

• 临床研究 •

运用超声心动图多模态参数评估肥厚型心肌病患者早期左心室功能变化

张艳娟¹, 王璎璁², 赵迪¹, 吴红平¹, 孙伟¹, 雍永宏^{1*}¹南京医科大学第一附属医院心血管内科, ²老年医学科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的: 运用超声心动图的多模态参数评估肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)患者早期左心室收缩及舒张功能的变化。方法: 选取2019年10月—2021年6月在南京医科大学第一附属医院门诊就诊的HCM患者共54例, 其中包括非梗阻性HCM患者34例和梗阻性HCM患者20例, 同时选择30例正常人作为对照组, 运用超声心动图的多模态参数, 比较3组间左心室收缩及舒张功能的变化。结果: HCM患者左室收缩功能及舒张功能均降低, 其中梗阻性HCM患者左心室整体长轴应变(global longitudinal strain, GLS)、整体做功指数(global work index, GWI)、整体有效功(global constructive work, GCW)、整体做功效率(global work efficiency, GWE)降低更为明显, 整体无效功(global waste work, GWW)在3组间差异无统计学意义。结论: 超声心动图的多模态参数可以早期全面地评价HCM患者左室收缩及舒张功能的受损情况, 为临床诊疗及预后提供重要依据。

[关键词] 压力-应变环; 肥厚型心肌病; 左心室做功; 左心室舒张功能**[中图分类号]** R445.1**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2025)02-240-06**doi:** 10.7655/NYDXBNSN241008

Assessment of early left ventricular functional changes in HCM patients by multimodality echocardiographic parameters

ZHANG Yanjuan¹, WANG Yingying², ZHAO Di¹, WU Hongping¹, SUN Wei¹, YONG Yonghong^{1*}¹Department of Cardiology, ²Department of Geriatrics, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** The aim of this study was using multimodality echocardiographic parameters to evaluate early changes in systolic and diastolic functions of left ventricle in patients with hypertrophic cardiomyopathy (HCM). **Methods:** A total of 54 HCM patients were selected, including 34 with non-obstructive HCM patients and 20 with obstructive HCM patients, who visited the outpatient department of the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University from October 2019 to June 2021. Additionally, 30 healthy individuals were chosen as a control group. Multimodality echocardiographic parameters were used to compare the changes in left ventricular systolic and diastolic functions among three groups. **Results:** HCM patients exhibited reduced left ventricular systolic and diastolic function. Obstructive HCM patients showed more significant reduction in global longitudinal strain (GLS), global work index (GWI), global constructive work (GCW), and global work efficiency (GWE). The difference in global waste work (GWW) among the three groups was not statistically significant. **Conclusion:** Multimodality echocardiographic parameters can comprehensively evaluate the early impairment of left ventricular systolic and diastolic functions in HCM patients, providing important basis for clinical diagnosis, treatment, and prognosis as early as possible.

[Key words] pressure-strain loop; hypertrophic cardiomyopathy; left ventricular work; left ventricular diastolic function

[J Nanjing Med Univ, 2025, 45(02): 240-244, 259]

[基金项目] 国家自然科学基金(82270362)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: yongyonghong@163.com (ORCID: 0009-0004-4957-9073)

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是一种常染色体显性遗传的心血管疾病,其主要特征是无法用后负荷增加来解释的左心室非对称性肥厚^[1]。根据左室流出道(left ventricular outflow tract, LVOT)的压力将HCM分为肥厚型非梗阻性心肌病(hypertrophic nonobstructive cardiomyopathy, NO-HOCM)和肥厚型梗阻性心肌病(hypertrophic obstructive cardiomyopathy, HOCM)两大类,当静息或负荷状态下LVOT的压力阶差 ≥ 30 mmHg时,定义为HOCM^[2]。准确评估HCM患者左心室的收缩及舒张功能对于临床治疗和预后具有重要指导作用。超声心动图是用来评估心功能的一种常用的检查手段,其中舒张功能参数包括左房大小、间隔和侧壁 e' 、 E/e' 及三尖瓣反流速度等^[3],收缩功能参数包括左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左室整体纵向应变(left ventricular global longitudinal strain, LV-GLS)等。但收缩功能参数没有考虑后负荷对收缩功能的影响^[4],而LVOT的压力影响HCM患者的临床症状及预后,因此后负荷对于收缩功能的评估是不可缺少的。目前运用斑点追踪的压力-应变环(pressure-strain loop, PSL)技术结合了左心室后负荷的影响,可以更准确地评估左心室的收缩功能^[5]。

本研究的目的是运用超声心动图的多模态参数评估HCM患者(包括HOCM和NO-HOCM)早期左心室收缩功能及舒张功能的变化。由于HCM患者左心室的后负荷不仅来自肱动脉收缩压, LVOT也存在压力阶差,因此本研究参照Fortuni提出的方法^[6], HCM患者左心室的后负荷是LVOT的平均压力阶差加上肱动脉收缩压。

1 对象和方法

1.1 对象

入选2019年10月—2021年6月在南京医科大学第一附属医院就诊的HCM患者54例,包括NO-HOCM组34例和HOCM组20例。HCM的诊断标准参照最新的指南^[1],静息或负荷状态下LVOT的压力阶差 ≥ 30 mmHg定义为HOCM。对于静息状态下LVOT压力阶差 < 30 mmHg的HCM患者,采用多巴酚丁胺负荷试验判断是否存在隐匿性梗阻。排除标准:①严重的心脏瓣膜病、心律失常;②无法控制的高血压、冠心病、心力衰竭;③图像质量欠佳。同时入选30例性别、年龄相匹配的正常人作为对照组。本研究经医院伦理委员会批准(批号:2020-SR-

079),患者均知情同意。

1.2 方法

1.2.1 数据采集

采用GE Vivid E95超声诊断仪,配有M5S探头以及EchoPAC 203超声图像分析工作站。所有患者均连接心电图,取左侧卧位并平静呼吸,记录3~5个连续心动周期的左心室长轴切面、心尖四腔、三腔及两腔二维灰阶图像(帧频为60~80帧/s),同时采集左心室心尖五腔切面主动脉血流频谱静态图像以及静息状态下左室流出道峰值压力阶差(left ventricular outflow tract pressure, LVOT-P)及平均压力阶差,存盘以备分析。

1.2.2 测量指标

常规测量参数:左房前后径(left atrial diameter, LAD),左房最大容积(left atrial maximal volume, LAVmax),左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVDd),左心室收缩末期内径(left ventricular end-systolic diameter, LVDs),室间隔基底段厚度(interventricular septum, IVS),左心室后壁厚度(left ventricular posterior wall, LVPW),左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI),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)以及Simpson's法估测LVEF。

左心室舒张功能参数:二尖瓣口前向血流E峰值、A峰峰值,间隔 e' ,侧壁 e' ,计算 E/e' ,同时测量三尖瓣反流速度(tricuspid regurgitation velocity, TRV)以及用体表面积标准化后的左房容积指数(left atrial volume index, LAVI)。

左心室收缩功能及做功参数:将源图像以DICOM格式导入EchoPAC软件,选择自动功能成像(automated functional imaging, AFI),调整感兴趣的区域使其围绕心肌全层,同时输入患者的收缩压及舒张压(收缩压为肱动脉收缩压+左心室流出道平均压力阶差压力^[6]),即可自动计算出左心室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、左心室心肌整体做功指数(global work index, GWI)、左心室整体有用功(global constructive work, GCW)、左心室整体无用功(global waste work, GWW),左心室整体做功效率(global work efficiency, GWE)。

1.3 统计学方法

采用SPSS20.0统计分析软件进行分析,连续计量资料根据单样本Kolmogorov-Smirnov检验判断数

据是否为正态分布,正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,3组间比较采用单因素方差分析,进一步组间两两比较采用LSD检验;计数资料用例数(百分率)[$n(\%)$]表示,组间比较采用 χ^2 检验和Kruskal-Wallis检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本信息

表1列出了所有患者的基本信息,其中年龄、身高、体重、体表面积以及血压在3组间差异无统计学意义。HCM患者心率较正常人偏低($P=0.030$)。

表1 各组间基本资料的比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics among three groups

($\bar{x} \pm s$)

Characteristics	Control group($n=30$)	NO-HOCM group($n=34$)	HOCM group($n=20$)	<i>F</i>	<i>P</i>
Age(year)	49.64 ± 10.98	59.41 ± 13.51	50.60 ± 13.71	2.469	0.099
Height(cm)	168.09 ± 7.52	166.24 ± 9.31	170.20 ± 6.44	0.754	0.478
Weight(kg)	65.55 ± 7.95	64.82 ± 12.43	67.50 ± 8.70	0.211	0.811
BSA(m ²)	1.71 ± 0.14	1.69 ± 0.20	1.75 ± 0.14	0.367	0.696
Systolic blood pressure(mmHg)	125.73 ± 9.53	127.88 ± 17.21	120.60 ± 17.19	0.708	0.499
Diastolic blood pressure(mmHg)	77.73 ± 5.42	77.88 ± 12.24	75.80 ± 10.25	0.146	0.865
HR(beats/min)	76.09 ± 10.68	66.18 ± 8.84*	64.10 ± 13.96*	3.882	0.030

BSA:body surface area; HR:heart rate; compared to the control group,* $P < 0.05$.

2.2 常规超声参数及左室舒张功能比较

表2列出了3组间常规超声参数及左室舒张功能的比较。对于HCM患者,不管是否存在左室流出道的梗阻,LAD以及LAVI均较正常人增大(P 均 < 0.05),同时间隔及侧壁 e' 、 E/e' 降低,且差异有统计学意义($P < 0.05$)。HCM患者室间隔较正常人增厚

($P < 0.05$),且HOCM患者更明显(与NO-HOCM患者相比, $P=0.034$),而HCM患者的LVMI较正常人增加(P 均 < 0.05),但在两组HCM患者间差异无统计学意义。HOCM患者的LVEF较NO-HOCM患者以及正常对照组均偏高,且差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表2 各组间基本超声参数及左室舒张功能的比较

Table 2 Comparison of conventional echocardiographic parameters and left ventricular diastolic function among three groups

($\bar{x} \pm s$)

Parameter	Control group($n=30$)	NO-HOCM group($n=34$)	HOCM group($n=20$)	<i>F</i>	<i>P</i>
LVOT-P(mmHg)	4.63 ± 1.83	6.81 ± 3.06	74.25 ± 25.21**	102.000	< 0.001
LAD(mm)	31.00 ± 2.15	41.18 ± 4.97*	40.80 ± 4.85*	21.160	< 0.001
LVDd(mm)	45.27 ± 3.35	43.71 ± 4.37	45.30 ± 4.76	0.660	0.523
LVDs(mm)	29.36 ± 2.77	28.59 ± 4.17	30.00 ± 4.27	0.440	0.647
IVS(mm)	10.00 ± 0.00	15.76 ± 1.60*	18.20 ± 5.03**	25.060	< 0.001
LVPW(mm)	10.00 ± 0.00	11.53 ± 3.06	10.00 ± 0.82	2.461	0.100
LVMI(g/m ²)	58.44 ± 10.52	116.34 ± 25.25*	123.33 ± 32.84*	24.080	< 0.001
LVEDV(mL)	79.45 ± 12.88	87.47 ± 31.69	81.00 ± 20.40	0.416	0.663
LVESV(mL)	29.27 ± 4.74	28.65 ± 10.53	29.20 ± 5.53	0.025	0.975
LVEF(%)	63.03 ± 3.08	63.93 ± 4.22	67.37 ± 3.62**	5.586	0.008
LAVI(mL/m ²)	19.43 ± 3.93	36.00 ± 19.24*	35.04 ± 7.15*	12.620	< 0.001
E(cm/s)	62.91 ± 17.87	72.47 ± 28.39	67.00 ± 23.04	0.530	0.593
A(cm/s)	66.45 ± 12.28	78.00 ± 34.37	64.60 ± 21.80	1.042	0.364
Septal e'(cm/s)	7.91 ± 3.21	4.24 ± 1.72*	4.50 ± 1.35*	10.550	< 0.001
Lateral e'(cm/s)	10.00 ± 2.86	5.88 ± 2.21*	6.10 ± 1.73*	11.970	< 0.001
E/e'	7.43 ± 2.55	16.16 ± 8.85*	13.53 ± 5.80*	5.549	0.008
TRV(cm/s)	2.30 ± 0.20	2.44 ± 0.36	2.40 ± 0.40	0.617	0.545

Compared to the control group,* $P < 0.05$; compared to the NO-HOCM group,** $P < 0.05$.

2.3 左心室收缩功能及做功参数比较

表3比较了3组左心室收缩功能及做功参数。与正常对照组相比,NO-HOCM患者LV-GLS、GWI及GCW有所下降,且差异有统计学意义($P < 0.05$),而HOCM患者LV-GLS、GWI及GCW下降更为明显($P < 0.05$),且与NO-HOCM患者相比,差异

也具有统计学意义($P < 0.05$)。NO-HOCM患者GWE较正常人低,且差异有统计学意义($P=0.005$),GWE在正常人与HOCM患者以及NO-HOCM与HOCM患者间差异均有统计学意义($P < 0.05$),HCM患者GWW偏高,但在3组间差异无统计学意义。

表3 3组左心室做功参数的比较

Table 3 Comparison of left ventricular myocardial function among three groups ($\bar{x} \pm s$)

Parameter	Control group(n=30)	NO-HOCM group(n=34)	HOCM group(n=20)	F	P
LV-GLS(%)absolute value	17.91 ± 2.21	14.00 ± 2.35*	8.80 ± 2.35**	40.940	< 0.001
GWI(mmHg%)	2 023.55 ± 271.94	1 545.94 ± 368.51*	884.00 ± 244.71**	34.690	< 0.001
GCW(mmHg%)	2 017.36 ± 296.24	1 644.88 ± 364.95*	1 046.50 ± 214.51**	25.630	< 0.001
GWW(mmHg%)	127.27 ± 36.92	167.29 ± 73.39	167.60 ± 66.68	1.576	0.221
GWE(%)	93.55 ± 2.16	87.71 ± 5.28*	82.20 ± 6.55**	13.477	< 0.001

Compared to the control group, * $P < 0.05$; compared to the NO-HOCM group, ** $P < 0.05$.

2.4 左室做功参数与LVOT压力阶差以及左室质量指数的相关性分析

本研究探讨了LVOT-P以及LVMI与左室做功

参数之前的相关性,发现LVOT-P与GWI、GCW、GWE均呈负相关(P 均 < 0.001 ,图1),LVMI与GWI、GCW呈负相关(P 均 < 0.001 ,图2)。

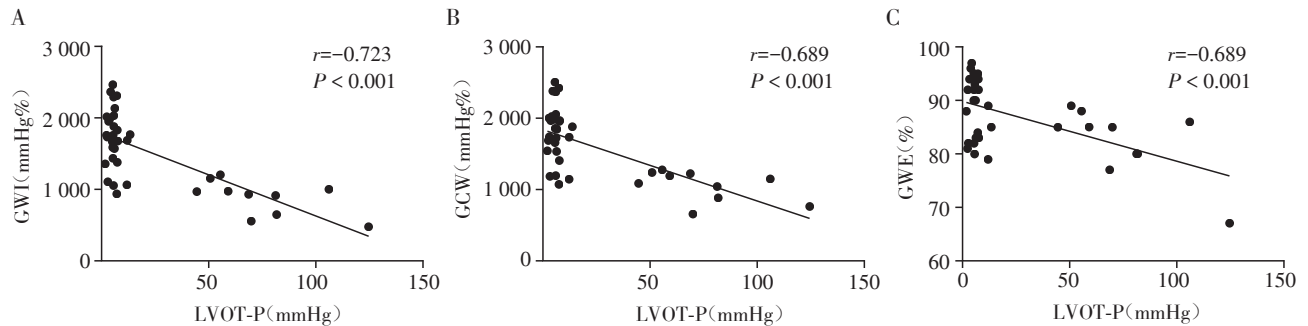


图1 LVOT-P与GWI(A)、GCW(B)及GWE(C)的相关性分析

Figure 1 Correlation analysis of LVOT-P with GWI(A), GCW(B), and GWE(C)

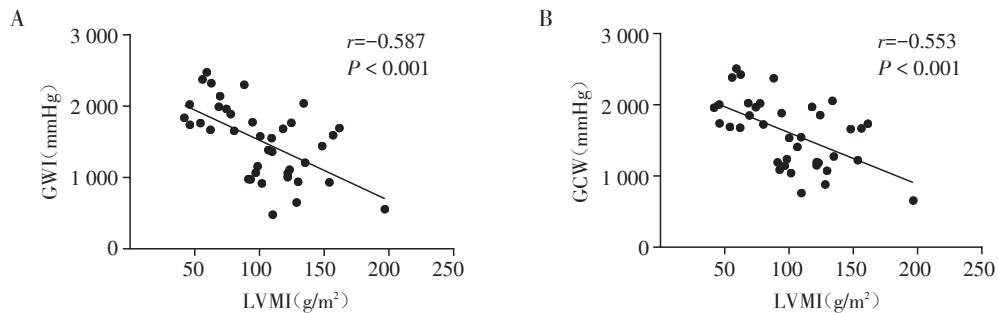


图2 LVMI与GWI(A)以及GCW(B)的相关性分析

Figure 2 Correlation analysis of LVMI with GWI(A) and GCW(B)

3 讨论

HCM是一种常见的遗传性心血管疾病,其病理

机制主要是心肌细胞肥大、排列紊乱和心肌细胞纤维化,引起室壁僵硬增加,顺应性下降,进而引起收缩和舒张功能障碍。对于HCM患者的治疗,临床

上通常给予 β 受体阻滞剂来改善心肌重构,在本研究中,HCM患者的心率较正常人偏低,与长期服用 β 受体阻滞剂有关。本研究发现,HCM患者的LVEF增高,尤其是HOCM患者明显高于NO-HOCM组和正常对照组,但是其GLS却明显低于NO-HOCM患者及正常对照组,说明HOCM患者早期LVEF的增加并不能反映左室收缩功能的真实状态,其心肌结构的改变、心肌的形变功能和心脏的整体收缩功能已经受到损伤。HCM患者的E、E/e'明显减低,心房明显增大,左室壁明显增厚伴舒张功能障碍,这与心肌间质纤维化,室壁的顺应性下降,左室舒张期充盈受限,左房压增高有关,与既往的研究一致^[7-8]。

PSL是基于二维斑点追踪技术发展的无创评估心肌功能的新方法,通过无创测量上臂袖带肱动脉血压代替左心室内动态压力,二维斑点追踪超声心动图获得左室应变曲线,将左心室应变与压力相结合,与GLS相比,它降低后负荷对心肌应变的影响,从而更准确地评估左心室心肌做功的改变。这种无创评估左室收缩功能的可靠性已在狗模型和临床各种心血管疾病患者中得到验证^[5,9-10]。Galli等^[11]研究发现PSL可以反映HCM患者左室功能受损情况,并在预测左室纤维化中有重要作用。心肌做功通过研究应变和左室压力的关系,同时考虑了左室形变和后负荷的影响,能更准确地评价心肌功能。在本研究中,左心室的后负荷除了收缩压之外,还包括左室流出道的压力,根据Fortuni等^[6]的研究结果,将左心室流出道的平均压差加上肱动脉收缩压,可以较准确地评估此状态下的左室后负荷。本研究参照该方法,发现HCM患者GWI、GCW和GWE较正常对照组降低,这表明HCM患者在LVEF保留时,心肌做功已经受损,做功效率降低,这与张苗等^[12]报道一致。原因可能是HCM患者心肌细胞肥大和纤维化导致心室重构,心脏收缩不同步,影响左室的收缩和舒张功能,导致GWI、GCW和GWE下降。HOCM较NO-HOCM的室间隔增厚更明显,心肌细胞的肥大和纤维化更加明显,同时左心室负荷较重,导致心肌做功受损更明显,GWI、GCW和GWE显著下降,该研究中也提示LVOT的压力阶差以及LVMI与GWI和GCW呈负相关,LVOT压力阶差还与GWE呈负相关。HCM的另一个重要特征是冠状动脉微血管功能障碍,可导致心肌缺血、左室重构等,这也会使得心肌的收缩和舒张功能降低,GWI、GCW和GWE降低。在疾病早期,其收缩功能还在代偿期,因此GWW没有明显改变。

本研究还发现随着GLS降低,GWI、GWE、GCW逐渐降低,GWW逐渐升高。肥厚的心肌顺应性和变形能力降低,进而影响心肌整体做功。GWW增加,同时也会增加心肌耗氧量,加重心肌重塑,最终导致心肌做功受损^[13]。

本研究仍有一些局限性。首先,样本量较小,不利于PSL技术对HCM病患者左心室功能的准确评估;其次,本研究仅从左室流出道是否梗阻进行分类,后续仍需要根据肥厚部位进行分类,更为细致地评估HCM患者早期左心室功能的变化。

综上所述,超声心动图多模态参数可以早期评价HCM患者左室收缩及舒张功能的受损情况,为临床诊疗及预后提供重要依据。

利益冲突声明:

全体作者声明没有利益冲突。

Conflict of Interests:

The authors declared no conflict of interests.

作者贡献声明:

张艳娟、王璿璞、赵迪、吴红平负责提出研究选题、设计方案、数据采集和分析;张艳娟、王璿璞负责撰写论文及修订论文;孙伟负责提供指导性支持;雍永宏负责终审论文。

Author's Contributions:

ZHANG Yanjuan, WANG Yingying, ZHAO Di, and WU Hongping contributed to the acquisition, analysis, and interpretation of the data. ZHANG Yanjuan and WANG Yingying drafted the manuscript. SUN Wei was responsible for general support. YONG Yonghong critically revised the manuscript.

[参考文献]

- [1] ELLIOTT P M, ANASTASAKIS A, BORGER M A, et al. 2014 ESC guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: the task force for the diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy of the European society of cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(39): 2733-2779
- [2] VESELKA J, ANAVEKAR N S, CHARRON P. Hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *Lancet*, 2017, 389(10075): 1253-1267
- [3] NAGUEH S F, SMISETH O A, APPLETON C P, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American society of echocardiography and the European association of cardiovascular imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(4): 277-314
- [4] CLEMMENSEN T S, EISKJÆR H, MIKKELSEN F, et al. Left ventricular pressure-strain-derived myocardial work

(下转第259页)

- (1):4807
- [42] ZHANG W Y, WANG S Y, WANG Y C, et al. Ultrasound-based radiomics nomogram for predicting axillary lymph node metastasis in early-stage breast cancer [J]. *Radiol Med*, 2024, 129(2): 211-221
- [43] MAO B, MA J D, DUAN S B, et al. Preoperative classification of primary and metastatic liver cancer via machine learning - based ultrasound radiomics [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(7): 4576-4586
- [44] WANG K, LU X, ZHOU H, et al. Deep learning radiomics of shear wave elastography significantly improved diagnostic performance for assessing liver fibrosis in chronic hepatitis B: a prospective multicentre study [J]. *Gut*, 2019, 68(4): 729-741
- [45] REN J Y, LV W Z, WANG L, et al. Dual-modal radiomics nomogram based on contrast - enhanced ultrasound to improve differential diagnostic accuracy and reduce unnecessary biopsy rate in ACR TI-RADS 4-5 thyroid nodules [J]. *Cancer Imaging*, 2024, 24(1): 17
- [46] ZHANG S J, LIU R J, WANG Y Y, et al. Ultrasound-base radiomics for discerning lymph node metastasis in thyroid cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(8): 3118-3130
- [47] DAI Q, TAO Y, LIU D M, et al. Ultrasound radiomics models based on multimodal imaging feature fusion of papillary thyroid carcinoma for predicting central lymph node metastasis [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1261080
- [48] JIANG L Q, ZHANG Z J, GUO S Y, et al. Clinical - radiomics nomogram based on contrast - enhanced ultrasound for preoperative prediction of cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma [J]. *Cancers*, 2023, 15(5): 1613
- [收稿日期] 2024-10-01
(本文编辑: 蒋 莉)

(上接第244页)

- at rest and during exercise in patients with cardiac amyloidosis [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(5): 573-582
- [5] EL MAHDIUI M, VAN DER BIJL P, ABOU R, et al. Global left ventricular myocardial work efficiency in healthy individuals and patients with cardiovascular disease [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(9): 1120-1127
- [6] FORTUNI F, BUTCHER S C, VAN DER KLEY F, et al. Left ventricular myocardial work in patients with severe aortic stenosis [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2021, 34(3): 257-266
- [7] REANT P, MIRABEL M, LLOYD G, et al. Global longitudinal strain is associated with heart failure outcomes in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Heart*, 2016, 102(10): 741-747
- [8] HALAND T F, ALMAAS V M, HASSELBERG N E, et al. Strain echocardiography is related to fibrosis and ventricular arrhythmias in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(6): 613-621
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 张 苗, 袁建军, 王一洒, 等. 压力-应变环在评价肥厚型心肌病左室心肌做功中的应用 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(7): 576-580
- ZHANG M, YUAN J J, WANG Y S, et al. Application of pressure-strain loop in evaluating left ventricular myocardial function in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Chinese Journal of Ultrasonography*, 2020, 29(7): 576-580
- [13] HUBERT A, LE ROLLE 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
- [收稿日期] 2024-09-23
(本文编辑: 蒋 莉)