

❖ 心脏、血管影像学

Ultrasonic left ventricular pressure strain loop for observation on hypertrophic cardiomyopathy

ZHAO Miao, ZHONG Delin, SHEN Yan, LI Muzi, LI Li, ZUO Rongyu, LEI Min,
ZHANG Lulu, WANG Yejuan, LUO Zhiling*

(Department of Ultrasound Imaging, Fuwai Yunnan Cardiovascular Hospital,
Kunming 650000, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of left ventricular pressure strain loop (PSL) technique for evaluation on left ventricular systolic function in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM), and to evaluate the correlations of myocardial work (MW) parameters with routine diastolic systolic function and left ventricular strain parameters. **Methods**

A total of 43 patients with HCM (HCM group) and 49 healthy volunteers (control group) were enrolled. Conventional ultrasound parameters, strain parameters and MW parameters were obtained and compared between groups. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn, and the area under the curve (AUC) was calculated to evaluate the effectiveness of parameters for diagnosing HCM. Pearson or Spearman correlation analysis was performed to evaluate the correlation of conventional ultrasonic parameters, strain parameters and MW parameters. Multiple linear regression analysis was used to screen parameters independently related to MW. **Results** Interventricular septum thickness at end-diastolic (IVSD), left ventricular posterior wall thickness at end-diastolic (LVPWD), left atrial diameter (LAD), left atrial volume index (LAVI), the A peak flow rate, E/A, E/e', left ventricular circumferential strain in subendocardial myocardium (CS-Endo), left ventricular global torsion strain (Twist), peak strain dispersion (PSD) and global wasted work (GWW) in HCM group were significantly higher than those in control group (all $P < 0.05$), while early diastolic mitral annulus Lateral wall (Lateral e') and ventricular Septal velocity (Septal e'), e' flow rate, left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), left ventricular end-systolic volume (LVESV), left ventricular circumferential strain in middle myocardium (CS-Mid), circumferential strain in subepicardial myocardium (CS-Epi), left ventricular global and layered longitudinal strain, global work index (GWI) and global work efficiency (GWE) in HCM group were all significantly lower than those in control group (all $P < 0.05$). MW parameters left ventricular global longitudinal strain (LVGLS) and PSD were highly effective for diagnosing HCM (all $AUC > 0.80$). In control group, MW parameters were moderately correlated with traditional systolic and diastolic function parameters, LVGLS and PSD, and all had independent correlations (all $P < 0.05$). In HCM group, the global and layered strain in different directions, PSD and A peak flow rate were low or moderately correlated with MW parameters, also had independent correlations (all $P < 0.05$). **Conclusion** Ultrasonic PSL technique could noninvasively assess left ventricular systolic function of HCM patients. MW parameters were correlated with traditional diastolic and systolic function parameters as well as left ventricular strain parameters.

[Keywords] cardiomyopathy, hypertrophic; echocardiography

DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2021.12.016

[基金项目] 国家自然科学基金地区科学基金项目(31960133)、云南省阜外心血管病医院院级科研基金项目(2020YFKT-Y-02)。

[第一作者] 赵苗(1997—),女,云南曲靖人,在读硕士,医师。研究方向:二尖瓣的三维超声研究。E-mail: 1129010884@qq.com

[通信作者] 骆志玲,云南省阜外心血管病医院超声影像科,650000。E-mail: luozhilingpaper1@163.com

[收稿日期] 2020-11-30 **[修回日期]** 2021-06-29

超声左心室压力-应变环评价肥厚型心肌病

赵 苗, 钟德琳, 沈 艳, 李慕子, 李 丽, 左镭宇, 雷 敏,

张露露, 王叶娟, 骆志玲*

(云南省阜外心血管病医院超声影像科, 云南 昆明 650000)

[摘要] **目的** 观察超声左心室压力-应变环(PSL)评价肥厚型心肌病(HCM)患者左心室收缩功能的价值, 评价心肌做功(MW)参数与常规舒张收缩功能、左心室应变参数间的相关性。**方法** 纳入 43 例 HCM 患者(HCM 组)与 49 名健康志愿者(对照组), 比较组间常规超声参数、应变参数和 MW 参数。绘制受试者工作特征(ROC)曲线, 计算曲线下面积(AUC), 评价各参数诊断 HCM 的效能。采用 Pearson 或 Spearman 相关分析评估常规超声参数、应变参数与 MW 参数间的相关性, 以多元线性回归分析与 MW 独立相关的参数。**结果** HCM 组室间隔舒张末期厚度(IVSD)、左心室后壁舒张末期厚度(LVPWD)、左心房前后径(LAD)、容积指数(LAVI)、A 峰流速、E/A、E/e'、左心室心内膜下心肌圆周应变(CS-Endo)、左心室整体扭转应变(Twist)、峰值应变离散度(PSD)及整体无效功(GWW)均明显高于对照组(P 均 <0.05), 舒张早期二尖瓣环侧壁(Lateral e')、室间隔运动速度(Septal e')、e'、左心室舒张末期容积(LVEDV)、收缩末期容积(LVESV)、左心室中层心肌(CS-Mid)、心外膜下心肌圆周应变(CS-Epi)、左心室整体纵向及分层应变、整体做功指数(GWI)、整体做功效率(GWE)均明显低于对照组(P 均 <0.05)。MW 指标、左心室整体纵向应变(LVGLS)及 PSD 诊断 HCM 的效能均较高(AUC 均 >0.80)。对照组 MW 参数与传统收缩舒张功能参数、LVGLS 及 PSD 多呈中度相关, 且具有独立相关性(P 均 <0.05); HCM 组不同方向整体和分层应变、PSD 及 A 峰流速均多与 MW 参数呈低度及以上相关, 且具有独立相关性(P 均 <0.05)。**结论** 超声 PSL 技术可无创评估 HCM 患者左心室收缩功能; MW 参数与常规舒张收缩功能、左心室应变参数具有一定相关性。

[关键词] 心肌病, 肥厚型; 超声心动描记术

[中图分类号] R542.2; R540.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2021)12-1824-06

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)表现为不同程度心肌肥大和心肌功能受损, 具有心肌细胞排列紊乱、细胞外间质纤维化及微循环障碍等病理特征^[1]。HCM 病程早期左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)常不减低; 此时左心室整体纵向应变(left ventricular global longitudinal strain, LVGLS)可较 LVEF 更敏感地检出 HCM 早期亚临床收缩功能障碍^[2], 但易受左心室后负荷影响。左心室压力-应变环(pressure strain loop, PSL)整合了左心室收缩压及纵向应变, 可无创评估心肌做功(myocardial work, MW), 且克服了负荷依赖性^[3], 已用于研究高血压及缺血性心肌病等^[4-5]。本研究观察 PSL 评价 HCM 患者左心室收缩功能的价值, 评价 MW 参数与常规收缩舒张功能、左心室应变参数间的相关性。

1 资料与方法

1.1 研究对象 纳入 2019 年 7 月—2020 年 1 月 43 例于云南省阜外心血管病医院诊断为 HCM 的患者, 男 36 例, 女 7 例, 年龄 14~83 岁, 平均(51.2±15.7)岁。参照现行指南^[6]标准诊断 HCM。排除标准: ①

中、重度瓣膜性心脏病、冠状动脉疾病、先天性心脏病、心内膜炎、心包疾病或其他心肌疾病; ②合并高血压且未经系统控制。纳入同期 49 名于本院体检的健康志愿者为对照组, 男 19 名, 女 30 名, 年龄 29~71 岁, 平均(40.8±8.9)岁。检查前受试者均签署知情同意书。**1.2 仪器与方法** 采用 GE Vivid E95 超声诊断仪, M5S 探头, 频率 1.5~4.6 MHz, 配备 EchoPAC 工作站。由 2 名具有 5 年以上工作经验的超声科医师测量室间隔舒张末期厚度(interventricular septum thickness at end-diastolic, IVSD)、左心室后壁舒张末期厚度(left ventricular posterior wall thickness at end-diastolic, LVPWD)、左心房前后径(left atrial diameter, LAD)、左心房容积指数(left atrial volume index, LAVI)、舒张早期二尖瓣峰值流速(E)、舒张晚期二尖瓣峰值流速(A)、E/A、舒张早期二尖瓣环侧壁运动速度(Lateral e')及室间隔运动速度(Septal e'), 计算二者的平均值(e')及 E/e'; 以双平面辛普森法测量左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)、左心室收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV)及 LVEF。

启动 EchoPAC 工作站描记胸骨旁短轴切面,系统自动计算左心室整体圆周应变(left ventricular global circumferential strain, LVGCS)、心内膜下心肌(circumferential strain in subendocardial myocardium, CS-Endo)、中层心肌(circumferential strain in middle myocardium, CS-Mid)、心外膜下心肌(circumferential strain in subepicardial myocardium, CS-Epi)圆周应变、左心室整体径向应变(left ventricular global radial strain, LVGRS)及左心室整体扭转应变(Twist);描记心尖切面,得到 LVGLS、心内膜下心肌(longitudinal strain in subendocardial myocardium, LS-Endo)、中层心肌(longitudinal strain in middle myocardium, LS-Mid)、心外膜下心肌(longitudinal strain in subepicardial myocardium, LS-Epi)纵向应变及峰值应变离散度(peak strain dispersion, PSD);勾画心尖三腔、四腔及两腔切面,输入即时血压,软件自动计算整体 MW 参数,包括整体做功指数(global work index, GWI)、整体有用功(global constructive work, GCW)、整体无用功(global wasted work, GWW)及整体做功效率(global work efficiency, GWE)。每名医师测量 2 次,取平均值作为结果。见图 1、2。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,行 t 检验;以中位数(四分位间距)表示不符合正态分布的计量资料,行 Mann-Whitney U 检验;以频数表示计数资料,行 χ^2 检验。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评价各参数诊断 HCM 的效能。采用 Pearson 或 Spearman 相关系数评估常规超声参数、应变参数与 MW 参数间的相关性, $|r| \geq 0.8$ 为高度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关, $0.3 \leq |r| < 0.5$ 为低度相关, $|r| < 0.3$ 为弱相关。多元线性回归分析与 MW 独立相关的参数。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 HCM 组男性占比及年龄均高于对照组(P 均 < 0.05),组间体表面积及血压差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),见表 1。

2.2 超声心动图参数 HCM 组 IVSD、LVPWD、LAD、LAVI、A 峰流速、E/A 及 E/e' 均明显高于对照组(P 均 < 0.05),Lateral e'、Septal e'、e'、LVEDV 及 LVESV 均明显低于对照组(P 均 < 0.05)。组间 E 峰流速及 LVEF 差异均无统计学意义(P 均 > 0.05),见表 2。

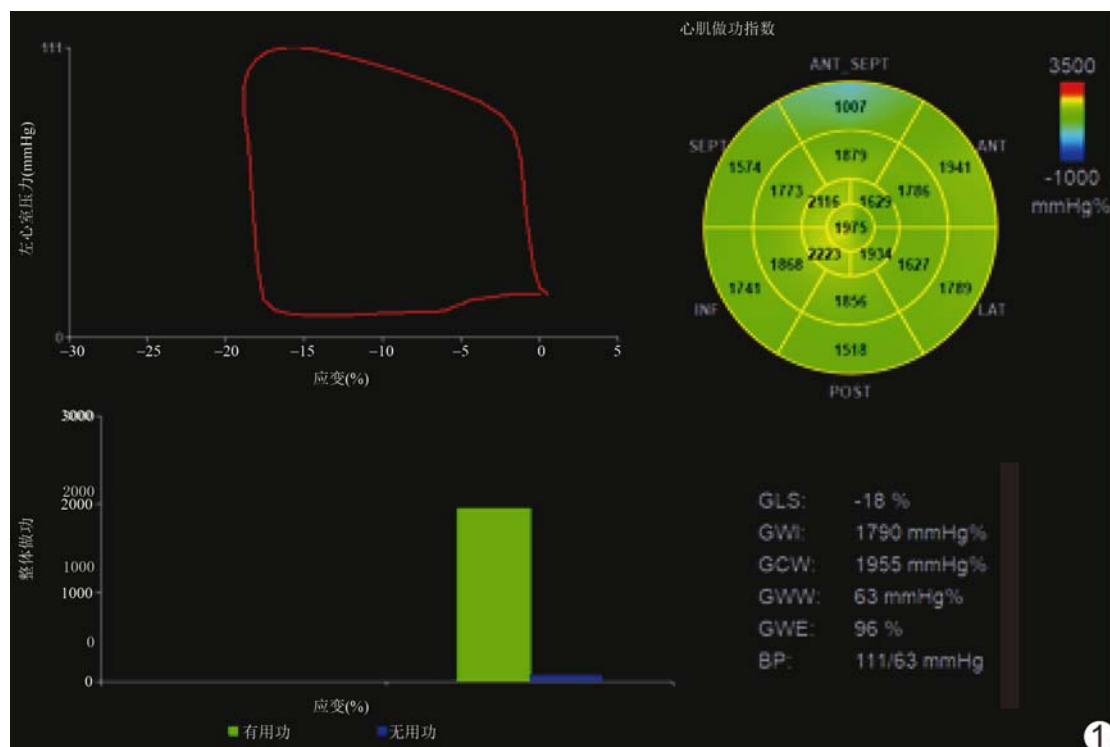


图 1 志愿者男, 38 岁, 对照组 左心室 PSL 图

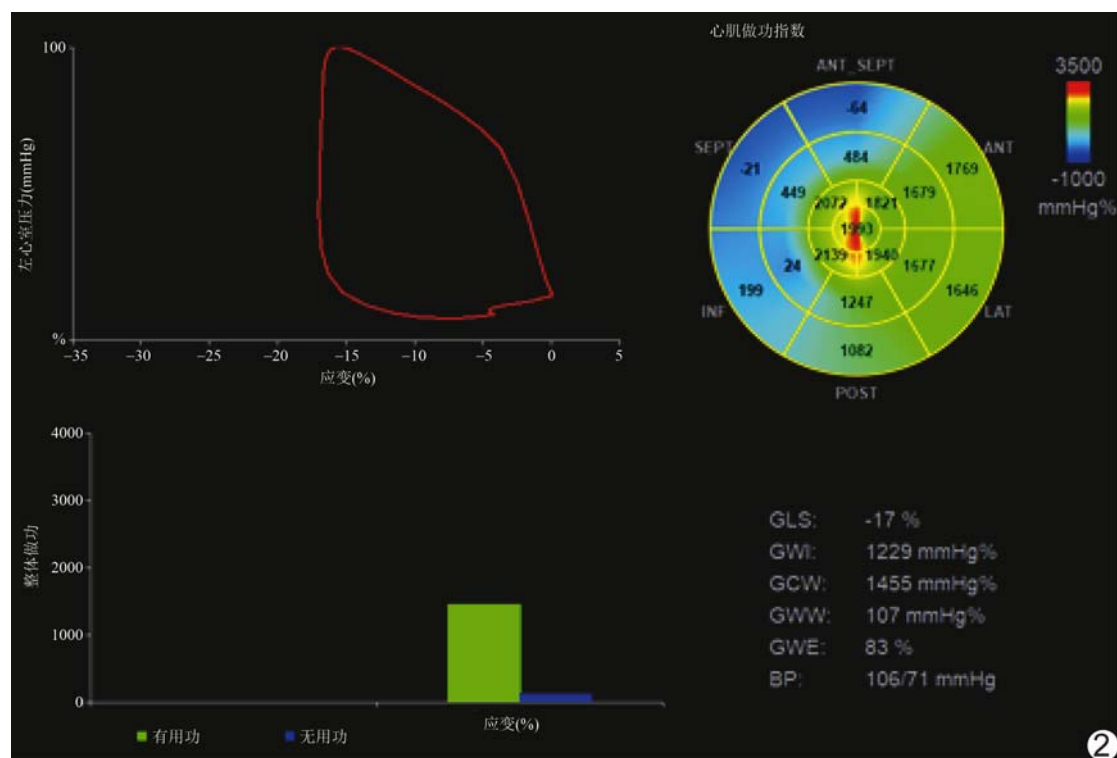


图2 患者男,35岁,HCM组 左心室PSL图

表1 HCM组与对照组基本资料比较

组别	男/女(例/名)	年龄(岁)	体表面积(m ²)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
HCM组(n=43)	36/7	51.2±15.7	1.71±0.19	121.93±14.35	75.79±8.76
对照组(n=49)	19/30	40.8±8.9	1.72±0.19	121.31±14.46	73.67±10.18
t/χ ² 值	3.98	4.31	-0.07	0.21	1.07
P值	<0.01	0.04	0.94	0.84	0.29

表2 HCM组与对照组常规超声心动图参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	IVSD(mm)	LVPWD(mm)	LAD(mm)	LAVI(ml/m ²)	E(m/s)	A(m/s)	E/A
HCM组(n=43)	17.05±4.89	10.37±2.65	35.96±7.36	43.61±16.89	73.47±19.74	77.86±27.85	0.93(0.71)
对照组(n=49)	8.04±1.49	7.39±1.34	30.65±4.19	30.62±9.17	79.18±16.05	61.19±16.66	1.32(0.54)
t/Z值	16.02	6.95	4.30	4.55	-1.51	3.51	-2.90
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.13	<0.01	<0.01

组别	Lateral e'(cm/s)	Septal e'(cm/s)	e'(cm/s)	E/e'	LVEDV(ml)	LVESV(ml)	LVEF(%)
HCM组(n=43)	6.48±2.27	5.17±1.85	5.69±2.08	13.97±5.99	60.19±16.66	19.21±6.51	67.19±9.19
对照组(n=49)	14.64±3.59	10.71±2.53	11.62±4.50	6.53±1.43	76.5±18.42	24.78±7.54	67.13±7.40
t/Z值	-12.59	-11.73	-7.93	8.08	-4.36	-3.72	0.03
P值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.98

HCM组CS-Endo、Twist、PSD及GWW均明显高于对照组(P 均 <0.05),CS-Mid、CS-Epi、LVGLS、LS-Endo、LS-Mid、LS-Epi、GWI、GWE及GCW均明显低于对照组(P 均 <0.05)。组间LVGCS及LVGRS差异均无统计学意义(P 均 >0.05),见表3。

2.3 诊断效能 MW指标、LVGLS及PSD诊断

HCM的效能均较高,见表4。

2.4 相关性分析 对照组GWI与收缩压、LVEF、LVGLS呈中度相关,GWE与LVEF、Septal e'、Lateral e'、LVGLS、PSD、GCW与年龄、收缩压,GWW与Lateral e'、PSD均呈中度相关($0.5 \leq |r| < 0.8$, P 均 <0.01);多元线性回归分析显示,GWI与收缩压、LVGLS,GWE与

表 3 HCM 组与对照组 PSL 参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	LVGCS(%)	CS-Endo(%)	CS-Mid(%)	CS-Epi(%)	Twist(%)	LVGRS(%)	LVGLS(%)	LS-Endo(%)
HCM 组($n=43$)	25.30±4.10	39.09±6.78	23.08±4.01	13.71±2.88	29.39±11.3	32.40±9.61	15.66±3.85	20.64±4.75
对照组($n=49$)	26.78±2.87	36.44±3.46	25.43±3.02	18.81±3.26	20.51±6.65	35.36±12.11	20.78±1.9	24.08±2.38
t 值	-1.80	2.22	-2.84	-7.80	3.70	-1.29	-8.25	-3.76
P 值	0.08	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.20	<0.01	<0.01

组别	LS-Mid(%)	LS-Epi(%)	PSD(ms)	GWI(mmHg%)	GCW(mmHg%)	GWW(mmHg%)	GWE(%)
HCM 组($n=43$)	16.3±4.42	13.23±4.08	91.37±23.21	1353.86±426.73	1592.16±435.1	140.72±59.40	88.31±4.49
对照组($n=49$)	20.8±1.92	18.19±1.48	41.52±9.42	2110.08±351.61	2312.29±326.41	80.96±48.70	96.06±1.73
t 值	-5.79	-7.45	13.80	-9.20	-8.88	-5.20	-11.36
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 4 PSL 参数诊断 HCM 效能

参数	AUC(95%CI)	截断值	敏感度(%)	特异度(%)
LVGLS	0.89(0.82, 0.96)	17.90%	69.77	95.92
PSD	0.97(0.95, 1.00)	59.18 ms	93.02	93.88
GWI	0.91(0.85, 0.97)	1659.00 mmHg%	76.74	89.80
GWE	0.95(0.90, 1.00)	93.00%	90.70	93.88
GCW	0.91(0.85, 0.98)	1985.00 mmHg%	88.37	85.71
GWW	0.82(0.73, 0.91)	98.00 mmHg%	76.74	79.59

Septal e' 、9LVGLS、GCW 与收缩压、LVGLS、GWW 与收缩压、LVEF、Septal e' 、LVGLS 均具有独立相关性(P 均<0.05)。

HCM 组 GWI 和 GCW 均与 LS-Endo、LS-Mid、LS-Epi 呈中度相关($0.5 \leq |r| < 0.8$, P 均<0.01), 与 LVGLS 呈高度相关($|r| \geq 0.8$, P 均<0.01); GWE 与 LVGLS、PSD 呈中度相关($0.5 \leq |r| < 0.8$, P 均<0.01); GWI、GWE 和 GCW 与 CS-Mid、CS-Epi、LVGCS 及 LVGRS 均呈低度及以上相关($|r| \geq 0.3$, P 均<0.01); GWI 和 GCW 与 A 峰流速、Twist 呈低度相关($0.3 \leq |r| < 0.5$, P 均<0.05)。多元线性回归分析显示, GWI 和 GCW 与 A 峰流速、LVGLS、GWE 与 LVGRS、LVGLS、PSD、GCW 与收缩压、A 峰流速、LVGLS、GWW 与 PSD 均具有独立相关性(P 均<0.05)。

3 讨论

HCM 舒张功能障碍通常早于收缩功能受损。本研究 HCM 组 LVEF 与对照组无明显差异, 但舒张功能明显减低; LAD 增大、室壁增厚、LVEDV 及 LVESV 减小, 提示 HCM 患者室壁增厚导致左心室腔减小, 且左心室顺应性下降、左心室充盈压升高, 最终致左心房增大。

本研究发现 HCM 组分层及 LVGLS、CS-Mid 和 CS-Epi 均明显减低, CS-Endo 及 Twist 增加, 与既往

研究^[7-8]相符; 提示基于斑点追踪应变指标评估左心室收缩功能较 LVEF 更为敏感, 同时可观察心肌应变的分层特异性。LVGLS 可用于评估 HCM 患者心肌功能及长期预后^[9], 但可能受左心室负荷影响; MW 在 LVGLS 基础上整合了左心室收缩压, 并克服了负荷耐受性。本研究 HCM 组 GWI、GWE 及 GCW 均明显低于对照组, GWW 明显高于对照组, 提示 HCM 患者左心室心肌功能受损, 且 MW 参数可有效识别 LVEF 正常的亚临床左心室功能障碍, 诊断效能较高。

本研究对照组 MW 参数主要与收缩压、LVEF、LVGLS、Septal e' 、Lateral e' 及 PSD 呈中度相关, 除 Lateral e' 外, 其余参数均与 MW 保持独立相关性, 与既往研究^[10]相符; HCM 组 MW 参数与 LVEF 均无显著相关, 与不同方向心肌整体及分层应变参数具有相关性, 提示 HCM 患者不同方向心肌变形能力对左心室心肌做功的重要性, 而 GWE 与 LVGRS、LVGLS 独立相关, 提示除 LVGLS 外, HCM 患者左心室心肌径向收缩对左心室做功同样具有重要意义。PSD 是 GWW 增加的唯一独立相关因素, HCM 使心肌非均匀增厚, 肥厚区域与非肥厚区域左心室心肌收缩时间明显不同^[11-12], PSD 增加导致左心室无效收缩增加; HCM 组 PSD 显著高于对照组, 提示 HCM 患者左心室各节段心肌应变达峰时间不一; 以 PSD>59.18 ms 预测 HCM 的敏感度为 93.02%, 特异度为 93.88%, 以上结果均提示 PSD 增加是 HCM 重要特征之一, 且为影响 HCM 患者心肌做功的重要因素。

本研究 HCM 组 GWI、GCW 与 A 峰流速独立相关。生理条件下, 左心房可通过储器功能、导管功能和泵功能调节左心室, 其对左心室每搏输出量的贡献分别为 40%、35% 及 25%。E 峰流速主要反映左心房储器和导管功能, A 峰流速主要反映左心房泵功能。HCM 使左心室和左心房重塑, 致左心房各时相功能对每搏输出量的相对贡献发生改变; HCM 组 GWI 与

A 峰流速轻度相关的机制可能是左心房储器功能受左心室纵轴应变影响,而左心房导管功能取决于左心室舒张功能,HCM 患者 LVGLS 降低、舒张功能受损致左心房导管和储器功能受损,泵功能代偿性增加。

综上,超声 PSL 技术可无创评估 HCM 患者左心室收缩功能,MW 参数与常规舒张收缩功能、左心室应变参数间具有一定相关性。受限于样本量,本研究未能进一步观察梗阻性和非梗阻性 HCM 患者左心室做功的差异,有待完善。

[参考文献]

- [1] ALASHI A, DESAI R M, KHULLAR T, et al. Different histopathologic diagnoses in patients with clinically diagnosed hypertrophic cardiomyopathy after surgical myectomy [J]. *Circulation*, 2019, 140(4):344-346.
- [2] BAUDRY G, MANSENCAL N, REYNAUD A, et al. Global and regional echocardiographic strain to assess the early phase of hypertrophic cardiomyopathy due to sarcomeric mutations [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(3):291-298.
- [3] 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.
- [4] CHAN J, EDWARDS N F A, 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.
- [5] 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.
- [6] Grupa Robocza Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego (ESC) do spraw rozpoznawania i postępowania w kardiomiopatii przerostowej, ELLIOTT P M, ANASTASAKIS A, et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Kardiologia Pol*, 2014, 72(11):1054-1126.
- [7] OZAWA K, FUNABASHI N, TAKAOKA H, et al. Characteristic myocardial strain identified in hypertrophic cardiomyopathy subjects with preserved left ventricular ejection fraction using a novel multi-layer transthoracic echocardiography technique [J]. *Int J Cardiol*, 2015, 184:237-243.
- [8] OKADA K, YAMADA S, IWANO H, et al. Myocardial shortening in 3 orthogonal directions and its transmural variation in patients with nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Circ J*, 2015, 79(11):2471-2479.
- [9] TOWER-RADER A, MOHANANEY D, TO A, et al. Prognostic value of global longitudinal strain in hypertrophic cardiomyopathy: A systematic review of existing literature [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(10):1930-1942.
- [10] MANGANARO R, MARCHETTA S, DULGHERU R, et al. Correlation between non-invasive myocardial work indices and main parameters of systolic and diastolic function: Results from the EACVI NORRE study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(5):533-541.
- [11] HAYASHIDA W, KUMADA T, KOHNO F, et al. Left ventricular regional relaxation and its nonuniformity in hypertrophic nonobstructive cardiomyopathy [J]. *Circulation*, 1991, 84(4):1496-1504.
- [12] XING B, CAO A, SUN W, et al. Relationship between left ventricular diastolic dyssynchrony and systolic dyssynchrony in hypertrophic cardiomyopathy by single-cardiac real-time three-dimensional ultrasonography [J]. *Exp Ther Med*, 2018, 15(4):3769-3774.