

# 三维斑点追踪成像在评价房颤患者射频消融术前后左心室功能中的应用

隋文倩<sup>1,2</sup>, 付秀秀<sup>1\*</sup>, 马 晓<sup>1</sup>, 陈秀晓<sup>2</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属医院心脏超声科, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛大学附属威海市中心医院超声科, 山东 威海

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年7月19日; 发布日期: 2023年7月25日

## 摘 要

目的: 应用三维斑点追踪成像(3D-STI)评价心房颤动(房颤, AF)患者经导管射频消融术(RFCA)前后左心室收缩功能的变化。方法: 选取进行RFCA治疗成功的31例阵发性AF患者(PAF组)及32例持续性AF患者(CAF组), 另选取30例健康志愿者(对照组), 三组均于术前及术后3个月完成超声心电图检查, 并对采集图像进行三维应变分析, 得到左心室心肌整体纵向、径向、圆周应变(GLS, GRS, GCS)。比较三组间各参数差异及PAF组和CAF组术前、术后差异。结果: 与对照组比较, 术前PAF组e'、E/e'增加, GLS减低, CAF组E、E/e'增加, LVEF、GLS、GCS减低, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。与术前相比, 术后PAF组e'、GLS增加( $P < 0.05$ ), CAF组E/e'减低, e'、LVEF、GLS、GCS增加( $P < 0.05$ )。结论: 较健康志愿者, AF患者的左心室收缩功能已受损; RFCA能有效逆转PAF和CAF患者的左心室重构, 改善患者左心室收缩功能; 3D-STI能早期有效评价左心室功能的微小变化。

## 关键词

心房颤动, 射频消融, 左心室功能, 三维斑点追踪成像

# Application of Three-Dimensional Speckle Tracking Imaging in Evaluating Left Ventricular Function in Patients with Atrial Fibrillation before and after Radiofrequency Ablation

Wenqian Sui<sup>1,2</sup>, Xiuxiu Fu<sup>1\*</sup>, Xiao Ma<sup>1</sup>, Xiuxiao Chen<sup>2</sup>

\*通讯作者 Email: fuxiuxiu999@163.com

文章引用: 隋文倩, 付秀秀, 马晓, 陈秀晓. 三维斑点追踪成像在评价房颤患者射频消融术前后左心室功能中的应用[J]. 临床医学进展, 2023, 13(7): 11785-11793. DOI: 10.12677/acm.2023.1371652

<sup>1</sup>Department of Cardiac Ultrasound, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Department of Ultrasound, Weihai Central Hospital Affiliated to Qingdao University, Weihai Shandong

Received: Jun. 25<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 19<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 25<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

**Objective:** To evaluate the changes in left ventricular systolic function before and after transcatheter radiofrequency ablation (RFCA) in patients with atrial fibrillation (AF) by applying three-dimensional speckle tracking imaging (3D-STI). **Methods:** Thirty-one patients with paroxysmal AF (PAF group) and 32 patients with persistent AF (CAF group) who underwent RFCA successfully, and 30 healthy volunteers (control group) were selected. All three groups completed echocardiography before and 3 months after the procedure, and 3D strain analysis was performed on the acquired images to obtain the overall longitudinal, radial, and circumferential strains of the left ventricular myocardium (GLS, GRS, and GCS). The differences in the parameters between the three groups and the preoperative and postoperative differences between the PAF and CAF groups were compared. **Results:** Compared with the control group,  $e'$  and  $E/e'$  increased and GLS decreased in the PAF group before surgery, while  $E$  and  $E/e'$  increased and LVEF, GLS and GCS decreased in the CAF group, with statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). Compared to the preoperative period,  $e'$ , GLS increased in the PAF group ( $P < 0.05$ ) and  $E/e'$  decreased and  $e'$ , LVEF, GLS, GCS increased in the CAF group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** In healthy volunteers, LV systolic function was already impaired in AF patients; RFCA was effective in reversing LV remodeling and improving LV systolic function in PAF and CAF patients; 3D-STI was effective in early evaluation of small changes in LV function.

## Keywords

Atrial Fibrillation, Radiofrequency Ablation, Left Ventricular Function, 3D Speckle Tracking Imaging Technology

Copyright © 2023 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

心房颤动(atrial fibrillation, AF)是成人中最常见的房性心律失常,可引起卒中、心衰等严重并发症。AF治疗的主要目的是心室率控制[1],抗心律失常药物被广泛应用,但药物的不良反应及有限的治疗效果促使了新的治疗方法的产生。射频消融术自20世纪80年代被应用于室上性心律失常的姑息治疗后,经过几十年的发展,如今已经成熟的应用于临床,它的安全性和作用得到了肯定[2]。AF可导致心脏结构和功能的变化,既往的研究多局限于左房,左室的研究较少,特别是经导管射频消融(radiofrequency catheter ablation, RFCA)前后左室结构和功能的变化,而左室功能的评价对临床尤为重要。三维斑点追踪成像(three-dimensional speckle tracking imaging, 3D-STI)是在二维斑点追踪成像的基础上,结合了三维超声心动图发展起来的新技术,通过追踪各个心肌斑点的运动轨迹从而得出心肌整体的三维应变[3] [4],克服了二维斑点追踪成像仅能局限于平面内追踪心肌运动的缺点[5],能更准确地评价左室功能。本研究旨在应

用 3D-STI 评价 AF 对左心室功能的影响及 RFCA 前后 AF 患者的左心室功能的变化。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

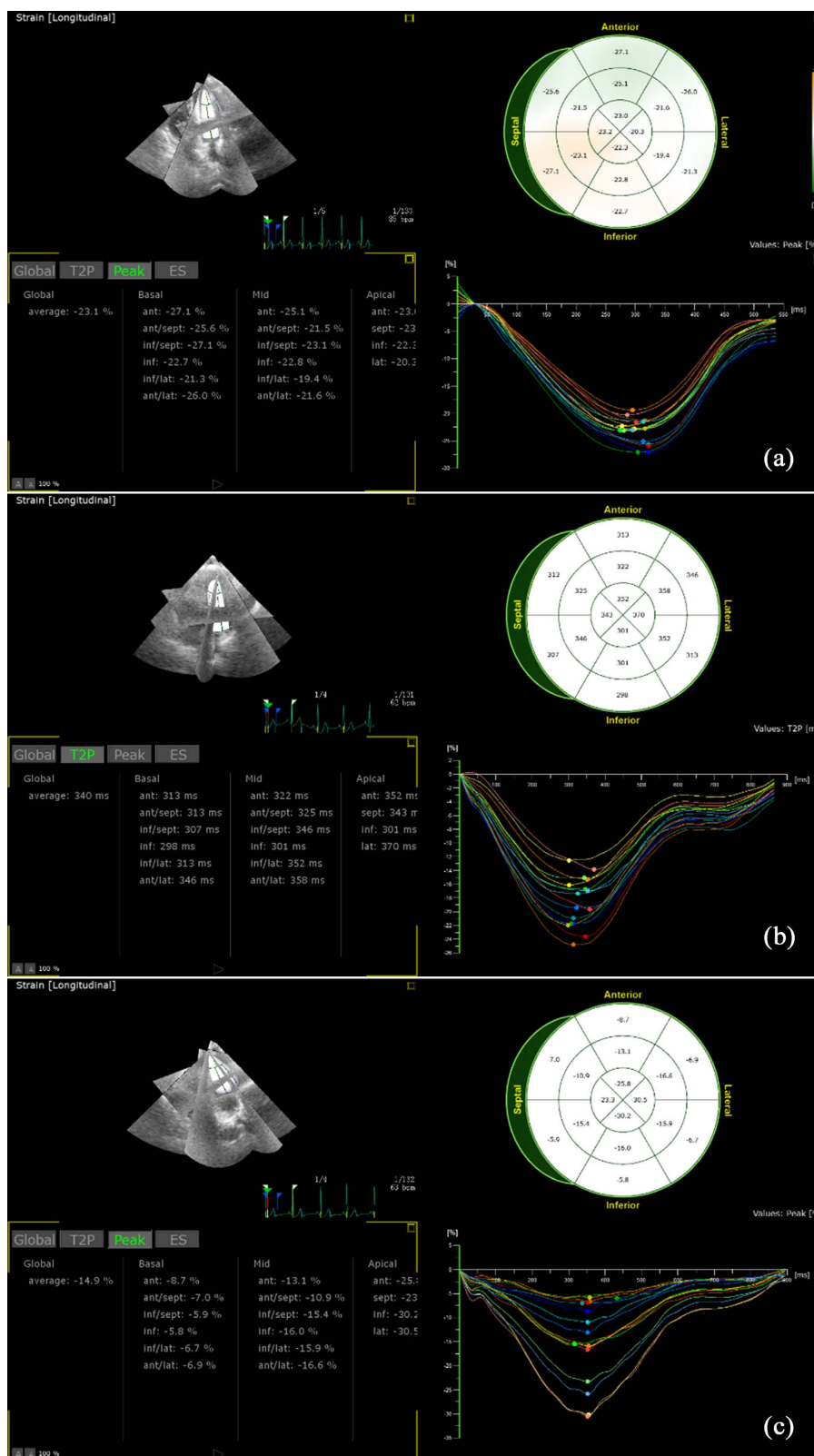
选取 2021 年 12 月~2022 年 6 月于青岛大学附属医院心内科进行 RFCA 治疗成功的 AF 患者 63 例, 其中持续性 AF (continuous AF, CAF) 32 例(CAF 组)男性 16 例, 年龄 39~76 岁, 平均年龄(58.9 ± 8.3)岁; 阵发性 AF(paroxysmal AF, PAF) 31 例(PAF 组), 男性 16 例, 年龄 40~67 岁, 平均年龄(56.5 ± 7.5)岁。纳入标准: 1) 经标准的 12 导联心电图记录或单导联心电图描记 > 30 s 显示心律, 无明显的重复 P 波和不规则的 RR 间期[6]。2) 符合《2020 年欧洲心脏病学会和欧洲心脏外科协会合作制定的心 AF 动诊断和治疗指南》关于 PAF 和 CAF 的诊断标准[6]。PAF: 在发病后 7 天内自行终止或干预终止。CAF: 持续时间超过 7 天, 包括在>7 天后由复律(药物或电复律)终止。排除标准: 1) 合并冠心病、心脏瓣膜病、心肌病、先天性心脏病、非首次行射频消融治疗的患者; 2) 合并肾功能不全、甲亢、经食道超声检查有血栓者; 3) 多方因素致图像质量不佳, 无法达到三维斑点追踪成像技术要求患者。另外选取 30 例健康体检者作为对照组, 男性 13 例, 年龄 32~78 岁, 平均年龄(54.7 ± 10.9)岁, 经临床病史、体格检查、心电图和经胸超声心动图筛查未发现异常。受检者术前 2 天内行二维及三维超声心动图检查, 术后三月行二维及三维超声心动图复查。该研究经医院道德伦理委员会批准, 所有受检者均对本研究知情同意。

### 2.2. 仪器与方法

使用 PHILIPS EPIQ 7C 彩色多普勒超声诊断仪, 配备 S5-1 二维探头(探头频率 1~5 MHz)及 X5-1 容积探头(探头频率 1~5 MHz)。连接心电图, 嘱患者平静呼吸, 取左侧卧位, 用 S5-1 常规扫查, 调节合适的深度, 于胸骨旁左心室长轴切面测量, 舒张末期左室内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVDd), 收缩末期左室内径(left ventricular end-systolic diameter, LVDs), 于心尖四腔心切面测量, 频谱多普勒测量二尖瓣口舒张早期血流峰值流速(early diastolic transmitral velocity, E)、舒张晚期血流峰值流速(late diastolic transmitral velocity, A), 计算 E/A, 测量二尖瓣口舒张期 E 波减速时间(deceleration time of E, EDT), 组织多普勒测量二尖瓣环舒张早期心肌峰值运动速度(early diastolic tissue velocity, e'), 分别测量二尖瓣环室间隔、侧壁、下壁、前壁 4 个位点的 e', 求平均值, 计算 E/e'。探头切换到 X5-1, 调节合适的深度, 于心尖四腔心切面显示清晰的左室心内膜, 启动实时三维超声, Full Volume 全容积图像模式, 调整为四个心动周期, 探头位置固定, 嘱患者屏住呼吸, 采集图像, 以 DICOM 格式存储, 以便图像脱机分析。将图像导入 Tomtec 工作站, 选取清晰的三维图像, 启动 4D LV-Analysis 3 进行分析, 软件自动描绘左心室内膜, 必要时可手动修正, 依据左心室容积变化曲线获得左心室舒张末期容积(LVEDV)、左心室收缩末期容积(LVESV), 左心室舒张末期容积指数(LVEDVI)及左心室射血分数(LVEF), 同时获得左心室整体纵向、径向、圆周应变(global longitudinal strain, GLS; global radial strain, GRS; global circumferential strain, GCS)(见图 1)。

### 2.3. 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件对数据进行分析, 计数资料以百分比(%)表示, 比较采用  $\chi^2$  检验; 计量资料采用均数 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 行正态性检验, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验, 多组间比较采用单因素方差分析,  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义, 绘制 GLS 的 ROC 曲线, 随机选取 30 例研究对象应用 Bland-Altman 进行一致性检验。



**Figure 1.** GLS curve of left ventricle (a) GLS in control group was normal, (b) GLS in PAF group was decreased, (c) GLS in CAF group was significantly decreased

**图 1.** 左心室 GLS 曲线(a)对照组 GLS 正常, (b) PAF 组 GLS 减低, (c) CAF 组 GLS 显著减低

### 3. 结果

#### 3.1. 一般资料参数比较

与 PAF 组比较, CAF 组心率加快有统计学差异( $P < 0.05$ ), 对照组、PAF 组和 CAF 组三组患者, 性别、年龄、体表面积、体质指数、高血压、糖尿病无明显统计学差异( $P > 0.05$ ) (见表 1)。

**Table 1.** Comparison of general data parameters

**表 1.** 一般资料参数比较

组别	对照组 30 例	PAF 组 31 例	CAF 组 32 例	P 值	卡方
男性(%)	43.3	48.4	46.9	0.791	0.469
年龄(岁)	54.7 ± 10.9	56.5 ± 7.5	58.9 ± 8.3	>0.05	
体表面积(m <sup>2</sup> )	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.2	>0.05	
体质指数(kg/m <sup>2</sup> )	24.9 ± 3.2	25.3 ± 2.5	24.5 ± 3.2	>0.05	
高血压(%)	37	48	53	0.412	1.774
糖尿病(%)	10	23	19	0.412	1.776
心率(次/分)	76.9 ± 5.4	73.1 ± 9.3	80.8 ± 16.5 <sup>#</sup>	<0.05	

注: 与 PAF 组比较, <sup>#</sup> $P < 0.05$ 。

#### 3.2. 常规超声心动图及三维斑点追踪指标比较

手术前: 与对照组比较, PAF 组 e'、E/e'增加, CAF 组 E/e'增加, 与对照组和 PAF 组比较, CAF 组 E 增加, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。手术后: PAF 组 e'增加, CAF 组 e'增加, E/e'减低, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ) (见表 2)。

手术前: 与对照组比较, PAF 组 GLS 减低, 与对照组和 PAF 组比较, CAF 组 GLS、GCS、LVEF 减低, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。手术后: PAF 组术后与术前比较, GLS 增加, CAF 组术后与术前比较, GLS、GCS、LVEF 增加, 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ) (见表 3)。

**Table 2.** Comparison of conventional echocardiographic parameters

**表 2.** 常规超声心动图参数比较

组别	对照组 30 例	阵发性房颤组 31 例		持续性房颤组 32 例		P 值
		术前	术后	术前	术后	
LVDd (cm)	4.3 ± 0.2	4.4 ± 0.2	4.4 ± 0.2	4.5 ± 0.4	4.5 ± 0.3	>0.05
LVDs (cm)	2.9 ± 0.2	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.2	3.0 ± 0.2	3.1 ± 0.1	>0.05
E (cm/s)	70.7 ± 16.9	78.9 ± 21.5	83.1 ± 15.2	95.2 ± 24.4 <sup>*#</sup>	89.6 ± 17.2	<0.05
A (cm/s)	77.9 ± 18.3	84.7 ± 29.4	83.6 ± 21.6		83.8 ± 18.7	>0.05
E/A	0.9 ± 0.3	1.0 ± 0.4	1.0 ± 0.2		1.1 ± 0.2	>0.05
EDT (ms)	177.5 ± 56.6	200.6 ± 45.8	207.5 ± 34.9	181.8 ± 46.2	191 ± 22.6	>0.05
e' (cm/s)	9.4 ± 2.1	8.2 ± 2.4 <sup>*</sup>	9.3 ± 1.4 <sup>a</sup>	8.8 ± 1.8	9.6 ± 1.4 <sup>b</sup>	<0.05
E/e'	8.2 ± 2.8	10.1 ± 3.5 <sup>*</sup>	9.0 ± 1.7	11.8 ± 4.2 <sup>*</sup>	9.5 ± 2.5 <sup>b</sup>	<0.05

注: 与对照组比较, <sup>\*</sup> $P < 0.05$ ; CAF 组与 PAF 组比较, <sup>#</sup> $P < 0.05$ , PAF 组术后与术前比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$ , CAF 组术后与术前比较, <sup>b</sup> $P < 0.05$ 。

**Table 3.** Comparison of 3D-STI parameters

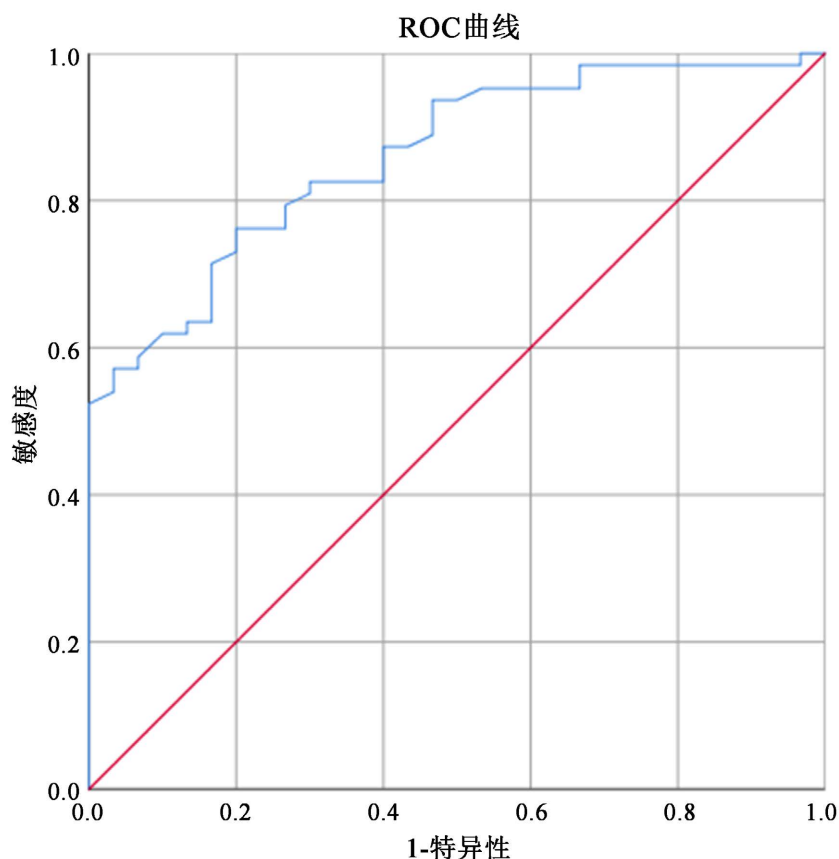
**表 3.** 3D-STI 参数比较

组别	对照组 30 例	阵发性房颤组 31 例		持续性房颤组 32 例		P 值
		术前	术后	术前	术后	
EF (%)	60.8 ± 1.3	60.1 ± 1.8	60.0 ± 1.6	57.1 ± 2.7 <sup>#</sup>	59.0 ± 1.3 <sup>b</sup>	<0.05
LVEDV (mL)	86.3 ± 9.4	90.8 ± 11.4	89.0 ± 11.1	95.5 ± 19.0	92.0 ± 13.5	>0.05
LVESV (mL)	35.0 ± 5.5	36.4 ± 5.3	38.6 ± 5.6	37.8 ± 6.4	36.9 ± 5.8	>0.05
LVEDVI (mL/m <sup>2</sup> )	50.6 ± 7.0	50.9 ± 6.7	49.8 ± 5.7	53.0 ± 10.2	51.2 ± 7.9	>0.05
GLS (%)	-20.5 ± 3.5	-17.3 ± 3.2 <sup>*</sup>	-19.2 ± 2.4 <sup>a</sup>	-12.8 ± 2.8 <sup>#</sup>	-17.4 ± 2.0 <sup>b</sup>	<0.05
GRS (%)	29.1 ± 3.9	27.9 ± 3.2	28.0 ± 2.1	27.4 ± 3.4	27.9 ± 3.4	>0.05
GCS (%)	-28.9 ± 4.5	-27.1 ± 3.4	-27.7 ± 2.5	-23.0 ± 3.2 <sup>#</sup>	-26.8 ± 3.1 <sup>b</sup>	<0.05

注：与对照组比较，<sup>\*</sup>*P* < 0.05；与 PAF 组比较，<sup>#</sup>*P* < 0.05，PAF 组术后与术前比较，<sup>a</sup>*P* < 0.05，CAF 组术后与术前比较，<sup>b</sup>*P* < 0.05。

### 3.3. 绘制房颤患者的 GLS 值 ROC 曲线

房颤患者 GLS 值最佳截断值为-17.85，其特异性为 0.80，敏感度为 0.76，约登指数为 0.56，曲线下面积为 0.86 (见图 2)。

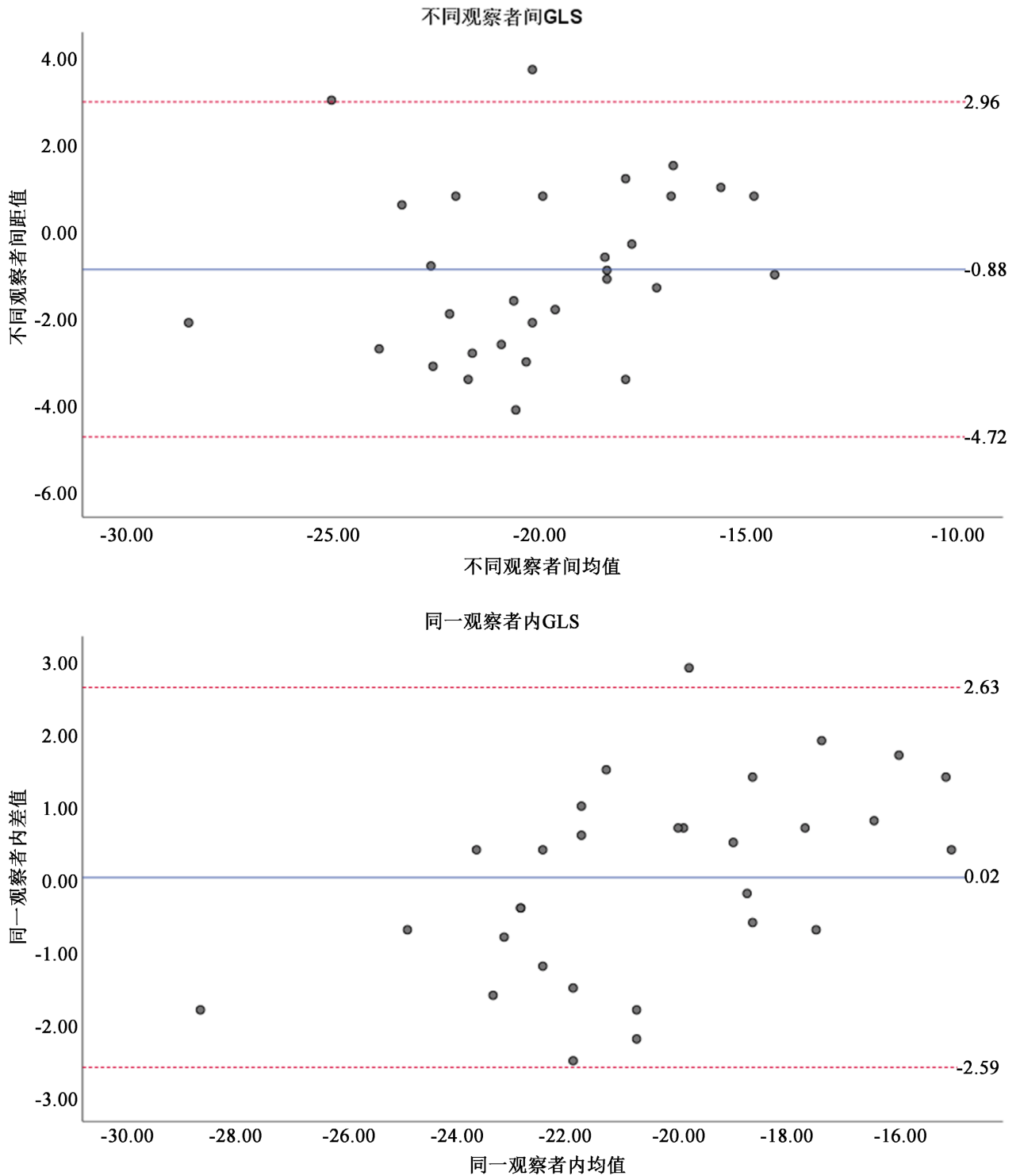


**Figure 2.** ROC curve of GLS value in patients with atrial fibrillation

**图 2.** 房颤患者 GLS 值 ROC 曲线

### 3.4. 重复性检验

Bland-Altman 图显示：GLS 在不同观察间和观察者内间均具有良好的 consistency (见图 3)。



**Figure 3.** Bland-Altman analysis results of GLS in different observation rooms and observers

**图 3.** 不同观察间和观察者内 GLS 的 Bland-Altman 分析结果

## 4. 讨论

据 2010 年统计, 全球 AF 患者估测约 3350 万例[1]。年龄是 AF 的危险因素之一, 每增加 10 岁, AF 发病率就会增加一倍[7]。随着人口老龄化的持续加剧, AF 的发生率逐步增加。亚洲 AF 流行病学研究结果显示, 预计到 2050 年, 亚洲 AF 患病人数将达到 7200 万人[8]。AF 增加了卒中、心衰、心肌梗死、痴呆和肾功能不全等疾病的风险, 这将导致现代医疗保健系统的压力不断增加, 造成巨大的经济负担。

左心室心内膜和心外膜心肌纤维的方向存在差异, 它的心肌结构是由两种螺旋纤维几何形状构成的跨壁连续体, 心内膜区域的右旋螺逐渐转变为心外膜区域的左旋螺[9]。心肌纤维这种复杂的排列方式使得左心室心肌分为深层纵向和环形运动的心肌以及浅层的径向运动的心肌, 三个方向的空间运动形式, 分别产生了纵向、圆周及径向应变, 这可以用来评估左心室功能变化[10]。本研究采用 3D-STI 对 PAF 和 CAF 患者 RFCA 前后的左心室功能变化进行评价。发现与对照组相比, PAF 术前, 虽然左心室收缩功能保留, 但 GLS 明显降低, 说明 PAF 患者早期心功能已经受损, 3D-STI 所得出的应变参数较 LVEF 更能反映心功能的微小变化。本研究中, 各种应变之间存在差异, 以 GLS 变化显著, 这种差异可以用以下事实来解释, 即位于心内膜下的纵向纤维可能更容易受到病理变化的影响。Reant [11]等人注意到, 在心肌缺血的动物模型中, 纵向应变和周向应变对冠状动脉血流减少最为敏感。此外, Fang [12]等人证明了, 与对照组相比, 53 名糖尿病患者纵向应变显著受损, 这些结果都与本研究的结果一致。

AF 患者的心律不齐是诱发心肌病的常见原因, 其病理生理过程与心室纤维化密切相关, 心室的纤维化引起其结构、功能的重塑[2]。左心室功能不全的程度和左心室心肌的变化与心律不齐的持续时间和频率有关[13]。本研究中, 相比对照组术前 CAF 较 PAF 的 GLS 减低更显著, 同时 CAF 的 GCS 也出现了较大改变。说明 CAF 患者心肌受损较 PAF 患者更严重, 而 GCS 的减低则表明心肌损害已经达到了影响较外层心肌的程度。与 PAF 患者相比, CAF 患者通常承受更重的 AF 负担, 例如频率更高、持续时间更长、症状更严重, 这进一步加速了心肌纤维化的进程, 从而加重左室系统功能障碍, 因此, CAF 患者通常具有更低的 GLS、GCS。

在没有结构性心脏病病史的情况下, AF 的心肌功能障碍是可逆的[14] [15]。AF 患者, 左房的收缩功能受损、房室的同步性丧失和心室节律不规则均会降低左心室功能。研究发现 PAF 和 CAF 患者与术前相比, 术后 GLS 较术前增加。说明 RFCA 术后, 心脏节律得到调节、左房收缩功能改善和房室收缩同步化, 可增加 AF 患者的心肌变形能力, 证明左心室功能发生逆转。术后 GLS 改善较大, 证明 GLS 更早、更能敏感的反映心肌的变形能力。GRS 在本研究中存在改变, 但改变无统计学意义, 笔者分析可能原因, 左心室功能虽然改变, 但心外膜受影响较小且变化较缓慢, 心肌的损害还没有达到影响最外层心肌的程度, 所以本研究中未表现出较明显的改变。

本研究样本量较小, 在以后的研究中可以扩大样本量、多中心合作、长时间随访, 以获得更准确的数据。3D-STI 其时间及空间分辨率仍较低, 对二维图像的清晰度要求较高, 尽管本研究中 CAF 患者尽量选取心率较齐且取五个心动周期取平均值, 仍可能存在一定的误差。

综上所述, RFCA 能有效逆转 PAF 和 CAF 患者的左心室重构, 改善患者左心室收缩功能。3D-STI 的 GLS、GCS 能有效评价心功能, 并在 LVEF 变化不明显时可早期发现心功能的微小变化, 为临床早期干预提供有效的理论支撑。

## 参考文献

- [1] 黄从新, 张澍, 黄德嘉, 华伟. 心房颤动: 目前的认识和治疗的建议-2018 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2018, 32(4): 315-368.
- [2] 文鹤龄, 陈宇, 梁中书. 三维斑点追踪成像对阵发性房颤患者射频消融术前后左心室收缩功能的评价[J]. 实用



- 医学杂志, 2019, 35(3): 467-470.
- [3] 赵夏, 庄磊, 陈鹏飞, 赵昌林. 超声三维斑点追踪成像评价蒽环类药物对乳腺癌化疗患者心脏亚临床损伤的价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2022, 20(6): 563-566.
- [4] Muraru, D., Niero, A., Rodriguez-Zanella, H., Cherata, D. and Badano, L. (2018) Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography: Benefits and Limitations of Integrating Myocardial Mechanics with Three-Dimensional Imaging. *Cardiovascular Diagnosis & Therapy*, **8**, 101-117. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.06.01>
- [5] 黎梦, 章子铭, 吕清, 汪雨珊, 王书媛, 李贺, 谢明星, 张丽. 三维斑点追踪技术评价肥厚型心肌病患者左心室心肌力学特点[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2021, 18(3): 250-257.
- [6] Hindricks, G., Potpara, T., Dagres, N., *et al.* (2021) 2020 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation Developed in Collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the Diagnosis and Management of Atrial Fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the Special Contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *European Heart Journal*, **42**, 373-498. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612>
- [7] Li, H., Song, X., Liang, Y., *et al.* (2022) Global, Regional, and National Burden of Disease Study of Atrial Fibrillation/Flutter, 1990-2019: Results from a Global Burden of Disease Study, 2019. *BMC Public Health*, **22**, Article No. 2015. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-14403-2>
- [8] Chiang, C.-E., Wang, K.-L. and Lip, G.Y.H. (2014) Stroke Prevention in Atrial Fibrillation: An Asian Perspective. *Thrombosis and Haemostasis*, **111**, 789-797. <https://doi.org/10.1160/TH13-11-0948>
- [9] Isaak, A., Kravchenko, D., Mesropyan, N., *et al.* (2022) Layer-Specific Strain Analysis with Cardiac MRI Feature Tracking in Acute Myocarditis. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, **4**, e210318. <https://doi.org/10.1148/ryct.210318>
- [10] Chen, X., Huang, F., Liu, Y., Liu, S. and Tan, G. (2022) Exosomal miR-152-5p and miR-3681-5p Function as Potential Biomarkers for ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *Clinics*, **77**, Article ID: 100038. <https://doi.org/10.1016/j.clinsp.2022.100038>
- [11] Reant, P., Labrousse, L., Lafitte, S., *et al.* (2008) Experimental Validation of Circumferential, Longitudinal, and Radial 2-Dimensional Strain during Dobutamine Stress Echocardiography in Ischemic Conditions. *Journal of the American College of Cardiology*, **51**, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.07.088>
- [12] Fang, Z.Y., Leano, R. and Marwick, T.H. (2004) Relationship between Longitudinal and Radial Contractility in Sub-clinical Diabetic Heart Disease. *Clinical Science*, **106**, 53-60. <https://doi.org/10.1042/CS20030153>
- [13] 刘娟, 尹立雪, 孟庆国, 等. 超声血流向量成像联合二维组织追踪技术评价心房颤动患者左心房心肌功能及血流能量损耗[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(5): 680-685.
- [14] Hajime, F., Naofumi, D., Satoshi, O., *et al.* (2022) Long-Term Prognosis of Patients Undergoing Radiofrequency Catheter Ablation for Atrial Fibrillation: Comparison between Heart Failure Subtypes Based on Left Ventricular Ejection Fraction. *EP Europace*, **24**, 576-586. <https://doi.org/10.1093/europace/euab201>
- [15] Qiao, Y., Zhao, Z., Cai, X., *et al.* (2022) Long-Term Prognosis of Radiofrequency Catheter Ablation for Atrial Fibrillation with Different Subtypes of Heart Failure in the Era of Ablation Index Guidance. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, Article 922910. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.922910>