

# 二维斑点追踪成像技术评价心尖肥厚型心肌病右房功能

朱江涛, 方思华\*, 汪婧, 伍婷婷

安徽医科大学第二附属医院超声医学科, 安徽 合肥

收稿日期: 2025年8月11日; 录用日期: 2025年9月4日; 发布日期: 2025年9月16日

## 摘要

目的: 应用二维斑点追踪成像技术(2D-STI)评价心尖肥厚型心肌病患者(ApHCM)的右心功能。方法: 选取28例ApHCM患者和45例年龄、性别相匹配的正常对照组, 分析比较两组常规超声心动图参数和二维应变参数的差异。结果: 与对照组比较, ApHCM组的收缩末期右房前后径(RAd)、右房最小容积(RAVmin)、右房收缩前容积(RAVpreA)、舒张末期室间隔厚度(IVSD)和舒张末期左室后壁厚度(LVPWD)均明显升高, 而右房排空分数(RAEF)、三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、右室面积变化率(RVFAC)、三尖瓣环侧壁收缩速度(S')、右室纵向总应变(RVGLS)、右室心尖段应变(RV apical strain)、右室中段应变(RV mid-wall strain)、右室游离壁应变(RVFWS)、右房储备期应变(RASr)、右房通道期应变(RAScd)、右房收缩期应变(RASct)均明显减低, 差异均具有统计学意义( $P$ 均  $< 0.05$ )。其余参数两组之间的差异均无统计学意义( $P$ 均  $> 0.05$ )。结论: 2D-STI可以定量评估ApHCM患者右心功能障碍, 为临床评估ApHCM患者的心肌损伤提供更多参考信息。

## 关键词

二维斑点追踪成像技术, 心尖肥厚型心肌病, 右心房功能

# Assessment of Right Atrial Function in Apical Hypertrophic Cardiomyopathy by Two-Dimensional Speckle Tracking Imaging

Jiangtao Zhu, Sihua Fang\*, Jing Wang, Tingting Wu

Department of Ultrasound Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

Received: Aug. 11<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 16<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 朱江涛, 方思华, 汪婧, 伍婷婷. 二维斑点追踪成像技术评价心尖肥厚型心肌病右房功能[J]. 临床医学进展, 2025, 15(9): 792-799. DOI: 10.12677/acm.2025.1592557

## Abstract

**Objective:** To evaluate the structure and function of the right atrium (RA) in apical hypertrophic cardiomyopathy (ApHCM) by using two-dimensional speckle tracking imaging technology (2D-STI). **Methods:** Twenty-eight patients with ApHCM and 45 normal controls matched by age and gender in the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University from January 2024 to April 2025 were selected and included in this study. The conventional echocardiographic parameters and two-dimensional strain parameters of the two groups were analyzed and compared. **Results:** Compared with the control group, the anterior and posterior diameters of the right atrium (RA<sub>d</sub>), the minimum volume of the right ventricle (RAV<sub>min</sub>), the pre-systolic volume of the right atrium (RAV<sub>preA</sub>), the thickness of the ventricular septum at the end of diastolic phase (IVSD), and the thickness of the posterior wall of the left ventricle at the end of diastolic phase (LVPWD) in the ApHCM group were all significantly increased. The right atrium emptying fraction (RAEF), the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), the right ventricular systolic displacement area change rate (RVFAC), Systolic velocity of tricuspid annulus (S'), right ventricular global longitudinal strain (RVGLS), right ventricular apical strain (RV apical strain), right ventricular middle wall strain (RV mid-wall strain), right ventricular free wall strain (RVFWS), right atrial strain during reservoir phase (RAS<sub>r</sub>), right atrial strain during conduit phase (RAS<sub>cd</sub>), and right atrial strain during contraction phase (RAS<sub>ct</sub>) were all significantly decreased, and the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). There was no statistically significant difference in the remaining parameters between the two groups (all  $P > 0.05$ ). **Conclusion:** 2D-STI can quantitatively evaluate right atrial dysfunction in patients with ApHCM, providing more reference information for the clinical assessment of myocardial injury in patients with ApHCM.

## Keywords

Two-Dimensional Speckle Tracking Imaging Technology (2D-STI), Apical Hypertrophic Cardiomyopathy (ApHCM), Right Atrial Function

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

心尖肥厚型心肌病(apical hypertrophic cardiomyopathy, ApHCM)是肥厚型心肌病的一种特殊类型,发生率约占肥厚型心肌病所有病例的15%~20%,以左室乳头肌水平以下心尖部心肌肥厚为特征,其舒张期末期左室腔呈现为“黑桃”形状的改变[1][2]。心尖部心肌的过度肥厚可损伤心脏充盈功能,进一步引起心脏收缩功能异常,增加严重心律失常、心力衰竭及猝死的发生风险,患者可出现呼吸困难、胸部疼痛、晕厥、心悸等症状[3]。而以往对于ApHCM的研究,多集中于其左心及右室功能。国外有相关研究表明ApHCM患者左房功能障碍出现在左房扩张之前,而且若合并右室肥厚时,左、右室的心肌做功均会出现明显下降[4]-[6]。但是对于ApHCM的右房功能的研究较少。右房与右室在结构与功能紧密相连,相互依赖,右房通过不同的生理阶段来调节右室的充盈,而右房的功能也受右室舒缩的影响。国外有学者发现在右室衰竭时,右房对维持整体右心功能起重要作用[7]。由此,ApHCM右室功能减低时,右房结构和功能可能也有所改变。目前尚未见有学者对ApHCM患者的右房功能进行研究。本研究旨在应用二维斑点追踪成像(Two-dimensional speckle tracking imaging, 2D-STI)技术探讨ApHCM患者的右房功能变化,以

期有助于早期识别右房功能改变,为临床早期干预与治疗提供相关依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

选取 2024 年 1 月~2025 年 4 月安徽医科大学第二附属医院收治的 28 例 ApHCM 患者。ApHCM 纳入标准:① 根据《中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南 2023》确诊为典型 ApHCM,即临床上不能解释的心尖部室壁厚度  $\geq 15$  mm。排除标准:① 室壁肥厚主要分布于左室乳头肌水平以上区域,即非心尖占优势的肥厚分布类型,或伴有心尖部室壁瘤的肥厚型心肌病患者。② 其他类型心肌病。③ 合并高血压、糖尿病、冠心病、风湿性心脏病、严重瓣膜病等影响心肌功能的疾病。④ 图像质量差,无法获取可靠参数。另外,纳入同期来我院体检的健康志愿者 45 例为对照组。所有研究对象均签署知情同意书。本研究按照《赫尔辛基宣言》进行,经安徽医科大学第二附属医院伦理委员会批准(批准号:SL-YX2024-098)。

### 2.2. 仪器及方法

采用彩色多普勒超声诊断仪 GE Vivid E95, M5S 探头,频率 1.5~4.6 MHz,配备 EchoPAC 工作站。患者取左侧卧位,连接心电图,采集至少连续三个心动周期以上的动态图像。常规测量右室前后径(Right ventricular anteroposterior diameter, RVd)、右房前后径(Right atrium anteroposterior diameter, RAd)、舒张末期室间隔厚度(Interventricular septal thickness at end diastolic, IVSD)、舒张末期左室后壁厚度(Left ventricular posterior wall thickness at end diastolic, LVPWD)、三尖瓣环收缩期位移(Tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、三尖瓣环侧壁收缩速度(The contraction rate of the lateral wall of the tricuspid annulus, S')。选择心尖四腔心切面,进入二维应变分析模式,手动分别勾画右室、右房的心内膜和心外膜轮廓。系统自动计算出右室整体纵向应变(Right ventricular global longitudinal strain, RV GLS)、右室心尖段应变(RV apical strain)、右室中间段应变(RV mid-wall strain)、右室基底段应变(RV basal strain)、右室游离壁应变(Right ventricular free wall strain, RVFWS)、右房排空分数(Right atrial emptying fraction, RAEF)、右房最大容积(Right atrial maximum volume, RAVmax)、右房最小容积(Right atrial minimum volume, RAVmin)、右房收缩前容积(Right atrial presystolic volume, RAVpreA)、右房储备期应变(Right atrial reservoir strain, RASr)、右房通道期应变(Right atrial conduit strain, RAScd)、右房收缩期应变(Right atrial contractile strain, RASct),再根据相关公式计算出右室面积变化率(Right ventricular fractional area change, RV FAC)。所有数据测量 3 次取平均值,比较两组的临床基线资料、常规超声心动图参数和应变参数。

### 2.3. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 统计分析软件,定量资料符合正态分布的以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,不符合正态分布的用中位数及四分位数(Q1, Q3)表示,两组均服从正态分布时,采用独立样本 t 检验,其中有一组不符合正态分布,采用 Mann-WhitneyU 非参数检验。分类变量以频数(百分比)表示,两组间比较采用卡方检验或 Fisher 精确检验。重复性检验采用 Bland-Altman 图进行分析。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 临床基线资料

ApHCM 组和对照组的性别、年龄、身高、体重、体重指数、收缩压、舒张压、体表面积、心率比较均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ )。见表 1。

**Table 1.** Comparison of clinical data between the two groups**表 1.** 两组间临床资料比较

一般临床指标	ApHCM 组(n = 28)	对照组(n = 45)	X <sup>2</sup> /t/z 值	P 值
性别(男)	21 (0.75)	25 (0.56)	2.800	0.094
年龄(岁)	58 (46, 66)	57 ± 11	-0.511	0.609
身高(cm)	167.6 ± 6.7	164.5 ± 8.2	1.680	0.097
体重(kg)	64.5 ± 6.7	61.0 (57.0, 66.5)	-0.613	0.540
体重指数(kg/m <sup>2</sup> )	22.9 ± 1.7	23.2 ± 2.5	-0.601	0.550
收缩压(mmHg)	123.5 ± 14.5	126.0 (114.5, 135.0)	-0.392	0.695
舒张压(mmHg)	71.0 (67.0, 80.0)	76.8 ± 10.0	-1.398	0.162
体表面积(m <sup>2</sup> )	1.7 ± 0.1	1.6 ± 0.1	1.151	0.253
心率(次/分)	69 ± 9	71 ± 10	-0.588	0.558

### 3.2. 超声心动图基本参数

与对照组比较, ApHCM 组的 RA、RAVmin、RAVpreA、IVSD 和 LVPWD 均明显升高, 而 RAEF、TAPSE、RV FAC、S' 均明显减低, 差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.05$ ); 其余常规超声心动图参数比较差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ )。见表 2。

**Table 2.** Comparison of basic parameters of echocardiography between the two groups**表 2.** 两组间超声心动图基本参数比较

常规超声心动图参数	ApHCM 组(n = 28)	对照组(n = 45)	t/z 值	P 值
RVd (mm)	20.3 ± 2.3	20.0 ± 2.0	0.716	0.476
RAAd (mm)	44.1 ± 4.4	41.9 ± 3.5	2.367	0.021
RAEF (%)	35.1 ± 12.6	48.1 ± 10.7	-4.745	0.000
RAVmax (ml)	45.9 ± 12.9	41.9 ± 8.5	1.607	0.113
RAVmin (ml)	29.0 ± 7.5	21.8 ± 6.5	4.348	0.000
RAVpreA (ml)	40.5 (33.0, 49.8)	32.0 (28.0, 36.0)	-3.175	0.001
IVSD (mm)	12.5 (11.0, 14.0)	9.0 (8.0, 10.0)	-6.772	0.000
LVPWD (mm)	10.0 (9.0, 11.0)	8.0 (8.0, 9.0)	-4.542	0.000
TAPSE (mm)	1.5 (1.1, 1.7)	1.8 ± 0.3	-4.703	0.000
RV FAC (%)	35.1 ± 13.0	47.9 ± 11.2	-4.435	0.000
S' (cm/s)	11.8 ± 2.6	14.8 (13.2, 17.0)	-4.964	0.000

RVd: 右室前后径; RAAd: 右房前后径; RAEF: 右房排空分数; RAVmax: 右房最大容积; RAVmin: 右房最小容积; RAVpreA: 右心房收缩前容积; IVSD: 室间隔厚度; LVPWD: 左室后壁厚度; TAPSE: 三尖瓣环收缩期位移; RVFAC: 右心室面积变化率; S': 三尖瓣环侧壁收缩速度。

### 3.3. 右心应变参数

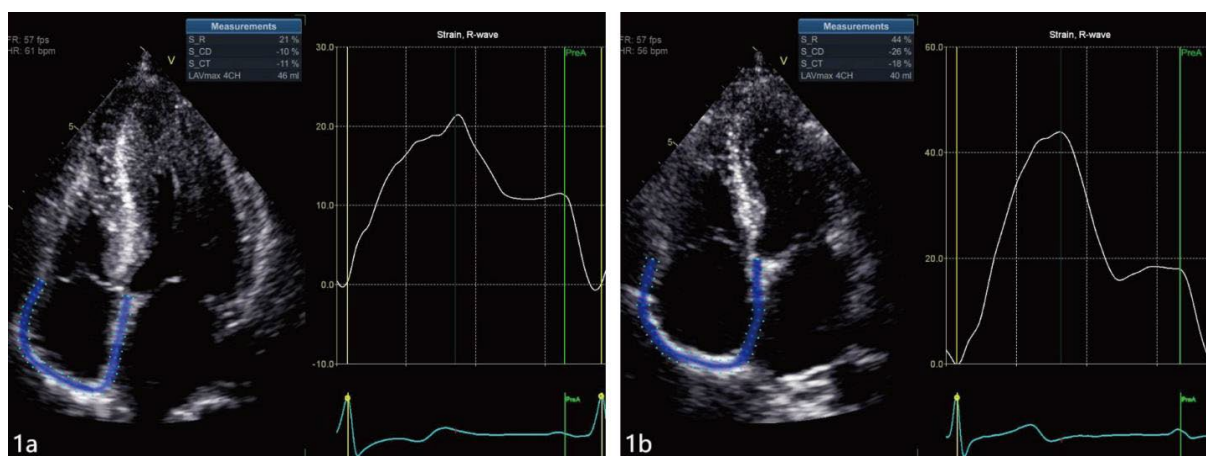
与对照组相比, ApHCM 组的 RASr、RAScd、RASct、RVGLS、RVFWS、右室中间段、心尖段收缩期纵向峰值应变均减低, 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ); 右室基底段收缩期纵向峰值应变两组之间没有明显差异( $P > 0.05$ )。见表 3。(图 1)

**Table 3.** Comparison of basic parameters of echocardiography between the two groups

**表 3.** 两组间应变参数比较

应变参数	ApHCM 组(n = 28)	对照组(n = 45)	t/z 值	P 值
RASr (%)	17.0 (13.3, 23.8)	30.7 ± 8.0	-5.469	0.000
RAScd (%)	-8.1 ± 3.9	-16.0 (-22.5, -14.0)	-6.082	0.000
RASct (%)	-10.0 ± 4.9	-12.7 ± 4.5	2.348	0.022
RV GLS (%)	-14.3 ± 4.8	-18.1 ± 3.1	3.822	0.000
RVFWS (%)	-15.6 ± 5.7	-18.4 (-23.0, -16.6)	-2.695	0.007
RV apical strain (%)	-9.2 ± 3.2	-16.9 ± 5.1	7.849	0.000
RV mid-wall strain (%)	-17.7 ± 5.3	-20.6 ± 4.8	2.411	0.019
RV basal strain (%)	-20.5 (-22.9, -18.3)	-21.0 ± 3.9	-0.488	0.625

RASr: 右房储备期应变; RAScd: 右房通道期应变; RASct: 右房收缩期应变; RVGLS: 右室纵向总应变; RVFWS: 右心室游离壁应变 RV apical strain: 右室心尖段应变; RV mid-wall strain: 右室中间段应变; RV basal strain: 右室基底段应变。

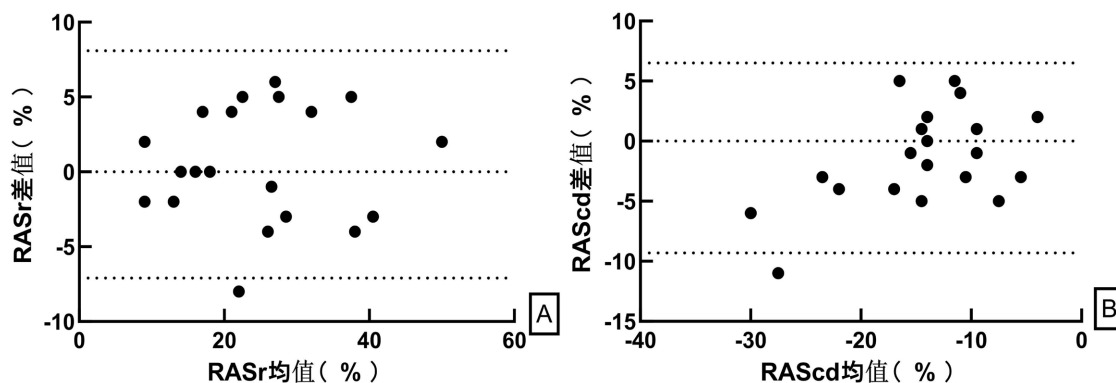


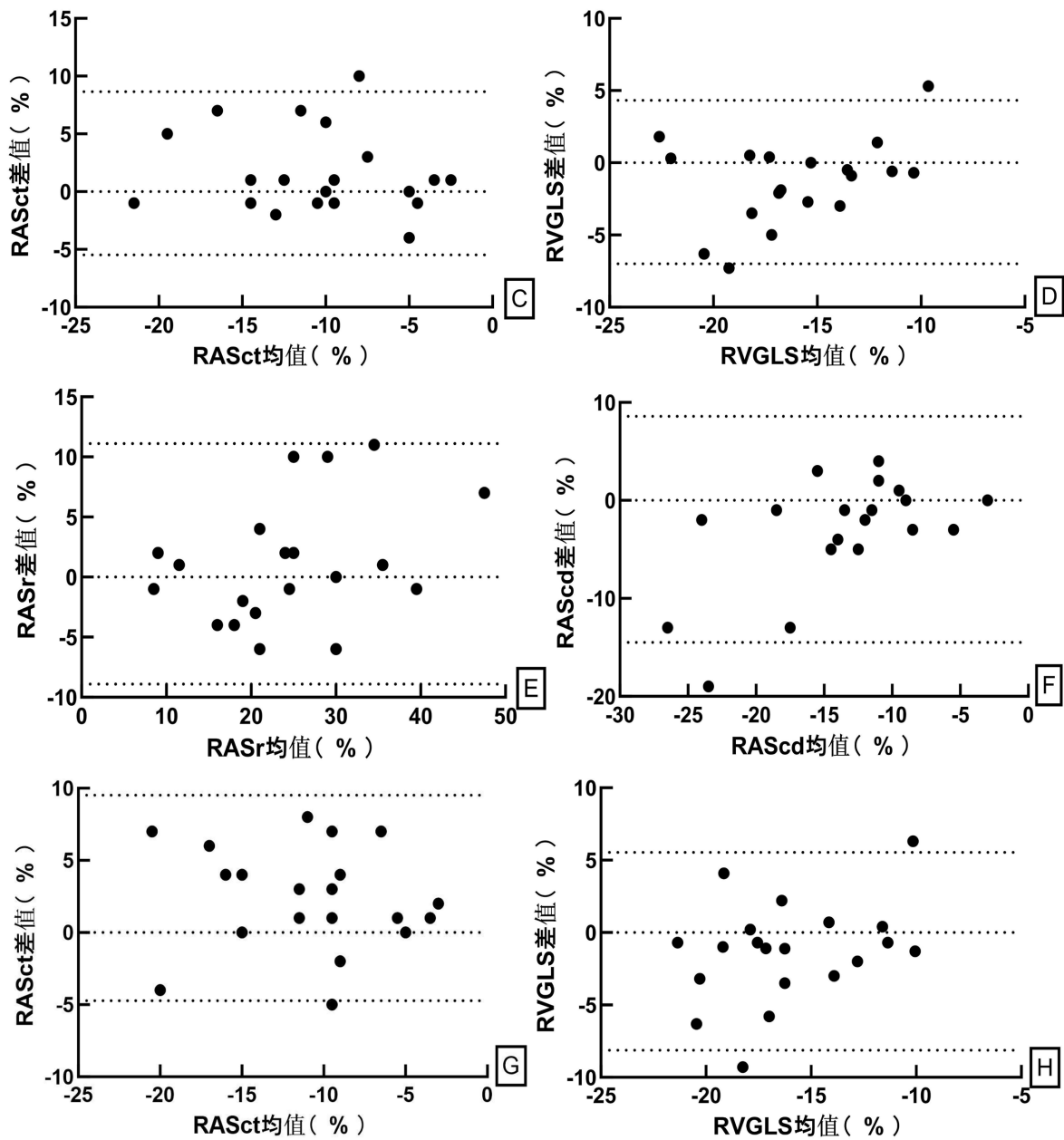
**Figure 1.** Right atrial strain at each stage in the ApHCM group and the control group. 1a was the ApHCM group and 1b was the control group

**图 1.** ApHCM 组和对照组右房各时期应变。1a 为 ApHCM 组，1b 为对照组

### 3.4. 重复性检验

Bland-Altman 图显示 RASr、RAScd、RASct、RVGLS 在观察者内及观察者间的一致性均良好。见图 2。





**Figure 2.** Bland-Altman plots for intra-group and inter-group consistency tests. A to D are intra-group consistency tests, and E to H are inter-group consistency tests

**图 2.** 组内及组间一致性检验的 Bland-Altman 图。A~D 为组内一致性检验，E~H 为组间一致性检验

#### 4. 讨论

HCM 是一种原发性遗传性心血管疾病，在普通人群中的患病率约为 1/500。它可导致严重心律失常、进行性心力衰竭和心源性猝死等心脏不良事件[8]-[10]。而 ApHCM 作为 HCM 的相对少见的一种亚型，发病率仅占 HCM 的 20%，但年死亡率仍与室间隔肥厚型 HCM 基本相当[9][11][12]。由于肥厚部位主要集中于左室心尖部，以往关于 ApHCM 的研究，多集中于左心及右室，对于右房功能的研究则相对较少。然而众所周知右房是心脏的重要组成部分。在结构上，右房与右室紧密相连，对调节心室充盈起着重要作用。在功能上，右房在整个心动周期中也通过储备期、通道期、收缩期三个功能时期来调节右室的充

盈。从长期来看,右房功能改变可能会影响左心功能。因此,本研究旨在应用 2D-STI 探讨 ApHCM 患者的右房功能,为 ApHCM 患者的病情评估和早期干预提供相关依据。

ApHCM 患者在早期症状往往较为隐匿,但有研究表明虽然左室射血分数处于正常参考范围,但左室整体收缩功能及心肌形变能力往往已出现亚临床损伤[13]。而左室功能障碍会导致左房压力升高、通过肺静脉传递至肺毛细血管,进而引起早期的动力性肺动脉高压,该阶段肺毛细血管结构可无明显改变。若左房压增高持续存在,长期的肺毛细血管压力升高会导致肺血管重构,引起不可逆的肺动脉高压及持续性右心功能及结构损害[14] [15]。

本研究中 ApHCM 组的 RVGLS、RVFWS、TAPSE、RV FAC、S'明显低于对照组,这说明 ApHCM 患者右室的整体功能较正常人已经显著减低,这与既往研究结果基本一致。而 ApHCM 患者右室各节段的纵向应变存在显著差异。其中,右室心尖段与中间段的纵向应变相较于对照组显著降低,而基底段的应变则相对保持在正常范围内。这一现象可能与右室不同节段的肌小梁的丰富性有关,其中右室心尖段和中间段的肌小梁较为丰富,而基底段肌小梁相对较少,结构较为厚实。丰富的肌小梁虽然在正常情况下有助于增加心肌的收缩力,但在左室的机械压迫及心肌纤维化的影响下,右室心尖段和中间段的肌小梁可能更易受损,基底段则展现出更强的抗压性和稳定性[6]。

关于右房结构和功能参数,本研究结果显示,与对照组相比,ApHCM 组的 RAd、RAVmin、RAVpreA 明显增大,而 RASr、RAScd、RASct 则呈现明显下降,表明 ApHCM 患者右房各个功能时期的几何构型和射血能力相较于正常人群体均已展现出显著差异。此现象可能归因于:在病程早期右室舒张功能出现减退,导致舒张期房室间压力梯度降低,进而引起右房容积的增加;病程后期随着右室收缩功能进一步下降,右房残余血量持续上升,加剧了右房容积增加[16]。同时长期的右房容量负荷增加导致的右房扩张,使得右房的心肌细胞受到过度牵拉和损伤,从而导致各个时相的右房功能出现明显障碍。

本研究存在一定局限性:(1) 本研究是应用 2D-STI 分析 ApHCM 的右房功能,未应用三维超声心动图技术,具有一定的局限性;(2) 样本数量较少,后期拟扩大样本量以进一步提高 2D-STI 评估 ApHCM 患者的右心功能的可靠性和准确性;(3) 目前还没有右心房专用的超声心动图分析软件,因此本研究使用左心房分析软件进行替代有一定的局限性;(4) 心脏核磁共振是右房评估的“金标准”,本研究未能将 2D-STI 与心脏核磁共振对照比较,以评估其在评价右房结构和功能中的价值。

## 5. 结论

综上所述,ApHCM 患者的右房局部应变(心尖段与中间段)和整体应变存在不同程度的下降。2D-STI 可以有效评估 ApHCM 患者右房功能,为 ApHCM 患者的临床诊疗提供有价值的定量参数,具有一定的应用前景。

## 基金项目

2023 年安徽省重点研究与开发计划(社会发展领域)(2023s07020014)。

## 参考文献

- [1] 韦云青,赵世华,陆敏杰,等. 心尖肥厚型心肌病的 MRI 诊断[J]. 中华放射学杂志, 2007, 41(8): 800-804.
- [2] Jan, M.F., Todaro, M.C., Oreto, L. and Tajik, A.J. (2016) Apical Hypertrophic Cardiomyopathy: Present Status. *International Journal of Cardiology*, **222**, 745-759. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.07.154>
- [3] 柳波,余燕,饶丽萍,等. 超声心动图与心电图在心尖肥厚型心肌病诊断中的应用价值[J]. 中国卫生标准管理, 2025, 16(5): 125-128.
- [4] Mihos, C.G., Escolar, E. and Fernandez, R. (2023) Right Ventricular Hypertrophy in Apical Hypertrophic Cardiomyopathy.

- Echocardiography*, **40**, 515-523. <https://doi.org/10.1111/echo.15588>
- [5] Yang, Y., Lu, M., Guan, X., Zhao, S. and Long, L. (2024) Left Atrial Dysfunction in Apical Hypertrophic Cardiomyopathy: Assessed by Cardiovascular Magnetic Resonance Feature-Tracking. *Journal of Thoracic Imaging*, **39**, 157-164. <https://doi.org/10.1097/rti.0000000000000722>
- [6] Li, X., Shi, K., Yang, Z.G., *et al.* (2020) Assessing Right Ventricular Deformation in Hypertrophic Cardiomyopathy Patients with Preserved Right Ventricular Ejection Fraction: A 3.0-T Cardiovascular Magnetic Resonance Study. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 1967. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58775-0>
- [7] Sivak, J.A., Raina, A. and Forfia, P.R. (2016) Assessment of the Physiologic Contribution of Right Atrial Function to Total Right Heart Function in Patients with and without Pulmonary Arterial Hypertension. *Pulmonary Circulation*, **6**, 322-328. <https://doi.org/10.1086/687767>
- [8] Baxi, A.J., Restrepo, C.S., Vargas, D., Marmol-Velez, A., Ocazonez, D. and Murillo, H. (2016) Hypertrophic Cardiomyopathy from A to Z: Genetics, Pathophysiology, Imaging, and Management. *Radio Graphics*, **36**, 335-354. <https://doi.org/10.1148/rg.2016150137>
- [9] Task Force Members, Elliott, P.M., Anastakis, A., *et al.* (2014) 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). *European Heart Journal*, **35**, 2733-2779.
- [10] Ommen, S.R., Ho, C.Y., Asif, I.M., Balaji, S., Burke, M.A., Day, S.M., *et al.* (2024) 2024 AHA/ACC/AMSSM/HRS/PACES/SCMR Guideline for the Management of Hypertrophic Cardiomyopathy: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, **149**, e1239-e1311. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001250>
- [11] Paluszkiwicz, J., Krasinska, B., Milting, H., Gummert, J. and Pyda, M. (2018) Apical Hypertrophic Cardiomyopathy: Diagnosis, Medical and Surgical Treatment. *Polish Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **15**, 246-253. <https://doi.org/10.5114/kitp.2018.80922>
- [12] Hughes, R.K., Knott, K.D., Malcolmson, J., Augusto, J.B., Mohiddin, S.A., Kellman, P., *et al.* (2020) Apical Hypertrophic Cardiomyopathy: The Variant Less Known. *Journal of the American Heart Association*, **9**, e015294. <https://doi.org/10.1161/jaha.119.015294>
- [13] 汪婧, 姜凡, 方思华, 等. 压力-应变环技术评价心尖肥厚型心肌病患者左室收缩功能的临床效能[J]. *安徽医学*, 2025, 46(5): 564-569.
- [14] Dini, F.L., Pugliese, N.R., Ameri, P., Attanasio, U., Badagliacca, R., Correale, M., *et al.* (2023) Right Ventricular Failure in Left Heart Disease: From Pathophysiology to Clinical Manifestations and Prognosis. *Heart Failure Reviews*, **28**, 757-766. <https://doi.org/10.1007/s10741-022-10282-2>
- [15] 高宝辉, 谢丽微, 祁旦已, 等. 伴肺动脉高压的先天性心脏病患儿肺组织病理学观察[J]. *临床与实验病理学杂志*, 2004(5): 599-603.
- [16] 吴小娟. 实时三维超声心动图评价阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患者不同左室构型右房结构和功能的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西医科大学, 2019.