

## 二尖瓣环位移自动追踪技术评价阵发性心房颤动患者左房收缩功能

马秀玲 郭泰 芦芳

**摘要** **目的** 应用二尖瓣环位移自动追踪(TMAD)技术评价阵发性心房颤动(以下简称房颤)患者左房收缩功能。**方法** 选取 30 例阵发性房颤患者(病例组)和 30 例正常对照组,应用二维斑点追踪超声心动图(2D-STE)技术获取左室收缩期、舒张早期、舒张晚期的左房平均峰值应变率(mSRs、mSR<sub>e</sub>、mSR<sub>a</sub>),以及经标化的左房最大容积指数(LAV<sub>imax</sub>)、最小容积指数(LAV<sub>imin</sub>)、收缩前容积指数(LAV<sub>ip</sub>),并计算左房总排空分数(LATEF)、被动排空分数(LAPEF)、主动排空分数(LAAEF);同时 TMAD 技术获取时间-位移曲线,测量左室收缩期二尖瓣环位移(TMAD-D)、左房收缩期二尖瓣环位移(TMAD-S);比较两组上述各参数差异。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析应变率及 TMAD 参数对阵发性房颤患者的诊断效能;并对 TMAD 参数进行重复性检验。比较两种技术测量用时。**结果** 病例组 LAV<sub>imax</sub>、LAV<sub>imin</sub> 及 LAV<sub>ip</sub> 均较对照组增大,LATEF、LAPEF、LAAEF、mSRs、mSR<sub>e</sub>、mSR<sub>a</sub>、TMAD-D、TMAD-S 均较对照组减小,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。TMAD-D、TMAD-S、mSRs、mSR<sub>a</sub> 预测阵发性房颤的 ROC 曲线下面积分别为 0.867、0.808、0.944、0.850。TMAD-D 和 TMAD-S 观察者内组内相关系数分别为 0.964、0.888,观察者间组内相关系数分别为 0.918、0.860。TMAD 测量用时较 2D-STE 明显缩短( $P < 0.05$ )。**结论** TMAD 可评估阵发性房颤患者左房收缩功能,与 2D-STE 诊断效能相当,但 TMAD 较 2D-STE 检测时间更短。

**关键词** 二尖瓣环位移自动追踪技术;斑点追踪,二维;阵发性房颤;收缩功能,心房,左  
[中图分类号]R540.45;R541 [文献标识码]A

### Evaluation of left atrial systolic function in patients with paroxysmal atrial fibrillation by tracking of mitral annular displacement technology

MA Xiuling, GUO Tai, LU Fang

Department of Ultrasound, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China

**ABSTRACT** **Objective** To evaluate the left atrial systolic function in patients with paroxysmal atrial fibrillation (PAF) by tracking of mitral annular displacement technology (TMAD). **Methods** Thirty patients with PAF (case group) and 30 normal controls (control group) were selected. The mean value of the peak strain rate of left ventricular systolic, early and late diastolic of left atrium (mSRs, mSR<sub>e</sub>, mSR<sub>a</sub>), standardized left atrial maximal volume index (LAV<sub>imax</sub>), minimal volume index (LAV<sub>imin</sub>) and pre systolic volume index (LAV<sub>ip</sub>) were obtained by two-dimensional speckle tracking echocardiography (2D-STE), and left atrial total emptying fraction (LATEF), passive emptying fraction (LAPEF) and active emptying fraction (LAAEF) were calculated. Meanwhile, the time-displacement curve was obtained by TMAD, the left ventricular systolic mitral annular displacement (TMAD-D) and left atrial systolic mitral annular displacement (TMAD-S) were measured. And the differences of above parameters were compared between the two groups. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the values of strain rate and TMAD parameters in detecting PAF. And the repeatability test of TMAD parameters was conducted. The measurement time of TMAD and 2D-STE was recorded. **Results** Compared with the control group, LAV<sub>imax</sub>, LAV<sub>imin</sub> and LAV<sub>ip</sub> in case group were higher, and LATEF, LAPEF, LAAEF, mSRs, mSR<sub>e</sub>, mSR<sub>a</sub>, TMAD-D, TMAD-S in case group were lower, the differences were statistically significant (all  $P < 0.05$ ). The area under the ROC curve of TMAD-D, TMAD-S, mSRs and mSR<sub>a</sub> in predicting PAF were about 0.867, 0.808, 0.944 and 0.850, respectively. The intra-observer correlation coefficients of TMAD-D and TMAD-S mean were 0.964 and 0.888, and the inter-observer correlation coefficients were 0.918 and 0.860,

respectively. The measurement time of TMAD was significantly shorter than that of 2D-STE ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** TMAD can detect the changes of left atrial systolic function in patients with PAF, and the detection time of TMAD is shorter than that of 2D-STE.

**KEY WORDS** Tracking of mitral annular displacement technology; Speckle tracking imaging, two-dimensional; Paroxysmal atrial fibrillation; Systolic function, atrial, left

心房颤动(以下简称房颤)是临床常见的心律失常之一,发病率随年龄增长而增加,阵发性房颤随病情进展可发展为持续性,甚至永久性房颤。房颤发生时,左房不规则收缩可引起左房血流动力学异常,血液瘀滞,血栓形成,脱落导致血栓栓塞、卒中、心力衰竭等并发症<sup>[1-2]</sup>。阵发性房颤发作时间短,尚未捕捉就已转复成窦性心律,但左房收缩功能已经受损<sup>[3]</sup>。二维斑点追踪超声心动图(2D-STE)技术在评估左房功能上具有一定的可行性及优越性,但其受限于左房形态不规则、房壁薄,且对图像质量要求较高、操作复杂;而二尖瓣环位移自动追踪(TMAD)技术是基于斑点追踪技术来评估左房收缩功能,不依赖于图像质量及左房壁厚度的影响,恰好弥补了这一缺陷。本研究通过比较TMAD与2D-STE评估阵发性房颤患者左房收缩功能,旨在探讨TMAD技术的诊断价值。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取2019年5~12月我院收治的阵发性房颤患者30例(病例组),其中男19例,女11例,年龄54~79岁,平均(65.40±9.42)岁。其中冠状动脉粥样硬化性心脏病(以下简称冠心病)6例,高血压性心脏病12例,糖尿病8例,未发现器质性心脏病4例。纳入标准:①均符合阵发性房颤的诊断标准<sup>[4]</sup>;②二尖瓣反流程度为轻度及以下;③左室射血分数(LVEF)≥50%;④均为窦性心律。排除标准:①先天性心脏病、瓣膜性心脏病、心肌病、心肌炎、心力衰竭、心包积液、严重高血压病(3级以上)、甲状腺功能亢进等;②合并肺疾病或伴有严重血液系统疾病者;③人工瓣换瓣术后;④二尖瓣环严重钙化者;⑤未能配合检查者;⑥透声条件欠佳,未能获得满意图像者。另选同期30例健康志愿者(对照组),其中男16例,女14例,年龄51~75岁,平均(61.45±7.23)岁;均为窦性心律。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有研究对象均签署知情同意书。

### 二、仪器与方法

1. 仪器:使用 Philips EPIQ 7C 彩色多普勒超声诊断仪, S5-1 探头, 频率 3.5~5.0 MHz; 配有 Qlab 10.5 定

量分析软件。

2. 常规超声心动图检查:受检者取左侧卧位,于胸骨旁左室长轴切面测量左房前后径(LAD)、左室射血分数(LVEF);于心尖四腔心切面测量二尖瓣口舒张早、晚期血流速度比值(E/A)及二尖瓣环室间隔和侧壁舒张早期运动速度的平均值(e),计算二尖瓣口舒张早期血流速度与e比值(E/e)。采集心尖三腔心、两腔心、四腔心切面的动态图像,并存储待后期分析。

3. 2D-STE 技术检查:打开 Qlab 10.5 软件中 aCMQ 软件,手动描记左房心外膜及心内膜边界,调整宽度,软件自动得到左房时间-应变率曲线,测量左室收缩期、舒张早期、舒张晚期的左房平均峰值应变率值(mSRs, mSRe, mSRa),根据时间-容积曲线记录左房最大容积(LAVmax)、最小容积(LAVmin)、收缩前容积(LAVp),并对上述容积指标进行标化(LAVimax, LAVimin, LAVip),计算左房总排空分数(LATEF)、被动排空分数(LAPEF)、主动排空分数(LAAEF)。计算公式为:  $LATEF = (LAVimax - LAVimin) / LAVimax \times 100\%$ ;  $LAPEF = (LAVimax - LAVip) / LAVimax \times 100\%$ ;  $LAAEF = (LAVip - LAVimin) / LAVip \times 100\%$ 。

4. TMAD 技术检查:分别于心尖两腔心、四腔心切面的前壁及下壁侧、间隔及侧壁侧的心房底部(接近二尖瓣环、在瓣叶合页线上方心房壁)放置2个固定点,在心房顶部放置第3个固定点,得到时间-位移曲线,记录4个点最大正、负位移点及平台期的位置。其中最大正、负位移点之间为二尖瓣环左室收缩期位移(TMAD-D),平台期与最大正位移点之间为左房收缩期位移(TMAD-S),取4点平均值。

以上所有操作均由同一超声医师完成。所有参数均采取连续3个心动周期的平均值。

### 三、重复性检验

从两组中分别随机选取10例,15 d后由同一观察者及另一名观察者再次测量TMAD-D、TMAD-S,行观察者内及观察者间的重复性检验。

### 四、统计学处理

应用 SPSS 26.0 统计软件,计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组比较行独立样本  $t$  检验;计数资料以例或率表示,两

组比较行 $\chi^2$ 检验。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,分析各参数预测阵发性房颤的诊断效能,确定曲线下面积(AUC)。TMAD参数观察者内与观察者间的一致性检验采用Bland-Altman一致性分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、两组一般资料比较

对照组与病例组年龄、身高、体质量、收缩压、舒张压、心率、体表面积比较差异均无统计学意义。见表1。

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)	收缩压(mm Hg)	舒张压(mm Hg)	心率(次/min)	体表面积(m <sup>2</sup> )
病例组	19/11	65.40±9.42	167.10±9.30	71.70±15.03	129.10±23.25	81.05±18.32	80.35±15.75	1.78±0.23
对照组	16/14	61.45±7.23	164.75±7.31	69.45±11.24	134.05±24.41	79.40±13.12	81.15±14.69	1.74±0.24
$\chi^2/t$ 值	0.960	0.362	0.888	0.536	0.657	0.327	0.166	0.667
$P$ 值	0.327	0.692	0.380	0.595	0.515	0.745	0.869	0.509

1 mm Hg=0.133 kPa

### 二、两组常规超声心动图参数比较

病例组LAD较对照组增大,差异有统计学意义( $P<0.05$ );两组LVEF、E/A、E/e及e比较差异均无统计学意义。见表2。

### 三、两组2D-STE参数和TMAD参数比较

病例组LAVimax、LAVimin及LAVip均较对照组增大,LATEF、LAPEF、LAAEF、mSRs、mSRe、mSRa、TMAD-D、TMAD-S均较对照组减小,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。见表3和图1,2。

### 四、TMAD参数预测阵发性房颤的诊断效能

TMAD-D、TMAD-S、mSRs、mSRa预测阵发性房颤

表2 两组常规超声心动图参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	LVEF(%)	LAD(mm)	E/A	E/e	e(cm/s)
病例组	63.08±4.88	39.86±4.51	0.84±0.40	8.29±2.31	8.06±1.53
对照组	65.84±3.94	35.29±3.09	1.03±0.39	8.80±3.04	9.06±1.79
$t$ 值	2.047	-3.897	1.335	0.483	1.702
$P$ 值	0.057	<0.01	0.191	0.633	0.099

LVEF:左室射血分数;LAD:左房前后径;E/A:二尖瓣口舒张早、晚期血流速度比值;E/e:二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环室间隔和侧壁舒张早期运动速度的平均值比值;e:二尖瓣环室间隔和侧壁舒张早期运动速度的平均值

的AUC分别约0.867、0.808、0.944、0.850。见图3。

表3 两组2D-STE参数和TMAD参数比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	2D-STE参数									TMAD参数(mm)	
	LAVimax (ml/m <sup>2</sup> )	LAVimin (ml/m <sup>2</sup> )	LAVip (ml/m <sup>2</sup> )	LATEF (%)	LAPEF (%)	LAAEF (%)	mSRs (s <sup>-1</sup> )	mSRe (s <sup>-1</sup> )	mSRa (s <sup>-1</sup> )	TMAD-D	TMAD-S
病例组	47.45±13.62	29.16±11.35	36.43±15.17	41.21±12.53	25.14±4.87	28.11±10.88	1.01±0.48	-1.42±0.37	-1.68±0.53	8.58±1.66	4.05±1.05
对照组	32.10±9.11	12.81±6.56	22.49±7.90	62.82±10.41	35.77±14.27	44.81±10.90	1.93±0.39	-1.85±0.78	-2.51±0.68	12.08±2.22	5.78±1.35
$t$ 值	-3.691	-4.899	-2.797	5.489	2.651	3.033	6.487	-2.193	-2.712	7.311	5.880
$P$ 值	0.001	<0.01	0.011	<0.01	0.016	0.021	<0.01	0.037	0.012	<0.01	<0.01

LAVimax:左房最大容积指数;LAVimin:左房最小容积指数;LAVip:左房收缩前容积指数;LATEF:左房总排空分数;LAPEF:左房被动排空分数;LAAEF:左房主动排空分数;mSRs:左室收缩期左房平均峰值应变率;mSRe:左室舒张早期左房平均峰值应变率;mSRa:左室舒张晚期左房平均峰值应变率;TMAD-D:左室收缩期二尖瓣环位移;TMAD-S:左房收缩期二尖瓣环位移

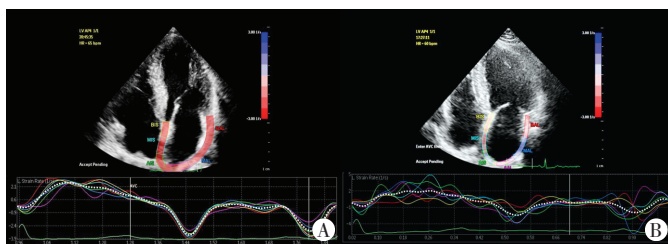


图1 两组2D-STE图  
A:对照组,mSRs、mSRe、mSRa分别为2.231 s<sup>-1</sup>、-3.678 s<sup>-1</sup>、-2.765 s<sup>-1</sup>;  
B:病例组,mSRs、mSRe、mSRa分别为1.897 s<sup>-1</sup>、-2.459 s<sup>-1</sup>、-1.982 s<sup>-1</sup>

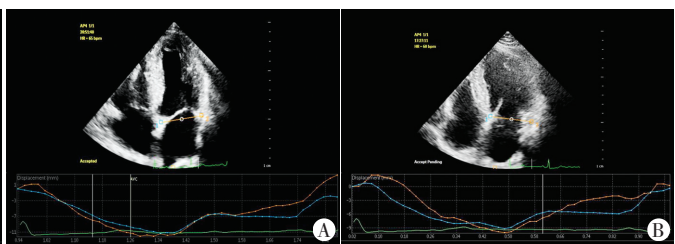


图2 两组TMAD图  
A:对照组,TMAD-D为10.76 mm, TMAD-S为5.02 mm; B:病例组, TMAD-D为8.87 mm, TMAD-S为5.42 mm

图1 两组2D-STE图

图2 两组TMAD图



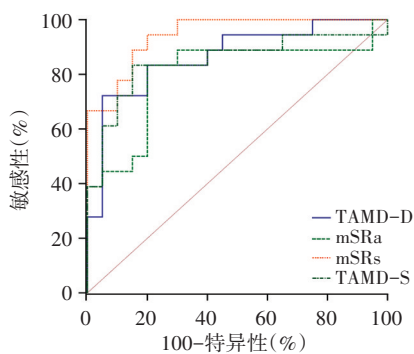
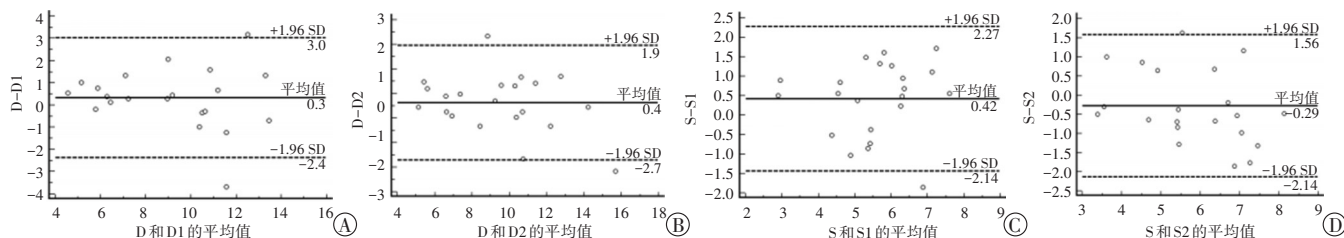


图3 各参数预测阵发性房颤的ROC曲线图



A、B:分别为TMAD-D观察者间及观察者内Bland-Altman图;C、D:分别为TMAD-S观察者间及观察者内Bland-Altman图

图4 TMAD-D、TMAD-S观察者间及观察者内Bland-Altman图

### 讨论

研究<sup>[5-6]</sup>表明,合并高血压病、冠心病、糖尿病、高脂血症等危险因素的患者极易引发房颤。房颤发生时左房发生重构,其进展过程首先是电重构,随后收缩重构,最后是结构重构<sup>[7]</sup>。左房功能包括左室收缩期的储存功能及左室舒张早、中期的管道功能及左房收缩期的泵功能<sup>[8]</sup>。Shang等<sup>[9]</sup>研究表明2D-STE技术较常规超声能更早发现左房收缩功能改变先于结构的变化,其中mSRs、LAVimax、LATEF反映储存功能,mSRe、LAVip、LAPFF反映管道功能,mSRa、LAVimin、LAAFF反映泵功能。本研究病例组LAVimax、LAVip、LAVimin均较对照组增加,mSRs、LATEF、mSRe、LAPFF、mSRa、LAAFF均较对照组减低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。提示阵发性房颤患者3个时期左房容积增大,功能减低,与牛海燕等<sup>[1]</sup>研究结果一致。分析原因可能是房颤发生时,心肌细胞受损,心肌间质纤维化加重,电传导加快,顺应性变差,心肌形变能力减弱,进而加重房颤,周而复始致左房3个时期功能减低<sup>[10-12]</sup>。

但是2D-STE技术操作复杂,对图像质量要求高,要求清楚显示左房心内膜及左房壁,需手动调节取样框宽度,易受肺静脉干扰,斑点容易减少甚至丢失,因此临床需要一种快速简便的方法来评价阵发性房颤患者左房收缩功能。TMAD技术是基于斑点追踪技术

### 五、TMAD参数重复性检验

TMAD-D、TMAD-S观察者内组间相关系数(*ICC*)分别为0.964、0.888,观察者间*ICC*分别为0.918、0.860。TMAD-D观察者间和观察者内的一致性界限分别为-2.383~3.006、-2.714~1.946;TMAD-S观察者间和观察者内的一致性界限分别为-2.143~2.271、-2.140~1.563。见图4。

### 六、TMAD技术与2D-STE测量用时比较

TMAD技术与2D-STE测量用时分别为(169.50±27.48)s和(246.42±34.45)s,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

追踪二尖瓣环相对于心房顶测量二尖瓣环位移参数评估左房功能,其中TMAD-D代表储备功能,TMAD-S代表泵功能<sup>[13]</sup>。研究<sup>[14-15]</sup>表明左房顶部静脉血管进入,多为纤维组织组成,不参与左房运动,无明显收缩运动,位置相对固定,可以作为固定点进行参考。左房心肌以纵向心肌为主,大量心肌纤维又附着于二尖瓣环,二尖瓣环可以沿心底及心尖纵向运动,二尖瓣环纵向偏移在左房与左室之间可引起血流动力学的变化,促进左房及左室的充盈与排空,在左室舒张期,二尖瓣环朝左室心尖相反方向运动,即朝向左房顶部运动促进了左室充盈;在左室收缩期,二尖瓣环朝向心尖移动即背离左房顶运动,左室流出道和主动脉间的容量减少,扩大左房容量,肺静脉血液回流入左房增多<sup>[16-17]</sup>。本研究结果表明,病例组因左房发生过不规则收缩,即使恢复成窦性心律,左房恢复规则收缩,左房主动排血量减少,心肌纤维牵拉二尖瓣环向房顶侧移位,二尖瓣环运动的位移减小,TMAD-S减小,即泵功能减小,此时,房颤患者左房容量负荷增加,容积增加,房内压增高;左室收缩期开始后,心肌纤维牵拉二尖瓣环远离心房顶运动,左房压下降,肺静脉流入左房的血量减少,二尖瓣环运动的位移较对照组减小,TMAD-D减小,即储备功能减小;心室舒张早中期左室主动舒张,左室压下降,二尖瓣环朝向心房顶运动,促进左室的充盈,二尖瓣环运动位移增大,在舒张中期心房内压保持不变,心房容积不变,二尖瓣环运

动位移保持不变,直至下一个心房收缩开始。TMAD 技术所需点少,图像仅需清晰显示两侧瓣环与心房顶部,不受肺静脉及左心耳影响,操作流程简便,所测 TMAD-D、TMAD-S 的观察者内 ICC 值分别为 0.964、0.888,观察者间 ICC 值分别为 0.918、0.860,观察者间和观察者内的 ICC 值均大于 0.85,一致性相对较高,变异相对较小,测量结果相对准确,均在临床可接受范围,而且测量左房功能用时为  $(169.50 \pm 27.48)$ s,也较 2D-STE 短  $[(246.42 \pm 34.45)$ s],可为临床提供更方便省时的方法以评估阵发性房颤左房收缩功能。

此外,本研究 ROC 曲线分析结果表明,TMAD 参数(储备 AUC=0.867,泵 AUC=0.808,  $P < 0.05$ )与 2D-STE 参数(储备 AUC=0.944,泵 AUC=0.850,  $P < 0.05$ )均可以很好地检测阵发性房颤患者,但较 2D-STE 参数稍弱,与 Strachinaru 等<sup>[13]</sup>检测结果一致。分析原因可能是由于房颤患者异位触发点以肺静脉多见<sup>[4]</sup>,2D-STE 追踪心肌组织不包括肺静脉入口处心肌,且在一个切面追踪心肌组织,斑点丢失;而 TMAD 技术虽不受肺静脉影响,但可能会受二尖瓣环径向收缩与旋转等运动的影响所致。

本研究局限性:①属小样本量研究,结果尚需大样本量进一步证实;②未采集阵发性房颤发作期的患者;③TMAD 相对于房顶的瓣环位移参数研究较少;④对一些二尖瓣环钙化的患者不适用。

综上所述,TMAD 技术具有方便、省时、重复性好等优点,可用来评估阵发性房颤患者左房收缩功能,为疾病的早期干预指导临床用药和治疗如射频消融术前后对比左房功能的变化等提供更好的监测手段。

#### 参考文献

[1] 牛海燕,田国祥,张敏郁,等.三维超声心动图及斑点追踪成像评价左心房不同构型阵发性房颤患者左心房功能的临床研究[J].中国循证心血管医学杂志,2020,12(1):39-42.

[2] Mesa F, Rodríguezberral R, Medina F. On the computation of the dispersion diagram of symmetric one-dimensional hyperperiodic structures[J].Symmetry,2018,10(8):307-308.

[3] Murakami H, Hotta D, Ruhnke GW. Paradoxical Doppler echocardiographic parameters during recovery of left atrial contractility after spontaneous conversion from paroxysmal atrial fibrillation to sinus rhythm[J].J Cardiol Cases,2020,22(6):302-304.

[4] 黄从新,张澍,黄德嘉,等.心房颤动:目前的认识和治疗建议——2018[J].中国心脏起搏与心电生理杂志,2018,32(4):315-365.

[5] Calkins H, Hindricks G, Cappato R, et al.2017 HRS/EHRA/ECAS/APHRS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation[J].Europace,2018,20(1):1-160.

[6] 蒋忠杰.21 例阵发性心房颤动的诊疗体会[J].世界最新医学信息文摘,2016,16(63):77.

[7] Laish-Farkash A, Perelshtein Brezinov O, Valdman A, et al. Evaluation of left atrial remodelling by 2D-speckle-tracking echocardiography versus by high-density voltage mapping in patients with atrial fibrillation[J].J Cardiovasc Electrophysiol,2021,32(2):305-315.

[8] Hoit BD. Assessing atrial mechanical remodeling and its consequences [J].Circulation,2005,112(3):304-306.

[9] Shang Z, Su D, Cong T, et al. Assessment of left atrial mechanical function and synchrony in paroxysmal atrial fibrillation with two-dimensional speckle tracking echocardiography [J].Echocardiography,2017,34(2):176-183.

[10] Saraiva RM, Demirkol S, Buakhamsri A, et al. Left atrial strain measured by two-dimensional speckle tracking echocardiography represents a new tool to evaluate left atrial function [J].J Am Soc Echocardiogr,2010,23(2):172-180.

[11] Mori M, Kanzaki H, Amaki M, et al. Impact of reduced left atrial functions on diagnosis of paroxysmal atrial fibrillation: results from analysis of time-left atrial volume curve determined by two-dimensional speckle tracking [J].J Cardiol,2011,57(1):89-94.

[12] 焦晓芳,陈昕,张婷婷,等.左心房容积指数及应变评价二尖瓣成形术后左心房逆向重构[J].中国临床医学影像杂志,2018,29(1):14-17.

[13] Strachinaru M, Annis C, Catez E, et al. The mitral annular displacement by two-dimensional speckle tracking: a new tool in evaluating the left-atrial function [J].J Cardiovasc Med(Hagerstown),2016,17(5):344-353.

[14] 吴雅峰,张娟,吴江,等.解剖 M 型超声对正常人心房功能的分析研究[J].中国超声诊断杂志,2003,4(5):337-338.

[15] Cianciulli TF, Saccheri MC, Lax JA, et al. Two-dimensional speckle tracking echocardiography for the assessment of atrial function [J].World J Cardiol,2010,2(7):163-170.

[16] Faletta FF, Leo LA, Paiocchi VL, et al. Anatomy of mitral annulus insights from non-invasive imaging techniques [J].Eur Heart J Cardiovasc Imaging,2019,20(8):843-857.

[17] Carlhäll C, Wigström L, Heiberg E, et al. Contribution of mitral annular excursion and shape dynamics to total left ventricular volume change [J].Am J Physiol Heart Circ Physiol,2004,287(4):1836-1841.

(收稿日期:2020-07-01)