心肌做功研究进展[J]. *中国医学影像技术*, 2020, 36(10): 1579-1583
- [30] Chan J, Edwards NFA, Khandheria BK, 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