

相对压成像技术评估非梗阻性肥厚型心肌病患者左心室功能的临床价值

王锐 苏叶 张莉 彭熠 尹立雪

摘要 **目的** 应用相对压成像(RPI)技术可视化观察非梗阻性肥厚型心肌病(nHCM)患者左心室内相对压差(IVPD)及相对压力梯度(IVPG)的变化情况,探讨其评估nHCM患者左心室功能的临床价值。**方法** 选取四川省人民医院心血管内科及老年心血管内科就诊的nHCM患者50例(nHCM组)和同期健康体检志愿者50例(对照组),应用RPI技术获取等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期、快速射血期左心室基底-心尖段IVPD(T-IVPD)和IVPG、左心室基底-中间段IVPD(B-M IVPD)、左心室中间-心尖段IVPD(M-A IVPD),并计算B-M IVPD与T-IVPD的比值(B-M/T IVPD),比较两组上述参数的差异;分析nHCM组舒张期与收缩期RPI参数的相关性。**结果** ①两组舒张期IVPD比较:与对照组比较,nHCM组等容舒张期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD,快速充盈期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD,心房收缩期T-IVPD、B-M IVPD均减小,快速充盈期M-A IVPD增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组等容舒张期M-A IVPD、心房收缩期M-A IVPD和B-M/T IVPD比较差异均无统计学意义;②两组收缩期IVPD比较:与对照组比较,nHCM组等容收缩期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD和快速射血期B-M IVPD、B-M/T IVPD均减小,等容收缩期M-A IVPD增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组快速射血期T-IVPD、M-A IVPD比较差异均无统计学意义;③两组舒张期及收缩期IVPG比较:与对照组比较,nHCM组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期、快速射血期IVPG均减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。相关性分析显示:快速充盈期IVPG与等容收缩期IVPG、T-IVPD,快速充盈期T-IVPD与等容收缩期IVPG、T-IVPD,快速充盈期B-M/T IVPD与等容收缩期IVPG、T-IVPD、B-M IVPD和快速射血期IVPG、T-IVPD,快速充盈期B-M/T IVPD与等容收缩期B-M IVPD,心房收缩期M-A IVPD与等容收缩期B-M IVPD、B-M/T IVPD,心房收缩期B-M/T IVPD与等容收缩期B-M/T IVPD均相关(均 $P<0.05$)。**结论** RPI技术能够定量评估nHCM患者左心室内IVPD及IVPG,其在评估nHCM患者早期左心室收缩功能及舒张功能损伤方面均具有较好的临床价值。

关键词 超声心动描记术;相对压成像;肥厚型心肌病,非梗阻性;相对压差;相对压力梯度;心室功能,左
[中图法分类号]R540.45;R541 [文献标识码]A

Clinical value of relative pressure imaging technology in evaluating left ventricular function in patients with nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy

WANG Rui, SU Ye, ZHANG Li, PENG Yi, YIN Lixue
Zunyi Medical University, Guizhou 563000, China

ABSTRACT **Objective** To explore the clinical value of relative pressure imaging (RPI) technology in evaluating left ventricular function by visually observing the changes of left ventricular intraventricular pressure differences (IVPD) and intraventricular pressure gradients (IVPG) in patients with nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy (nHCM). **Methods** A total of 50 patients with nHCM were selected from the department of cardiology and geriatric cardiology (nHCM group), and 50 contemporaneous healthy volunteers were selected as the control group in Sichuan provincial people's hospital. RPI technology was used to obtain left ventricular basal-apical segment IVPD (T-IVPD) and IVPG, left ventricular basal-middle segment IVPD (B-M IVPD) and left ventricular intermediate-apical segment IVPD (M-A IVPD) during isovolumic diastolic phase, rapid filling

phase, atrial systole phase, isovolumic systole phase, and rapid ejection phase. The ratio of B-M IVPD and T-IVPD (B-M/T IVPD) was calculated. The differences of the above parameters between the two groups were compared. The correlation between diastolic and systolic RPI parameters in nHCM group were analyzed. **Results** ① Comparison of diastolic IVPD between the two groups: compared with the control group, T-IVPD, B-M IVPD, B-M/T IVPD during isovolumic diastolic phase, T-IVPD, B-M IVPD, B-M/T IVPD during rapid filling phase, T-IVPD and B-M IVPD during atrial systole phase decreased in nHCM group, while M-A IVPD during rapid filling phase increased. The differences were statistically significant (all $P < 0.05$). There were no statistically significant differences in M-A IVPD during isovolumic diastolic phase, M-A IVPD during atrial systole phase and B-M/T IVPD during atrial systole phase between the two groups. ② Comparison of systolic IVPD between the two groups: compared with the control group, T-IVPD, B-M IVPD and B-M/T IVPD during isovolumic systolic phase, B-M IVPD and B-M/T IVPD during rapid ejection phase decreased in nHCM group, while M-A IVPD during isovolumic systolic phase increased. The differences were statistically significant (all $P < 0.05$). There were no statistically significant difference in T-IVPD and M-A IVPD during the rapid ejection phase between the two groups. ③ Comparison of diastolic and systolic IVPG between the two groups: compared with the control group, IVPG during isovolumic diastolic phase, rapid filling phase, atrial systole phase, isovolumic systole phase and rapid ejection phase decreased in nHCM patients. The differences were statistically significant (all $P < 0.05$). Correlation analysis showed: there were correlation between IVPG during rapid filling phase and IVPG, T-IVPD during isovolumic systole phase, T-IVPD during rapid filling phase and IVPG, T-IVPD during isovolumic systole phase, B-M/T IVPD during rapid filling phase and IVPG, T-IVPD, B-M IVPD during isovolumic systole phase, IVPG, T-IVPD during rapid filling phase, B-M/T IVPD during rapid filling phase and B-M IVPD during isovolumic systole phase, M-A IVPD during atrial systole phase and B-M IVPD, B-M/T IVPD during isovolumetric systole phase, B-M/T IVPD during atrial systole phase and B-M/T IVPD during isovolumic systole phase (all $P < 0.05$). **Conclusion** RPI technology can quantitatively evaluate the left ventricular IVPD and IVPG in nHCM patients, and it has good clinical value in evaluating the early left ventricular systolic function and diastolic function injury in nHCM patients.

KEY WORDS Echocardiography; Relative pressure imaging; Hypertrophic cardiomyopathy, nonobstructive; Intraventricular pressure differences; Intraventricular pressure gradients; Ventricular function, left

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是目前最常见的遗传性心血管疾病之一,其在全球成年人中的发病率为 0.2%~0.5%,其中男性略多见^[1-2]。家族中有先证 HCM 患者通常更易检出,而散发 HCM 患者通常因出现呼吸困难、心绞痛、晕厥及先兆晕厥等症状后通过相关检查才能确诊,临床发现时已经较为严重,心力衰竭是其死亡的主要原因之一。常规超声心动图是 HCM 常用的影像学检查方法,但其左心室射血分数(LVEF)通常与正常成人无异,临床难以早期检出 HCM 患者左心室收缩功能损伤。当 LVEF<50%时,表明 HCM 病程已经进入终末期,此阶段心力衰竭进展更为迅速^[3]。虽然非梗阻性肥厚型心肌病(nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy, nHCM)患者心功能 I 级占比显著高于梗阻性肥厚型心肌病患者,但 nHCM 患者心力衰竭死亡的比例更高^[4],因此采用更加优良的心功能评估技术尽早识别 nHCM 患者心功能异常对其临床干预及预后至关重要。本研究应用基于血流向量成像的相对压成像(relative pressure imaging, RPI)技术可视化测量左心室内相对压差(intraventricular pressure differences, IVPD)及相对压力梯度(intraventricular pressure gradients, IVPG),旨在探讨其评估 nHCM 患者左心室

功能的临床价值。

资料与方法

一、研究对象

选取 2021 年 9 月至 2022 年 5 月于四川省人民医院就诊的 nHCM 患者 50 例(nHCM 组),男 29 例,女 21 例,年龄 22~71 岁,平均(51.26±11.78)岁。纳入标准:nHCM 均符合《中国肥厚型心肌病管理指南 2022》^[5]及 2020 年美国心脏协会(AHA)、美国心脏病学会(ACC)指南^[6]诊断标准,即超声心动图、心脏 MRI、冠状动脉 CT 成像及心室造影等其中任意一项影像学检查测得左心室 1 个及以上心肌节段舒张末期最厚处厚度≥15 mm,当厚度≥30 mm 为左心室极度肥厚;当患者有 HCM 家族史或基因检测结果为阳性时,左心室 1 个及以上心肌节段舒张末期最厚处厚度≥13 mm 时即可确诊;安静或负荷时 nHCM 患者左心室流出道(LVOT)与主动脉峰值压力阶差<30 mm Hg(1 mm Hg=0.133 kPa)。排除标准:①常规超声心动图测得左心室收缩功能异常[LVEF<52%(男)或 53%(女)];②心脏瓣膜病、先天性心脏病、瓣膜中至重度反流、其他地方性心肌病、心律失常、高血压、糖尿病及隐匿性 nHCM 患者;③风湿免疫系统疾病、肝肾疾病及甲状腺

疾病等可能影响心功能的疾病;④图像质量不佳或无法配合检查者。另选同期我院健康体检志愿者50例作为对照组,男25例,女25例,年龄29~73岁,平均(50.40±9.46)岁;既往无心血管系统及其他系统疾病史,且常规超声心动图、心电图及实验室检查均未见明显异常。本研究经医院医学伦理委员会批准(伦审2022年第196号),入选者均知情同意。

二、仪器与方法

1.常规超声心动图检查:使用日立Aloka Lisendo 880彩色多普勒超声诊断仪,单晶体S121相控阵探头,频率1.0~5.0 MHz;配备DAS-RS1脱机及在机分析工作站。所有受检者均取左侧卧位,静息15 min后连接心电图,检测其心率。于胸骨旁左心室长轴切面获取室间隔舒张末期厚度(IVSD)、左心室后壁舒张末期厚度(LVPWD),于心尖四腔心切面获取Tei指数、二尖瓣口舒张早期和晚期血流峰值速度(E、A)、二尖瓣环侧壁侧舒张早期和晚期运动峰值速度(e、a);并计算E/A及E/e;应用双平面Simpson法测量左心室舒张末期容积(LVEDV)、左心室收缩末期容积(LVESV)及LVEF。将图像采集模式设为血流向量成像模式,分别留取3个心动周期的心尖四腔心、三腔心及两腔心切面CDFI动态图像。以上操作均由2名具有2年以上工作经验的超声医师完成,所有参数均重复测量3次取平均值。

2.RPI参数获取:于血流向量成像模式下获取心尖三腔心切面CDFI动态图像进行分析,通过时间-流量曲线结合心电图及瓣膜的开闭确定等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期;进入RPI模式,取左心室心尖及二尖瓣环连线中点并连接,记录各个时相的左心室基底-心尖段IVPD(T-IVPD)、基底-中间段IVPD(B-M IVPD)、中间-心尖段IVPD(M-A IVPD)、基底-心尖段IVPG,并计算B-M IVPD与T-IVPD的比值(B-M/T IVPD);其中,左心室基底-中间段为左心室总长度的下1/2,左心室中间-心尖段为左心室总长度的上1/2,IVPG=IVPD/左心室总长度。以上操作均由2名具有2年以上工作经验的超声医师完成,所有参数均重复测量3次取平均值。

3.重复性检验:从nHCM组中随机抽取10例,由上述同一超声医师间隔3 d再次测量各时相T-IVPD进行观察者内的重复性检验;由另一相同年资超声医师采取同样方法测量各个时相T-IVPD进行观察者间的重复性检验。

4.一般资料收集:获取年龄、性别、身高、体质量、体表面积、体质量指数、心率、收缩压、舒张压。

三、统计学处理

应用SPSS 25.0统计软件,正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组比较采用独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料以 $M(IQR)$ 表示,两组比较采用Mann-Whitney U 检验。计数资料以例或率表示,两组比较采用 χ^2 检验。相关性分析采用Pearson相关分析法或Spearman相关分析法。观察者内及观察者间的重复性检验采用组内相关系数(ICC)进行评价。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、两组一般资料比较

两组性别比、年龄、身高、体质量、体表面积、体质量指数、心率、收缩压、舒张压比较差异均无统计学意义。见表1。

二、两组常规超声心动图检查结果比较

与对照组比较,nHCM组IVSD、LVPWD、E/e、Tei指数均增大,LVEDV、LVESV、E、E/A、e、a均减小,差异均有统计学意义($P<0.05$);两组合并反流情况、LVEF和A比较差异均无统计学意义。见表2。

三、两组RPI参数比较

1.两组舒张期IVPD比较:与对照组比较,nHCM组等容舒张期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD,快速充盈期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD,心房收缩期T-IVPD、B-M IVPD均减小,快速充盈期M-A IVPD增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。两组等容舒张期M-A IVPD、心房收缩期M-A IVPD和B-M/T IVPD比较差异均无统计学意义。见图1,2和表3。

2.两组收缩期IVPD比较:与对照组比较,nHCM

表1 两组一般资料比较

组别	男/女 (例)	年龄 (岁)	身高 (cm)	体质量 (kg)	体表面积 (m ²)	体质量指数 (kg/m ²)	心率 (次/min)	收缩压 (mm Hg)	舒张压 (mm Hg)
对照组(50)	25/25	50.40±9.46	165.56±7.95	65.76±11.21	1.70±0.18	23.89±3.10	71.50±8.55	117.0±17.63	74.56±8.89
nHCM组(50)	29/21	51.26±11.78	162.68±6.94	64.70±11.16	1.67±0.17	24.40±3.60	71.90±10.25	118.0±13.95	73.92±8.63
χ^2/t 值	0.644	-0.402	1.930	0.474	0.909	-0.761	-0.212	-0.333	0.365
P 值	0.422	0.688	0.056	0.637	0.366	0.448	0.833	0.740	0.716

1 mm Hg=0.133 kPa

表2 两组常规超声心动图检查结果比较

组别	IVSD (mm)	LVPWD (mm)	LVEDV (ml)	LVESV (ml)	LVEF (%)	Tei指数	E (cm/s)	A (cm/s)	E/A	e (cm/s)	a (cm/s)	E/e	合并反流 (例)
对照组(50)	7.95±1.00	7.54±1.01	77.60±5.82	30.42±4.64	61.35±2.45	0.39±0.01	79.04±18.89	65.58±16.20	1.28±0.45	12.30±2.73	10.74±2.87	6.54±1.38	14
nHCM组(50)	19.55(1.87)	12.55(3.43)	62.82±8.53	24.86±4.49	60.29±4.80	0.53(0.13)	69.60±22.96	71.80±21.89	1.07±0.57	6.72±3.37	9.12±3.46	13.28±11.14	12
<i>t/Z/χ²</i> 值	8.620	8.468	10.120	6.093	1.387	7.014	2.245	-1.615	2.011	9.083	2.547	-4.247	0.208
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.170	0.027	0.027	0.110	0.047	<0.001	0.012	<0.001	0.648

IVSD:室间隔舒张末期厚度;LVPWD:左心室后壁舒张末期厚度;LVEDV:左心室舒张末期容积;LVESV:左心室收缩末期容积;LVEF:左心室射血分数;E:二尖瓣口舒张早期血流峰值速度;A:二尖瓣口舒张晚期血流峰值速度;E/A:二尖瓣口舒张早期血流峰值速度与二尖瓣口舒张晚期血流峰值速度的比值;e:二尖瓣环侧壁舒张早期运动峰值速度;a:二尖瓣环侧壁舒张晚期运动峰值速度;E/e:二尖瓣口舒张早期血流峰值速度与二尖瓣环侧壁舒张早期运动峰值速度的比值

组等容收缩期T-IVPD、B-M IVPD、B-M/T IVPD和快速射血期B-M IVPD、B-M/T IVPD均减小,等容收缩期M-A IVPD增大,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。两组快速射血期T-IVPD、M-A IVPD比较差异均无统计学意义。见图1,2和表4。

3. 两组IVPD图像比较:与对照组比较,nHCM组丧失了规律的从基底到心尖的压力分布;两组左心室基底-中间段的压力分布色彩差异均较中间-心尖段更加明显。见图1,2。

4. 两组B-M IVPD在T-IVPD中的占比:nHCM组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期B-M IVPD在T-IVPD中的占比分别为59%、64%、77%、55%及56%,对照组分别为68%、78%、79%、86%及74%。

5. 两组左心室基底-心尖段IVPG比较:与对照组比较,nHCM组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期IVPG均减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表5。

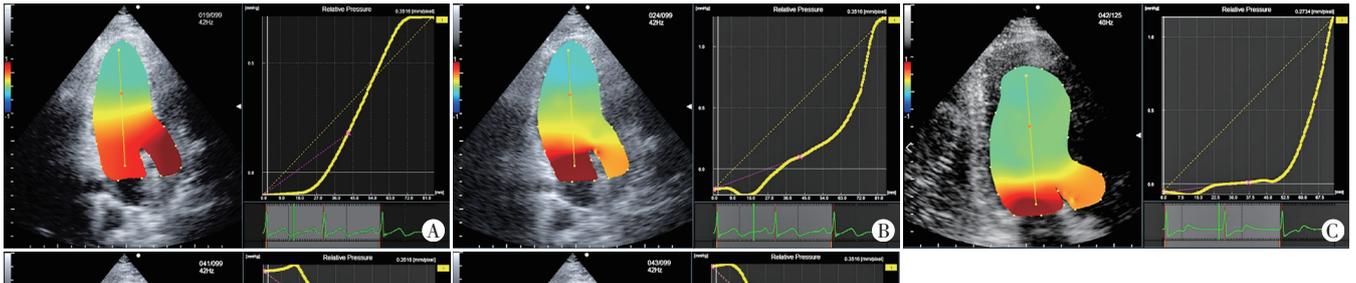


图1 对照组(46岁,男)等容舒张期(A)、快速充盈期(B)、心房收缩期(C)、等容收缩期(D)、快速射血期(E)IVPD图像

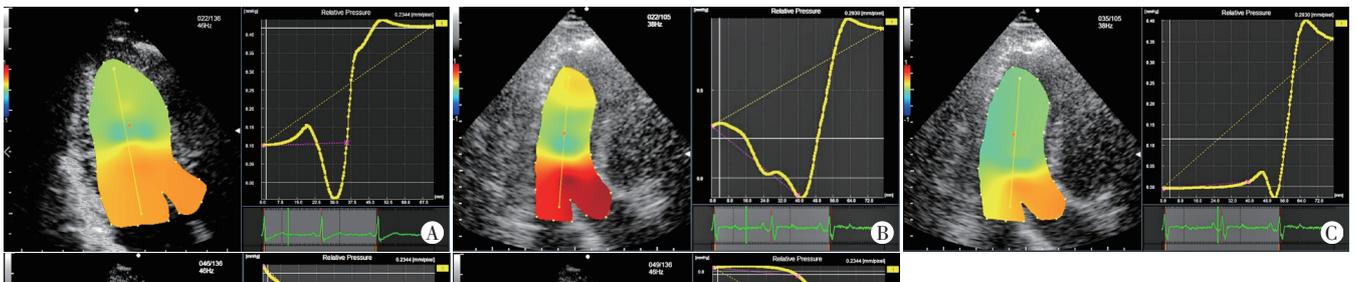


图2 nHCM组(46岁,男)等容舒张期(A)、快速充盈期(B)、心房收缩期(C)、等容收缩期(D)、快速射血期(E)IVPD图像

表3 两组舒张期IVPD比较

组别	等容舒张期				快速充盈期				心房收缩期			
	T-IVPD (mm Hg)	B-M IVPD (mm Hg)	M-A IVPD (mm Hg)	B-M/T IVPD	T-IVPD (mm Hg)	B-M IVPD (mm Hg)	M-A IVPD (mm Hg)	B-M/T IVPD	T-IVPD (mm Hg)	B-M IVPD (mm Hg)	M-A IVPD (mm Hg)	B-M/T IVPD
对照组(50)	1.18±0.48	0.80±0.35	0.28(0.29)	0.73(0.23)	1.87±0.49	1.46±0.42	0.32(0.32)	0.82(0.17)	1.58±0.45	1.25±0.41	0.25(0.28)	0.83(0.16)
nHCM组(50)	0.98±0.35	0.58(0.27)	0.36(0.35)	0.62±0.20	1.59±0.52	1.02±0.44	0.57±0.30	0.64±0.16	1.27±0.42	0.98±0.39	0.25(0.27)	0.77±0.16
t/Z值	2.374	-3.399	0.934	-2.472	0.851	5.111	3.151	-4.576	3.599	3.446	-0.541	-0.679
P值	0.020	0.010	0.350	0.013	0.008	<0.001	0.002	<0.001	0.001	0.001	0.588	0.497

T-IVPD:左心室基底-心尖段相对压差;B-M IVPD:左心室基底-中间段相对压差;M-A IVPD:左心室中间-心尖段相对压差;B-M/T IVPD:左心室基底-中间段相对压差与左心室基底-心尖段相对压差的比值。1 mm Hg=0.133 kPa

表4 两组收缩期IVPD比较

组别	等容收缩期				快速射血期			
	T-IVPD (mm Hg)	B-M IVPD (mm Hg)	M-A IVPD (mm Hg)	B-M/T IVPD	T-IVPD (mm Hg)	B-M IVPD (mm Hg)	M-A IVPD (mm Hg)	B-M/T IVPD
对照组(50)	-1.59(1.01)	-1.36±0.65	-0.34(0.27)	0.81(0.20)	-1.11±0.43	-0.82±0.47	-0.29±0.17	0.79(0.31)
nHCM组(50)	-1.26±0.45	-0.70±0.36	-0.55±0.38	0.57±0.22	-0.96±0.39	-0.54±0.31	-0.31(0.50)	0.59±0.24
t/Z值	3.820	-6.249	-2.079	-4.314	-1.828	-3.460	-1.517	-2.207
P值	<0.001	<0.001	0.038	<0.001	0.071	0.001	0.129	0.027

T-IVPD:左心室基底-心尖段相对压差;B-M IVPD:左心室基底-中间段相对压差;M-A IVPD:左心室中间-心尖段相对压差;B-M/T IVPD:左心室基底-中间段相对压差与左心室基底-心尖段相对压差的比值。1 mm Hg=0.133 kPa

表5 两组左心室基底-心尖段IVPG比较

组别	mm Hg/cm			mm Hg/cm	
	等容舒张期	快速充盈期	心房收缩期	等容收缩期	快速射血期
对照组(50)	0.16(0.10)	0.26±0.07	0.22±0.06	-0.22(0.13)	-0.16(0.07)
nHCM组(50)	0.12(0.05)	0.20±0.07	0.16±0.06	-0.16±0.06	-0.12(0.06)
t/Z值	-3.276	4.340	5.358	5.105	3.582
P值	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

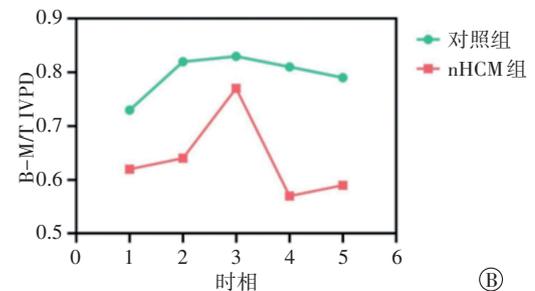
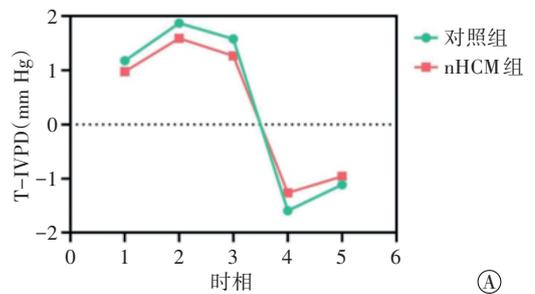
1 mm Hg=0.133 kPa

6.nHCM组RPI参数变化趋势:通过绘制趋势图发现,nHCM组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期T-IVPD、B-M IVPD、M-A IVPD、左心室基底-心尖段IVPG变化趋势与对照组相同,均呈“升高-降低-升高-降低”趋势,等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期B-M/T IVPD变化趋势也与对照组相同,但从等容收缩期到快速射血期的变化趋势却丧失了与对照组的一致性。见表6和图3。

表6 nHCM组RPI参数相对于对照组变化情况

参数	等容舒张期	快速充盈期	心房收缩期	等容收缩期	快速射血期
T-IVPD	↓	↓	↓	↓	-
左心室基底-心尖段IVPG	↓	↓	↓	↓	↓
B-M IVPD	↓	↓	↓	↓	↓
M-A IVPD	-	↑	-	↑	-
B-M/T IVPD	↓	↓	-	↓	↓

↓示降低;↑示升高;-示变化不明显

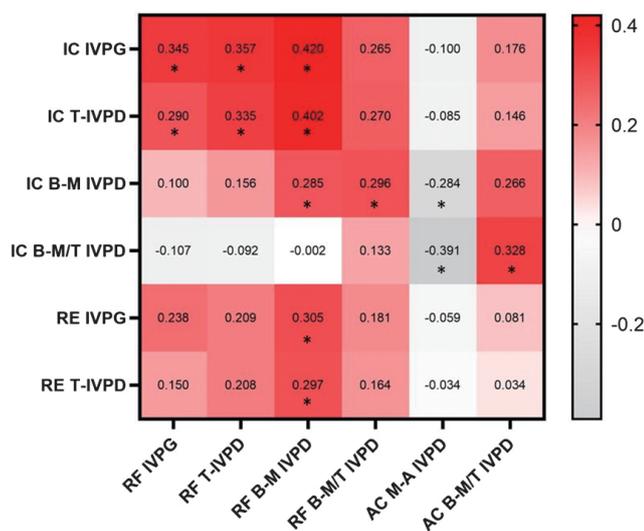


A:对照组与nHCM组T-IVPD变化趋势图;B:对照组与nHCM组B-M/T IVPD变化趋势图。1为等容舒张期;2为快速充盈期;3为心房收缩期;4为等容收缩期;5为快速射血期

图3 对照组与nHCM组RPI参数变化趋势图

四、nHCM 组舒张期与收缩期 RPI 参数相关性分析

快速充盈期 IVPG 与等容收缩期 IVPG、T-IVPD, 快速充盈期 T-IVPD 与等容收缩期 IVPG、T-IVPD, 快速充盈期 B-M/T IVPD 与等容收缩期 IVPG、T-IVPD、B-M IVPD 和快速射血期 IVPG、T-IVPD, 快速充盈期 B-M/T IVPD 与等容收缩期 B-M IVPD, 心房收缩期 M-A IVPD 与等容收缩期 B-M IVPD、B-M/T IVPD, 心房收缩期 B-M/T IVPD 与等容收缩期 B-M/T IVPD 均相关(均 $P < 0.05$)。见图 4。



RF: 快速充盈期; AC: 心房收缩期; IC: 等容收缩期; RE: 快速射血期。
*示差异有统计学意义

图 4 nHCM 组舒张期与收缩期 RPI 参数相关性热力图

五、重复性检验

观察者内及观察者间检测左心室等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期 T-IVPD 的 ICC 均 > 0.75 , 表明重复性均良好。见表 7。

表 7 T-IVPD 的观察者内及观察者间重复性检验

参数	观察者内		观察者间	
	ICC	95%可信区间	ICC	95%可信区间
等容舒张期 T-IVPD	0.959	0.843~0.990	0.938	0.771~0.984
快速充盈期 T-IVPD	0.911	0.685~0.977	0.937	0.768~0.984
心房收缩期 T-IVPD	0.975	0.902~0.994	0.935	0.760~0.983
等容收缩期 T-IVPD	0.967	0.872~0.992	0.976	0.907~0.994
快速射血期 T-IVPD	0.976	0.907~0.994	0.989	0.958~0.997

ICC: 组内相关系数

讨 论

综合分析心脏结构和心腔内血流动力学的变化对于全面、准确、客观评价心功能十分重要。目前评价心功能的方法众多, 且多是基于室壁运动, 但室壁

运动的变化无法评价心脏疾病早期的病理学改变^[7]。血流向量成像是一种具有先进血流显示方法和独特血流定量分析指标的血流可视化技术, 其以斑点追踪成像技术和 CDFI 技术为基础, 将心腔内的血液流场状态通过多普勒频移信息获取, 可以直观地显示左心室内血液流场的变化情况^[8]。尽管心脏 MRI^[9]和 M 型超声心动图^[10]能早期无创获得左心室内 IVPD, 但却分别存在时间分辨率过低、操作不便和无法将左心室内 IVPD 的具体空间分布情况可视化的局限, 而应用 RPI 技术测量左心室内 IVPD 则弥补了以上两种方式的不足, 且通过 RPI 技术无创测得的 IVPD 被证实与“金标准”导管测压测得的参数具有良好的相关性^[11]。本研究旨在应用基于血流向量成像的 RPI 技术评估 nHCM 患者左心室功能。

本研究常规超声心动图检测结果显示, nHCM 组 IVSD、LVPWD 均增大, LVEDV、LVESV 均减小, 与对照组比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$); 提示 nHCM 患者左心室构型发生改变。nHCM 组中用于评价心脏舒张功能的常规超声心动参数 E、e、a 均减小, E/e 增大, 与对照组比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。表明 nHCM 患者左心室舒张功能发生损伤。心室肌肥厚、心肌纤维化及心室构型的改变造成的心室被动充盈能力下降是 nHCM 患者舒张功能不全的主要原因。目前临床主要采用 LVEF 评价 HCM 患者左心室收缩功能, 但本研究发现 nHCM 患者 LVEF 均属正常范围, 表明常规超声心动图难以识别 nHCM 患者早期的左心室收缩功能损伤, 与既往研究^[12]结论一致。

研究^[13]指出与正常成人相比, HCM 患者左心室整体纵向应变 (GLS) 及整体径向应变 (GRS) 均减小, 但左心室整体周向应变 (GCS) 增大, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。Stokke 等^[14]通过建立椭圆几何模型并结合超声心动图研究发现, GCS 对 LVEF 的影响是 GLS 的 2 倍以上, 因此 HCM 患者 GLS 的显著下降会被 GCS 的轻微增加所抵消, 从而使得 LVEF 保留。当 HCM 患者 LVEF $< 50\%$ 时, 其被称为伴左心室收缩功能障碍的 HCM, 也称为终末期 HCM, 预后极差, 被认为是一种特别严重的疾病并发症, 与高发病率和死亡率高死亡率相关, 结局多为死亡或心脏移植^[15], 因此在 LVEF 下降前检出 HCM 患者左心室收缩功能异常, 具有十分重要的临床意义。

RPI技术评估心功能是基于血流动力学状态。研究^[16-18]表明,基于血流动力学评估心功能的灵敏度相较于心肌运动可能更高。本研究通过绘制各RPI参数变化趋势图发现,对照组与nHCM组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期T-IVPD、B-M IVPD、M-A IVPD、IVPG均呈“升高-降低-升高-降低”趋势,nHCM组从等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期B-M/T IVPD也与对照组一样呈“上升-下降”趋势,但从等容收缩期到快速射血期的变化趋势却丧失了与对照组的一致性,表明nHCM患者左心室收缩功能损伤。本研究IVPD分布情况显示,对照组等容舒张期3个时相中的左心室内IVPD的指向是由基底到心尖;收缩期2个时相中的左心室内IVPD则是由心尖到心底,与既往研究^[19]应用MRI观察到左心室内IVPD分布情况一致。nHCM患者左心室内压力分布存在异常,丧失了严格的基底-心尖纵向压力分布,以及非规律的从大到小压力梯度模式。另外,本研究通过定量分析发现,对照组等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期B-M IVPD在T-IVPD中的占比分别为68%、78%、79%、86%及74%,nHCM组分别为59%、64%、77%、55%及56%,表明无论健康人群还是nHCM患者B-M IVPD均为T-IVPD的主要构成成分,从左心室内IVPD分布图中也可以发现左心室基底-中间段的压力分布色彩差异较中间-心尖段更加明显。左心室内IVPD分布与左心室构型高度匹配,nHCM患者由于能量代谢障碍导致的左心室构型改变可能就是左心室内IVPD分布失去严格基底-心尖纵向取向的重要原因。左心室内IVPD反映了左心室纵轴方向上压力分布,T-IVPD反映了左心室长轴方向的总体收缩能力,本研究nHCM组舒张期及收缩期T-IVPD均较对照组减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。分析其机制为nHCM患者心肌细胞肥厚、排列紊乱,心肌毛细血管减少,心肌供血不足,导致心肌层纵行纤维缺血,出现心肌纵向收缩能力降低^[20]。由于B-M IVPD和IVPG分别为T-IVPD主要构成成分和T-IVPD单位长度上的压力梯度,因此变化情况与IVPD一致,均较对照组减小。由于左心室顺应性及心肌松弛能力受损,为代偿舒张功能,左心房收缩力代偿性增强^[6]。左心房代偿性收缩增强造成了心房收缩期B-M IVPD在T-IVPD中的占比高于心动周期中其他时相的B-M/T IVPD,甚至接近对照组,故nHCM组与对照组心房收缩期B-M/T IVPD比较差异无统计学意义。研究^[21]表明,

B-M IVPD在T-IVPD中的占比决定其在心腔内血流动力学发生病理改变时更易受到影响,因此M-A IVPD在左心室抽吸及排血的过程中发挥着主要的作用。本研究nHCM患者快速充盈期及等容收缩期M-A IVPD相较于健康人群增大可能是左心室舒张与收缩能力代偿的一种表现,故表现为nHCM组快速充盈期和等容收缩期M-A IVPD均较对照组增大(均 $P<0.05$)。

本研究相关性分析显示,快速充盈期IVPG与等容收缩期IVPG、T-IVPD,快速充盈期T-IVPD与等容收缩期IVPG、T-IVPD,快速充盈期B-M/T IVPD与IVPG、T-IVPD、B-M IVPD和快速射血期IVPG、T-IVPD,快速充盈期B-M/T IVPD与等容收缩期B-M IVPD,心房收缩期M-A IVPD与等容收缩期B-M IVPD、B-M/T IVPD,心房收缩期B-M/T IVPD与等容收缩期B-M/T IVPD均相关(均 $P<0.05$),提示nHCM患者心脏舒张期与收缩期RPI参数之间相互影响。分析原因为nHCM患者由于肌小基因突变导致能量障碍时,肌动蛋白-肌球蛋白相互作用和结合增强,使得心肌细胞收缩增强进而促进心肌收缩,但同时也延迟和损害了舒张期功能,表明nHCM患者心脏舒张和收缩功能损伤可能并不存在严格的先后顺序,而是存在一定的交叉,同时也解释了部分心脏舒张期与收缩期RPI参数间存在一定相关性的原因^[22-23]。此外,本研究结果还显示,观察者内及观察者间检测左心室等容舒张期、快速充盈期、心房收缩期、等容收缩期及快速射血期T-IVPD的ICC均 >0.75 ,表明重复性均良好。

本研究的局限性:①样本量较小,未按照用药情况和病程情况对患者细化分组,今后需扩大样本量进一步探索RPI技术在评价nHCM患者IVPD及IVPG中价值及分层研究;②因激发试验存在一定风险,因此本研究通过蹲起动作排除隐匿性nHCM患者,诊断准确性可能较激发试验稍低;③目前基于血流向量成像的PRI技术仅能显示心腔内的二维血液流场压力分布。

综上所述,RPI技术能够客观评估nHCM患者左心室内血液流场压力分布情况,定量评估左心室内IVPD及IVPG,为临床评估nHCM患者心功能变化情况提供一种更加敏感的新指标,具有较好的临床价值。

参考文献

- [1] Semsarian C, Ingles J, Maron MS, et al. New perspectives on the prevalence of hypertrophic cardiomyopathy [J]. J Am Coll Cardiol,

- 2015, 65(12):1249-1254.
- [2] Maron MS, Hellawell JL, Lucove JC, et al. Occurrence of clinically diagnosed hypertrophic cardiomyopathy in the United States [J]. *Am J Cardiol*, 2016, 117(10):1651-1654.
- [3] Rowin EJ, Maron BJ, Carrick RT, et al. Outcomes in patients with hypertrophic cardiomyopathy and left ventricular systolic dysfunction [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(24):3033-3043.
- [4] Maron MS, Rowin EJ, Olivotto I, et al. Contemporary natural history and management of nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(12):1399-1409.
- [5] 国家心血管病专家委员会心力衰竭专业委员会, 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 中华医学会心血管分会心力衰竭学组, 等. 中国肥厚型心肌病指南 2022 [J]. *中华心力衰竭和心肌病杂志*, 2022, 6(2):80-105.
- [6] Ommen SR, Mital S, Burke MA, et al. 2020 AHA/ACC Guideline for the Diagnosis and Treatment of Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 76(25):3022-3055.
- [7] 冯玉红. 血流向量成像技术临床研究进展 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2015, 24(10):916-919.
- [8] Asami R, Tanaka T, Kawabata K, et al. Accuracy and limitations of vector flow mapping: left ventricular phantom validation using stereo particle image velocimetry [J]. *J Echocardiogr*, 2017, 15(2):57-66.
- [9] Ha H, Kim GB, Kweon J, et al. Hemodynamic measurement using four-dimensional phase-contrast MRI: quantification of hemodynamic parameters and clinical applications [J]. *Korean J Radiol*, 2016, 17(4):445-462.
- [10] Yotti R, Bermejo J, Benito Y, et al. Validation of noninvasive indices of global systolic function in patients with normal and abnormal loading conditions: a simultaneous echocardiography pressure-volume catheterization study [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2014, 7(1):164-172.
- [11] Tanaka T, Okada T, Nishiyama T, et al. Relative pressure imaging in left ventricle using ultrasonic vector flow mapping [J]. *Jpn J Appl Phys*, 2017, 56(7S1):07JF26.
- [12] Haland TF, Hasselberg NE, Almaas VM, et al. The systolic paradox in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Open Heart*, 2017, 4(1):e000571.
- [13] 付海蓉, 胡冬梅, 孟海生, 等. 三维斑点追踪技术评价左心室射血分数正常的肥厚型心肌病患者左心室心肌收缩特性研究 [J]. *中国社区医师*, 2020, 36(4):137-138.
- [14] Stokke TM, Hasselberg NE, Smedsrud MK, et al. Geometry as a confounder when assessing ventricular systolic function: comparison between ejection fraction and strain [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(8):942-954.
- [15] Marstrand P, Han L, Day SM, et al. Hypertrophic cardiomyopathy with left ventricular systolic dysfunction: insights from the SHaRe registry [J]. *Circulation*, 2020, 141(17):1371-1383.
- [16] 王鸿凤, 陈明, 庞琳, 等. 超声血流向量成像评估妊娠期糖尿病患者左心室舒张功能的价值 [J]. *中国超声医学杂志*, 2022, 38(12):1369-1372.
- [17] 王璿瑛, 许迪. 血流向量成像技术评估系统性红斑狼疮患者左心室能量损耗 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2022, 31(7):598-604.
- [18] Zuo X, Yuan M, Jia H, et al. Vector flow mapping application in local cardiac function in hypertension assessment [J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14(1):4793.
- [19] Thompson RB, McVeigh ER. Fast measurement of intracardiac pressure differences with 2D breath-hold phase-contrast MRI [J]. *Magn Reson Med*, 2003, 49(6):1056-1066.
- [20] Desai MY, Mentias A, Alashi A, et al. LV global function index provides incremental prognostic value over LGE and LV GLS in HCM [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(9):2052-2054.
- [21] 刘梅, 蔡宇燕, 黄鹤, 等. 血流向量成像技术评估阵发性房颤患者左心室内压差的初步价值 [J]. *生物医学工程学杂志*, 2021, 38(2):310-316.
- [22] Muresan ID, Agoston-Coldea L. Phenotypes of hypertrophic cardiomyopathy: genetics, clinics, and modular imaging [J]. *Heart Fail Rev*, 2021, 26(5):1023-1036.
- [23] Burke MA, Cook SA, Seidman JG, et al. Clinical and mechanistic insights into the genetics of cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(25):2871-2886.

(收稿日期:2022-12-27)