

经食管三维超声心动图评估正常成人二尖瓣结构及变化规律的价值

韩涛 王陵 曹亮 白炜 李昱茜 杜蒙蒙 刘丽文 孟欣

摘要 **目的** 探讨经食管三维超声心动图评估正常成人二尖瓣结构及其随心动周期变化规律的临床价值。**方法** 收集 37 例正常成人二尖瓣食管中段二维及实时三维全容积成像的图像资料,完整包括二尖瓣及主动脉瓣结构,记录舒张早、中、晚期及收缩早、中、晚期共 6 个时相的二尖瓣结构参数,包括瓣环前后径和左右径、内纤维三角距离、瓣叶交界距离、瓣环高度、瓣环高度/左右径、非平面角度、瓣环面积、瓣环周长、前后瓣环长度、主动脉-二尖瓣(AO-MV)瓣环夹角、AO-MV 中点距离,以及收缩期 6 个瓣叶分区对合点至瓣环连线间垂直距离(TH)和对合点下面积(TA),获得其正常值并分析其随心动周期变化的规律。**结果** 成功获得 37 例正常成人二尖瓣结构参数的正常值,其随心动周期呈规律性变化,表现为瓣环前后径和左右径、瓣环面积、瓣环周长、前后瓣环长度、内纤维三角距离、瓣叶交界距离的最大值均出现在舒张期,最小值均出现在收缩期;瓣环高度、瓣环高度/左右径、非平面角度、AO-MV 瓣环夹角、AO-MV 中点距离的最大值均出现在收缩期,最小值均出现在舒张期;瓣叶 3 个分区的 TH 及 TA 最大值和最小值分别出现在收缩期早期和晚期。**结论** 经食管三维超声心动图能准确测量二尖瓣结构参数,有助于临床理解二尖瓣结构的运动规律,为进一步研究二尖瓣病变的结构变化奠定基础,具有较好的临床应用价值。

关键词 超声心动描记术,经食管,三维;二尖瓣结构;心动周期;正常成人
[中图分类号]R540.45 [文献标识码]A

Value of three-dimensional transesophageal echocardiography in the evaluation of mitral valve structural and changes in normal adults

HAN Tao, WANG Ling, CAO Liang, BAI Wei, LI Yuxi, DU Mengmeng, LIU Liwen, MENG Xin

Department of Ultrasound Medicine, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an 710032, China

ABSTRACT Objective To investigate the application value of three-dimensional transesophageal echocardiography in evaluating the mitral valve structural and changes with cardiac cycle in normal adults.**Methods** Two-dimensional and real-time three-dimensional full volume imaging of the middle segment of mitral esophagus in 37 normal adults were collected, including the structures of mitral valve and aortic valve. Mitral valve structure parameters in 6 phases of early, middle and late diastole and early, middle and late systole were recorded, including annulus anteroposterior diameter, left-right diameter, internal fiber triangle distance, leaflet junction distance, annulus height, annulus height/left and right diameter, nonplanar angle, annulus area, annulus circumference, the length of anterior and posterior annulus, the angle between aortic and mitral annulus (AO-MV), the distance from the midpoint of AO-MV, the vertical distance from the point of commissure to the line of annulus (TH) and the area under the point of commissure (TA) in six valve segments during systole. The normal values were obtained and their changes with cardiac cycle were analyzed. **Results** The normal values of mitral structural parameters in 37 normal adults were successfully obtained, and these parameters changed regularly with the cardiac cycle. The maximum values of the anteroposterior and left-right diameters of the annulus, the annulus area, the annulus circumference, the length of the anterior and posterior annulus, the internal fibers triangular distance, and the leaflet junction distance all appeared in the diastole, and the minimum

基金项目:国家自然科学基金面上项目(81773553)

作者单位:710032 西安市,空军军医大学西京医院超声医学科(韩涛、曹亮、白炜、李昱茜、杜蒙蒙、刘丽文、孟欣);空军军医大学军事预防医学系
军队卫生统计学教研室(王陵)

通讯作者:孟欣, Email: 22987143@qq.com

values appeared in the systole. The maximum values of annulus height, annulus height/left and right diameters, nonplanar angle, angle between AO-MV, and distance from the midpoint of AO-MV all appeared in systole, and the minimum values all appeared in diastole. The maximum and minimum values of TH and TA in the three segments of the valve leaflets appeared in the early and late systole, respectively. **Conclusion** Three-dimensional transesophageal echocardiography can accurately measure the spatial structure parameters of mitral valve, which helps understanding the motion pattern of mitral valve structure in clinic, and lay a foundation for the further study of the structural changes of mitral valve disease, it has good application value.

KEY WORDS Echocardiography, transesophageal, three-dimensional; Mitral valve structure; Cardiac cycle; Normal adult

二尖瓣完整结构包括瓣环、瓣叶、腱索及乳头肌,其随心动周期呈规律性动态变化。其中任一结构发生病变均可导致二尖瓣病变,亦可因左房、左室结构改变引起二尖瓣结构变化,导致二尖瓣疾病^[1]。因此,研究二尖瓣结构参数及其随心动周期的变化规律对于进一步理解二尖瓣的工作原理有重要作用,也可为临床评估二尖瓣病变并选择合适的治疗方式提供参考。但目前对于二尖瓣的研究多集中在病理情况下二尖瓣各部位的定性分析,对于正常生理情况下的二尖瓣运动规律研究较少。经食管三维超声心动图(three-dimensional transesophageal echocardiography, 3D-TEE)可获得生理状态下二尖瓣运动的高分辨率图像,通过描记二尖瓣结构的运动轨迹获得其空间结构参数。本研究应用3D-TEE评估正常成人二尖瓣结构,分析二尖瓣各结构参数随心动周期变化的规律,旨在为临床评估二尖瓣病变提供参考。

资料与方法

一、研究对象

选取2019年12月至2020年12月在我院行实时3D-TEE检查的正常成人37例,男20例,女17例,年龄18~64岁,平均(43.86±12.11)岁,体质指数17.9~25.9 kg/m²,平均(22.91±2.07)kg/m²,心率(73.57±6.55)次/min,收缩压(120.70±9.29)mm Hg(1 mm Hg=0.133 kPa),舒张压(75.65±6.25)mm Hg。排除标准:①先天性心脏病者;②心脏瓣膜病及存在中度以上功能性瓣膜反流者;③存在影响心脏结构的基础疾病者。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

使用西门子Acuson SC 2000彩色多普勒超声诊断仪,经胸心脏4V1c探头,频率1~4 MHz;经食管三维超声Z6Ms探头,频率1~6 MHz。受检者取左侧卧位,连接心电图,根据美国超声心动图学会标准,使用经胸超声心动图于胸骨旁标准左室长轴切面测量左室

舒张末期内径,左室收缩末期测量左房内径,应用Simpson法评估左室收缩功能。确认心脏结构及功能均无异常后行3D-TEE检查,咽部局部喷涂利多卡因胶浆行局部麻醉,然后将经食管三维超声探头插入距门齿30~35 cm处,于食管中段分别在0°四腔心切面、60°二尖瓣联合部切面、90°两腔心切面及135°左室流出道切面观察二尖瓣结构、运动及血流动力学情况,嘱受检者屏气后于0°四腔心切面、60°二尖瓣联合部切面、135°左室流出道切面行实时三维全容积成像,使图像完整包括二尖瓣及主动脉瓣结构,确保成像的3个平面保持相互垂直状态,存储3个心动周期的二尖瓣二维及三维图像。使用超声诊断仪自带的eSie Valves四维自动定量分析软件获取二尖瓣三维重建模式图,自动追踪3个心动周期矢状面、冠状面、横切面的二尖瓣瓣环及瓣叶图像,手动微调确保追踪准确性,软件自动重建二尖瓣三维模型,分析3个心动周期瓣膜结构的运动规律;对自动描记结果存疑者,手动调整描记的精准度。分别记录舒张早期(二尖瓣开放后第一帧)、中期(舒张期居中一帧)、晚期(二尖瓣关闭前最后一帧)及收缩早期(R波顶点)、中期(收缩期居中一帧)、晚期(主动脉瓣闭合前一帧)共6个时相的二尖瓣结构参数,包括瓣环前后径和左右径、内纤维三角距离、瓣叶交界距离、瓣环高度、瓣环高度/左右径、非平面角度、瓣环面积、瓣环周长、前后瓣环长度、主动脉-二尖瓣(AO-MV)瓣环夹角、AO-MV中点距离,以及收缩期6个瓣叶分区(A1、A2、A3、P1、P2、P3)对合点至瓣环连线间垂直距离(TH)和对合点下面积(TA)。

以上检查均由同一经专业培训且具有5年以上工作经验的超声医师完成。

结 果

37例正常成人均成功获得二尖瓣三维图像及结构参数的规律性运动曲线(图1),三维重建模式图可显示所有结构参数的具体测量部位(图2)。二尖瓣各结构参数最大值、最小值的均数范围及其在心动周期

中出现频率较多的时相见表1;正常成人二尖瓣结构参数的均值及95%可信区间见表2。

37例正常成人二尖瓣结构参数随心动周期呈规律性变化,表现为瓣环前后径和左右径、瓣环面积、瓣

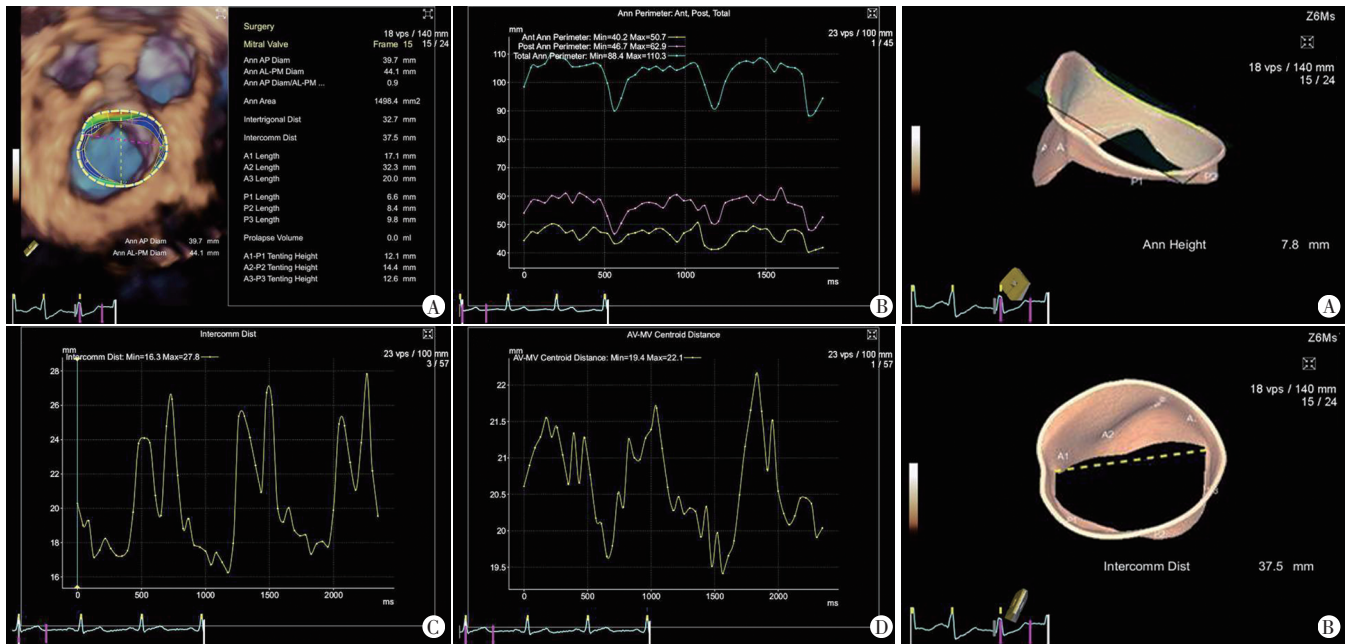


图1 正常成人二尖瓣三维图像及结构参数3个心动周期的运动规律曲线图

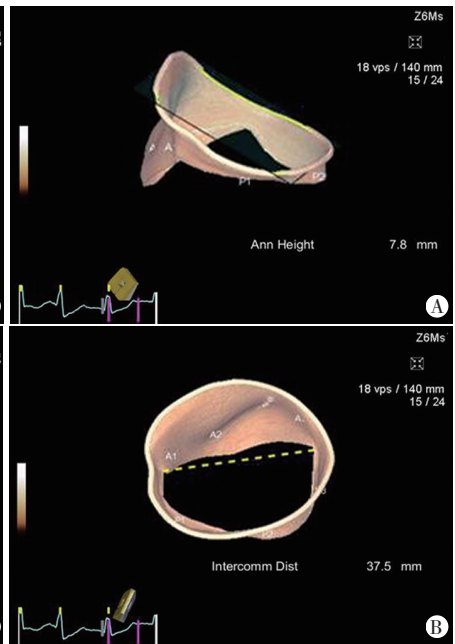


图2 二尖瓣三维重建模式图显示结构参数的具体测量部位

表1 正常成人二尖瓣结构参数最大值、最小值及其出现频率较多的时相

参数	最小值			最大值		
	均值	出现较多的时相	出现频率(%)	均值	出现较多的时相	出现频率(%)
瓣环结构参数						
瓣环前后径	(23.94±2.51)mm	收缩早期	75.7	(29.46±2.81)mm	舒张早期	50.0
瓣环左右径	(29.65±3.30)mm	收缩早期	78.9	(34.18±2.83)mm	舒张中期、早期	37.8、21.6
瓣环面积	(617.31±112.42)mm ²	收缩早期	81.1	(865.52±158.55)mm ²	舒张早期、中期	35.1、32.4
瓣环周长	(91.00±8.32)mm	收缩早期	71.1	(108.66±11.70)mm	舒张早期、中期	40.5、24.3
前瓣环长度	(40.68±4.85)mm	舒张晚期	52.6	(48.07±4.28)mm	舒张早期、中期	44.7、18.4
后瓣环长度	(48.51±4.64)mm	收缩早期	75.7	(61.71±7.64)mm	舒张早期	51.4
内纤维三角距离	(20.47±2.27)mm	收缩晚期	51.4	(25.40±2.63)mm	舒张晚期、中期	46.2、38.5
瓣叶交界距离	(17.69±1.96)mm	收缩晚期	73.0	(26.38±2.56)mm	舒张晚期	51.3
瓣环高度	(3.99±1.19)mm	舒张早期、中期	39.5、18.4	(6.49±1.75)mm	收缩早期、舒张晚期	25.6、20.5
瓣环高度/左右径	0.12±0.04	舒张早期、中期	38.5、21.2	0.22±0.12	收缩早期、舒张晚期	34.7、22.4
非平面角度	135.14°±17.45°	舒张早期	57.1	160.32°±8.76°	舒张晚期、收缩早期	26.3、21.1
瓣叶结构参数						
TH(A1-P1)	(3.965±1.398)mm	收缩晚期	83.8	(6.754±1.475)mm	收缩早期	94.6
TH(A2-P2)	(4.595±1.711)mm	收缩晚期	92.1	(7.968±1.868)mm	收缩早期	91.9
TH(A3-P3)	(4.426±1.452)mm	收缩晚期	89.2	(7.341±1.489)mm	收缩早期	94.6
TA(A1-P1)	(54.115±19.092)mm ²	收缩晚期	81.1	(86.938±32.816)mm ²	收缩早期	75.7
TA(A2-P2)	(71.208±23.385)mm ²	收缩晚期	81.1	(113.297±45.013)mm ²	收缩早期	83.8
TA(A3-P3)	(69.046±22.654)mm ²	收缩晚期	86.5	(99.765±30.487)mm ²	收缩早期	78.4
二尖瓣与主动脉空间位置关系参数						
AO-MV 瓣环夹角	95.850°±11.590°	舒张中期、晚期	40.5、37.8	115.840°±11.740°	收缩中期、晚期	24.3、24.3
AO-MV 中点距离	(19.260±2.130)mm	舒张中期、晚期	35.0、22.5	(21.38±2.97)mm	收缩中期、晚期	22.0、34.1

表2 正常成人二尖瓣结构参数的均值及95%可信区间

参数	均值	95%可信区间
瓣环结构参数		
瓣环前后径(mm)	26.908±3.105	21.816~32.000
瓣环左右径(mm)	32.189±3.064	27.164~37.214
瓣环面积(mm ²)	743.319±151.357	495.093~991.544
瓣环周长(mm)	99.257±12.431	79.072~119.845
前瓣环长度(mm)	44.726±4.871	36.738~52.714
后瓣环长度(mm)	54.923±7.845	42.705~67.141
内纤维三角距离(mm)	22.772±2.983	17.880~27.664
瓣叶交界距离(mm)	21.592±4.030	14.982~28.201
瓣环高度(mm)	5.099±1.557	2.545~7.652
瓣环高度/左右径	0.158±0.047	0.081~0.235
非平面角度(°)	149.98±14.50	126.203~173.763
瓣叶结构参数		
TH(A1-P1,mm)	5.276±1.794	2.334~8.218
TH(A2-P2,mm)	6.200±2.226	2.550~9.850
TH(A3-P3,mm)	5.804±1.897	2.693~8.915
TA(A1-P1,mm ²)	69.738±27.985	23.842~115.633
TA(A2-P2,mm ²)	91.276±37.317	30.077~152.475
TA(A3-P3,mm ²)	84.751±28.695	37.691~131.810
二尖瓣与主动脉瓣空间位置关系参数		
AO-MV瓣环夹角(°)	106.837±12.819	85.814~127.860
AO-MV中点距离(mm)	20.253±2.562	16.051~24.455

环周长、前后瓣环长度、内纤维三角距离、瓣叶交界距离的最大值均出现在舒张期,最小值均出现在收缩期;瓣环高度、瓣环高度/左右径、非平面角度、AO-MV瓣环夹角、AO-MV中点距离的最大值均出现在收缩期,最小值均出现在舒张期;瓣叶分区的TH及TA的最大值和最小值分别出现在收缩早期和晚期。

讨 论

3D-TEE可以重建二尖瓣立体结构,对理解二尖瓣结构生理及病理情况下的变化规律有重要作用^[2],在二尖瓣外科及介入治疗中也有重要的指导和监测作用^[3]。目前对于二尖瓣的研究多集中在病理情况下二尖瓣结构的变化^[4],对于正常二尖瓣结构的研究报道较少,缺乏对正常二尖瓣结构参数及其随心动周期变化规律方面的研究。由于二尖瓣结构参数涉及了6个不同时相,因此,本研究采用正态分布法估算正常值时将37例受检者每个参数的6个时相共计222个数值行正态性检验,再总结生理状态下二尖瓣结构参数的范围,为临床诊断二尖瓣疾病提供参考,也为判断病变二尖瓣结构异常变化提供理论支持。

既往文献^[5]提出二尖瓣结构随心动周期出现规律性变化,本研究将二尖瓣结构参数按照部位分为瓣环结构、瓣叶结构及二尖瓣与主动脉瓣空间位置关系3部分。本研究发现瓣环结构参数中,瓣环前后径和左右径、瓣环面积、瓣环周长及前后瓣环长度的最大值均出现在舒张早期、中期,以舒张早期更多见。这可能与舒张早期二尖瓣瓣叶开放,左室腔逐渐增大有关,故最大值多出现在舒张早期;而部分参数的最大值出现在舒张中期,可能与个体左室舒张充盈度相关。内纤维三角距离、瓣叶交界距离的最大值出现在舒张中期和晚期,晚于瓣环前后径和左右径的变化,分析原因可能与二尖瓣解剖结构有关,内纤维三角距离、瓣叶交界距离均位于二尖瓣与主动脉瓣交界处室间隔的上方,被称为“AO-MV幕帘”区域,该区域内纤维成分较多,组织结构较致密^[6],可能需要更大的力量促使其形变。因此,在时相上会晚于其他瓣环结构。当心脏发生收缩,二尖瓣瓣叶关闭后,心室腔逐渐变小,瓣环前后径和左右径、瓣环面积、瓣环周长、后瓣环长度的最小值均出现在收缩早期,前瓣环长度最小值出现在舒张晚期,内纤维三角距离、瓣叶交界距离最小值均出现在收缩晚期。分析原因可能为前瓣环长度、内纤维三角距离、瓣叶交界距离这3个参数测量位置均位于二尖瓣前瓣环及主动脉瓣共同锚定的纤维组织上,共同纤维连接同时作用于两瓣环,维持其处于相对固定位置,使其在心动周期中成为一个有机整体,且该处下方为室间隔组织,相较于左室游离壁,运动幅度较小,故该处二尖瓣结构运动多受游离壁及其上瓣环组织运动带动后产生,因此在时相上与整体瓣环的变化不一致。

本研究结果显示,瓣环结构参数中的瓣环高度、瓣环高度/左右径及非平面角度的最大值多出现在舒张晚期和收缩早期,最小值多出现在舒张早期和中期,与周文艳等^[7]研究结论相似。再次证实二尖瓣环马鞍形结构形态会随心腔压力变化发生适时改变,舒张期时瓣环高度最低,二尖瓣环马鞍形结构相对平坦,而在心室舒张晚期,二尖瓣环马鞍形结构深度逐渐加深,整个装置向心尖部移动,直至收缩早期,在此时相中,最高点处瓣叶的压力最大程度减小,使得二尖瓣瓣叶的压力负荷最优化,从而可以适应突然增高的腔内压力差,防止瓣叶发生反流。非平面角度反映二尖瓣环的扁平程度,当非平面角度越接近180°提示二尖瓣环越扁。有研究^[8]对比功能性二尖瓣反流患者与正常成人二尖瓣非平面角度的差异,发现前者非平

面角度更大,二尖瓣环更接近扁平,且非平面角度在整个收缩期一直处于逐渐增大的状态。本研究发现,舒张晚期至收缩早期非平面角度处于最大值,后逐渐减小,于舒张早期达到最小值,与瓣环高度的变化一致,均通过改变瓣环的立体形态使得舒张期有更多血流进入左室,并防止二尖瓣发生反流。

瓣叶结构参数中,二尖瓣环和对合瓣叶之间的三角形区域称为“帐篷状区”,超声心动图可以通过测量 TH 和 TA 定量评价二尖瓣“帐篷状区”,并反映整体和局部左室重构情况。有研究^[9]指出,TH 可以提示二尖瓣环扩张及对合程度,而 TA 并不能反映瓣环扩张的程度。既往文献^[5,10]仅关注二尖瓣中央部分即 A2-P2 的 TH 及 TA,本研究还对 A1-P1、A3-P3 的 TH 和 TA 也进行了分析,由于正常成人 A2-P2 瓣叶面积最大,因此该处的 TH 和 TA 均较 A3-P3 及 A1-P1 大。此外,本研究还发现,TH 和 TA 在收缩早期即达到最大值,在收缩晚期达到最小值,这可能与心室运动及收缩早期心腔内压力迅速升高相关。

二尖瓣与主动脉瓣空间位置参数主要描述了二尖瓣与主动脉瓣的相互作用,两者通过主要存在于主动脉瓣左、无冠瓣根部与二尖瓣前叶根部的纤维组织连接,因此认为主动脉瓣或二尖瓣中任意一个结构改变将导致此参数发生变化。本研究结果显示,AO-MV 瓣环夹角和 AO-MV 中点距离最小值出现在舒张中期和晚期,最大值出现在收缩中期和晚期,部分出现在舒张早期。与龚俊松等^[11]观点一致。但也有研究^[12]认为 AO-MV 瓣环夹角和 AO-MV 中点距离的最小值均出现在舒张晚期,最大值均出现在收缩期,分析与本研究结果不一致的原因:①前期研究^[12]纳入对象仅为 18 例阵发性心房颤动患者,在测量时相上可能出现偏差;②前期研究^[12]未对心动周期时相进行详细分析,仅简单划分为收缩期和舒张期,心动周期中收缩晚期和舒张早期是相邻的时相,读图时可能会造成偏差。

本研究的局限性:①纳入的研究对象数量有限,未对年龄、性别进行分组,未排除年龄、性别因素对二尖瓣立体结构及动态变化的影响;②仅对 3D-TEE 的结果进行了分析,未加入 CT、MRI 参数进行对比,可能造成结果偏差。今后应进一步行大样本的对比研究。

综上所述,3D-TEE 能准确测量二尖瓣结构参数,

有助于临床理解二尖瓣结构的运动规律,获得的二尖瓣结构参数正常值为评估二尖瓣病变提供了理论依据,为进一步研究二尖瓣病变的结构变化奠定了基础,具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] Dal-Bianco JP, Levine RA. Anatomy of the mitral valve apparatus—role of 2D and 3D echocardiography [J]. *Cardiol Clin*, 2013, 31(2): 151-164.
- [2] Biaggi P, Jedrkiewicz S, Gruner C, et al. Quantification of mitral valve anatomy by three-dimensional transesophageal echocardiography in mitral valve prolapse predicts surgical anatomy and the complexity of mitral valve repair [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2012, 25(7): 758-765.
- [3] Fujii T, Yoshitani K, Kanemaru E, et al. Sizing of mitral annuloplasty rings using real-time three-dimensional transesophageal echocardiography and the difference between patients with and without recurrent mitral regurgitation: retrospective cohort study [J]. *J Echocardiogr*, 2020, 18(3): 169-174.
- [4] 孙梦娇,滑少华,尹静,等.实时三维超声心动图定量评价二尖瓣脱垂患者的二尖瓣几何结构[J].*中国超声医学杂志*, 2017, 33(2): 111-114.
- [5] 陈建,何怡华,李治安.经食管实时三维超声定量评价二尖瓣瓣环在功能性与器质性二尖瓣反流时的形态变化[J].*中华医学超声杂志(电子版)*, 2010, 7(8): 1302-1309.
- [6] Zamorano JL, González-Gómez A, Lancellotti P. Mitral valve anatomy: implications for transcatheter mitral valve interventions [J]. *Euro Intervention*, 2014, 10(Suppl): 106-111.
- [7] 周文艳,陈昕,杨军,等.实时三维经食管超声心动图定量分析正常二尖瓣立体结构动态的变化[J].*中国医学影像技术*, 2014, 30(12): 1814-1817.
- [8] Lin QS, Fang F, Yu CM, et al. Dynamic assessment of the changing geometry of the mitral apparatus in 3D could stratify abnormalities in functional mitral regurgitation and potentially guide therapy [J]. *Int J Cardiol*, 2014, 176(3): 878-884.
- [9] von Stumm M, Dudde F, Holst T, et al. Predicting clinical outcome by indexed mitral valve tenting in functional mitral valve regurgitation [J]. *Open Heart*, 2021, 8(1): e001483.
- [10] 姜镜,任卫东,丛志斌,等.应用实时三维超声技术观察正常人二尖瓣环空间结构[J].*中国医学影像技术*, 2010, 26(7): 1250-1253.
- [11] 龚俊松,张茗卉,郑芝兰,等.eSie Valves 四维自动定量分析评价主动脉瓣-二尖瓣机制的应用[J].*实用医院临床杂志*, 2019, 16(3): 18-22.
- [12] 刘古月,魏薪,李茜,等.经食管实时三维超声心动图测量主动脉瓣环与二尖瓣环间夹角[J].*中华医学超声杂志(电子版)*, 2017, 14(11): 866-869.

(收稿日期:2021-12-28)