

三维经食管超声心动图评估人工机械瓣血管翳梗阻的临床价值

余璞 左浩 段茂 管雪 殷亚飞 许敏 黎清龙 徐亚丽

摘要 目的 探讨三维经食管超声心动图(3D-TEE)在评估人工机械瓣血管翳梗阻的临床价值。方法 选取我院经手术证实的人工机械瓣血管翳患者 46 例,其中人工二尖瓣血管翳 22 例,人工主动脉瓣血管翳 24 例,应用 3D-TEE 观察人工机械瓣血管翳成像特征,并测量血管翳面积、血管翳内面积与血管翳外面积比值、血管翳宽度与瓣膜外径比值(W/D),经胸超声心动图测量平均跨瓣压差(mTPG),分析 3D-TEE 参数与 mTPG 的相关性。根据人工机械瓣梗阻程度分级将患者分为显著梗阻者与可疑梗阻者,比较二者 3D-TEE 所测血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 占比。结果 人工主动脉瓣血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与 mTPG 具有良好的相关性($r=-0.782, 0.820, 0.741$, 均 $P<0.001$);人工二尖瓣血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与 mTPG 具有良好的相关性($r=-0.793, 0.878, 0.806$, 均 $P<0.001$)。人工主动脉瓣显著梗阻者血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 占比为 94.74%,显著高于可疑梗阻者(20.00%),差异有统计学意义($P=0.002$);人工二尖瓣显著梗阻者血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 占比为 100%,显著高于可疑梗阻者(14.29%),差异有统计学意义($P<0.001$)。结论 3D-TEE 在评估人工机械瓣血管翳梗阻程度方面具有重要价值,其中 3D-TEE 定量参数包括血管翳面积、血管翳内面积与血管翳外面积比值及 W/D 均能准确判断人工机械瓣血管翳有无梗阻及其程度,尤以 W/D 更佳。

关键词 超声心动描记术,经食管,三维;人工瓣血管翳;瓣膜梗阻
[中图分类号]R540.45;R318.11 [文献标识码]A

Clinical value of three-dimensional transesophageal echocardiography in evaluating obstruction of pannus on artificial mechanical valve

YU Pu, ZUO Hao, DUAN Mao, GUAN Xue, YIN Yafei, XU Min, LI Qinglong, XU Yali

Department of Ultrasound, the Second Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400037, China

ABSTRACT Objective To investigate the clinical value of three-dimensional transesophageal echocardiography (3D-TEE) in evaluating obstruction of pannus on artificial mechanical valve. **Methods** A total of 46 patients with surgically confirmed pannus on the artificial mechanical valve in our hospital were selected, including 12 cases of pannus on the artificial mitral valve and 22 cases of pannus on the artificial aortic valve. 3D-TEE imaging characteristics of pannus were observed, and the pannus area, the ratio of the intra-pannus area to the extra-pannus area, and the ratio of pannus width to valve external diameter (W/D) were measured. Mean transvalvular pressure gradient (mTPG) was measured by transthoracic echocardiography (TTE), and the correlation between 3D-TEE parameters and mTPG was analyzed. The artificial valves were categorized into significant stenosis and possible stenosis according to the degree of stenosis, and pannus surrounding angle $\geq 180^\circ$ measured by 3D-TEE was compared between the two items. **Results** The ratio of the intra-pannus area to the extra-pannus area, W/D, pannus area of artificial aortic valves were all correlated with mTPG ($r=-0.782, 0.820, 0.741$, all $P<0.001$). The ratio of intra-pannus area to the extra-pannus area, W/D, pannus area of artificial mitral valves were all correlated with mTPG ($r=-0.793, 0.878, 0.806$, all $P<0.001$). The proportion of pannus surrounding angle $\geq 180^\circ$ in patients with significant stenosis of artificial aortic valve was 94.74%, which was higher than that in patients with possible stenosis (20.00%), and the difference was statistically significant ($P=0.002$). The proportion of pannus surrounding angle $\geq 180^\circ$ in patients with significant stenosis of artificial mitral valves was 100%, which was higher than that in patients with possible stenosis (14.29%), and the difference was

基金项目:陆军军医大学优秀人才项目(2019R038)

作者单位:400037 重庆市,陆军军医大学第二附属医院超声科

通讯作者:徐亚丽,Email:xuyali1976@163.com

statistically significant ($P < 0.001$). **Conclusion** 3D-TEE has significant value in assessing the degree of artificial valve pannus obstruction. The quantitative parameters of 3D-TEE, including pannus area, the ratio of the intra-pannus area to the extra-pannus area, as well as the W/D enable precise determination of valve obstruction severity. Particularly, the W/D serves as an accurate evaluator for assessing degree of valve obstruction.

KEY WORDS Echocardiography, transesophageal, three-dimensional; Pannus on prosthetic valve; Valvular obstruction

血管翳是人工瓣膜术后最常见的并发症之一,当患者出现血流动力学障碍时,常提示血管翳可能导致瓣膜梗阻^[1]。经胸超声心动图(transsthoracic echocardiography, TTE)及二维经食管超声心动图(two-dimensional transesophageal echocardiography, 2D-TEE)常因机械瓣瓣架声影的遮挡,无法全面、清晰地显示人工瓣膜的形态,未能提供人工瓣膜梗阻的原因、梗阻部位及范围等信息。本研究应用三维经食管超声心动图(three-dimensional transesophageal echocardiography, 3D-TEE)对人工瓣膜进行三维成像并定量检测血管翳的三维结构等参数,全面、立体、直观地评估人工机械瓣血管翳部位、范围及梗阻程度,并与血流动力学情况进行相关性分析,旨在探讨3D-TEE评估人工瓣膜梗阻程度的临床价值。

资料与方法

一、研究对象

选取2019年10月至2023年3月在我院再次手术并经手术证实的人工瓣血管翳患者46例,包括单纯人工二尖瓣血管翳13例,单纯人工主动脉瓣血管翳15例,人工二尖瓣及人工主动脉瓣重叠9例;人工二尖瓣血管翳22例,男4例,女18例,年龄31~68岁,平均(52.82±10.40)岁,换瓣年限1~37年,平均(16.55±8.40)年;人工主动脉瓣血管翳24例,男3例,女21例,年龄24~71岁,平均(52.21±10.57)岁,换瓣年限7~37年,平均(14.83±7.59)年。纳入标准:①人工二尖瓣口平均跨瓣压差(mTPG) >5 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),人工主动脉瓣口mTPG >20 mmHg^[2-4];②TTE、2D-TEE、3D-TEE及术中均诊断为血管翳;③TTE、2D-TEE、3D-TEE及手术资料完整。排除标准:①三维图像显示不清晰;②相关病历资料不全;③术中诊断为血栓或血管翳合并血栓。本研究经我院医学伦理委员会批准(2018-研第091-01),所有患者均知情同意。

二、仪器与方法

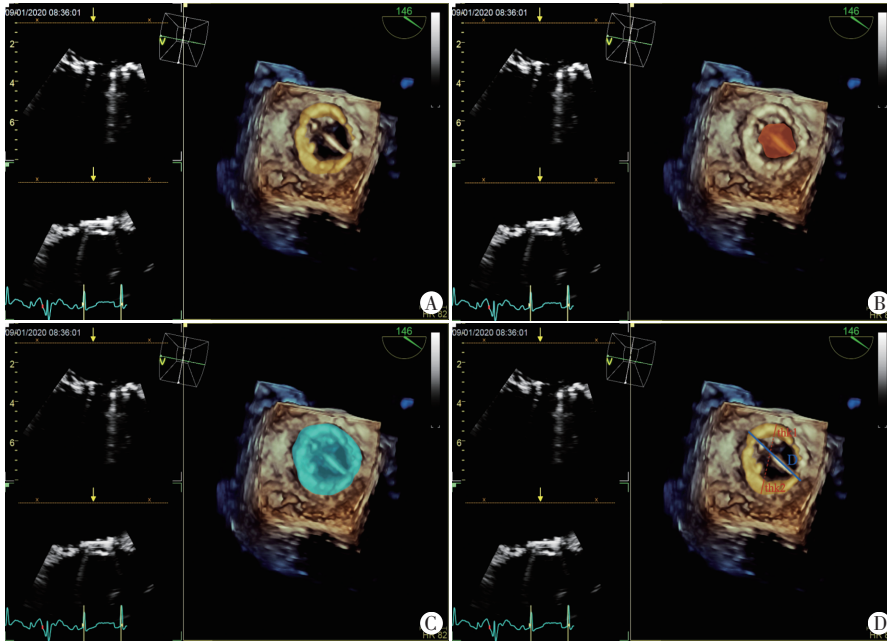
1. 仪器:使用GE Vivid E95彩色多普勒超声诊断仪,M5Sc经胸探头,频率1.7~3.3 MHz;6VT-D经食管探头,频率4~8 MHz。

2. TTE检查:患者取左侧卧位,同步连接心电图,于左室长轴切面、大动脉短轴切面、心尖四腔心切面、

心尖五腔心切面观察有无血管翳等异常回声,并判断异常回声的位置、形态、大小、活动度等,观察血流动力学情况,测量人工二尖瓣或人工主动脉瓣口mTPG。如患者瓣口流速明显增快,瓣口mTPG较以往超声检查明显增加,则采用经食管超声心动图进一步检查。

3. 经食管超声心动图检查:患者取左侧卧位,经口腔轻柔插入食管探头,深度25~40 cm,采用进退、旋转探头,调节晶片角度、尖端屈曲等多方法结合,2D-TEE扫查0°四腔心切面、90°左心两腔心切面及135°左心长轴切面观察人工二尖瓣,45°大动脉短轴切面、135°长轴切面观察人工主动脉瓣的瓣膜形态、结构、活动度、启闭情况,以及瓣架位置是否正常、血管翳的厚度和位置等;于上述常规2D-TEE切面基础上,采用全容积成像进行人工主动脉瓣或二尖瓣的三维图像采集。常规采集5个心动周期的动态图像,启用屏幕的二尖瓣(MV)、主动脉瓣短轴(Sox AV)快捷键直接进行重点成像,调节图像增益、亮度、对比度、平滑度等,将三维动态图像存储于仪器自带离线分析系统。将动态图像进行旋转或平移,以垂直于人工二尖瓣或主动脉瓣同时平移切割避开其他组织扫查时获得的图像质量最佳。于人工二尖瓣和人工主动脉瓣短轴切面观察外科视野血管翳的象限分布及环绕瓣环角度(以下简称环绕角度),手动勾画测量血管翳环绕瓣环的面积(以下简称血管翳面积)、血管翳内面积(即血管翳内侧轮廓线内的瓣口面积)、血管翳外面积(即血管翳外侧轮廓线内的瓣膜面积);同时测量瓣膜外径(D)、血管翳宽度(W),其中W定义为任意一条径线上受累的血管翳厚度(THK)之和的最大值,将径线上瓣环两端血管翳的厚度分别记为THK1、THK2,当血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 时,THK1为径线上瓣环一侧血管翳的厚度,THK2为径线上瓣环对侧血管翳厚度, $W = THK1 + THK2$;当血管翳环绕角度 $< 180^\circ$ 时,THK1为径线上血管翳的厚度,THK2记为0, $W = THK1$ 。见图1。并计算血管翳内面积与血管翳外面积比值及W/D。所有参数均重复测量3次取平均值。所有图像均由具有5年以上经食管超声心动图检查经验的超声医师严格按照三维图像规范采集。全程同步II导联心电图监视。

4. 评价指标:参考人工瓣膜指南^[2-4]中瓣膜梗阻



A:黄色区域为三维图像上勾画的人工二尖瓣血管翳环绕瓣环的面积即血管翳面积;B:橘色区域为勾画测量的血管翳内面积,即血管翳内侧轮廓线内的瓣口面积;C:蓝色区域为勾画测量的血管翳外面积,即血管翳外侧轮廓线内的瓣膜面积;D:血管翳宽度(W)为任意一条径线上受累的血管翳厚度THK1与THK2之和的最大值,蓝线距离示瓣膜外径(D)

图1 人工二尖瓣3D-TEE参数测量示意图

程度分级,以mTPG为主要评价指标:①人工主动脉瓣膜可疑梗阻即 $20\text{ mmHg} < \text{mTPG} < 35\text{ mmHg}$,显著梗阻即 $\text{mTPG} > 35\text{ mmHg}$;②人工二尖瓣膜可疑梗阻即

$6\text{ mmHg} < \text{mTPG} \leq 10\text{ mmHg}$,显著梗阻即 $\text{mTPG} > 10\text{ mmHg}$ 。

三、统计学处理

应用SPSS 26.0统计软件,计数资料以例或率表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法。3D-TEE参数与mTPG的相关性分析采用Pearson相关分析法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳患者再次手术前临床特征见表1。

一、人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳最厚处象限分布

3D-TEE检测人工瓣血管翳最厚处象限分布见表2。人工二尖瓣血管翳最厚处多位于左后象限(36.36%, 8/22),人工主动脉瓣血管翳最厚处多位于右前象限(79.17%, 19/24)。与术中结果对照,46例患者中41例(89.13%)血管翳最厚处象限分布与术前3D-TEE观察到的结果一致。

表1 人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳患者再次手术前临床特征

分类	女性占比 (%)	年龄 (岁)	体表面积 (m ²)	换瓣年限 (年)	首次人工瓣膜置换病史(例)					既往疾病史(例)				
					风湿性心脏病	二尖瓣狭窄	先天性心脏病	主动脉瓣关闭不全	主动脉瓣狭窄	高血压	脑梗死	心房颤动	肺动脉高压	糖尿病
人工二尖瓣(22)	81.82	52.82±10.40	1.57±0.13	16.55±8.40	20	1	1	0	0	2	2	10	4	1
人工主动脉瓣(24)	87.50	52.21±10.57	1.53±0.11	14.83±7.59	20	0	1	1	2	4	2	8	2	3

分类	NYHA分级Ⅲ/Ⅳ级(例)	首次手术方式(例)			首次手术机械瓣膜类型(例)	
		单瓣置换术	二尖瓣+主动脉瓣双瓣置换	双瓣置换+三尖瓣成形术	二叶机械瓣膜	侧倾碟瓣膜
人工二尖瓣(22)	22	11	7	4	18	4
人工主动脉瓣(24)	23	4	16	4	22	2

NYHA:纽约心脏病学会

表2 3D-TEE检测人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳最厚处象限分布

分类	左前象限	左后象限	右前象限	右后象限
人工二尖瓣(22)	7	8	3	4
人工主动脉瓣(24)	3	1	19	1

二、人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳3D-TEE参数与mTPG的相关性分析

人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳3D-TEE参数、mTPG见表3。人工主动脉瓣血管翳患者血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与mTPG具有

良好的相关性($r = -0.782, 0.820, 0.741$, 均 $P < 0.001$);人工二尖瓣血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与mTPG具有良好的相关性($r = -0.793, 0.878, 0.806$, 均 $P < 0.001$)。

三、血管翳瓣膜梗阻程度与环绕角度的关系

1.22例人工主动脉瓣血管翳患者中,瓣膜显著梗阻19例,mTPG为(48.48±11.70)mmHg,其中血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 者18例,占比为94.74%;瓣膜可疑梗阻5例,mTPG为(27.60±3.85)mmHg,其中血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 者1例,占比为20.00%;人工主动脉瓣显著

表 3 人工二尖瓣及人工主动脉瓣血管翳 3D-TEE 参数、mTPG

分类	血管翳内面积与血管翳外面积比值	W/D	血管翳面积(cm ²)	mTPG(mmHg)
人工二尖瓣	0.31±0.07	0.35±0.09	1.88±0.71	13.87±6.59
人工主动脉瓣	0.33±0.08	0.41±0.09	1.79±0.68	44.13±13.59

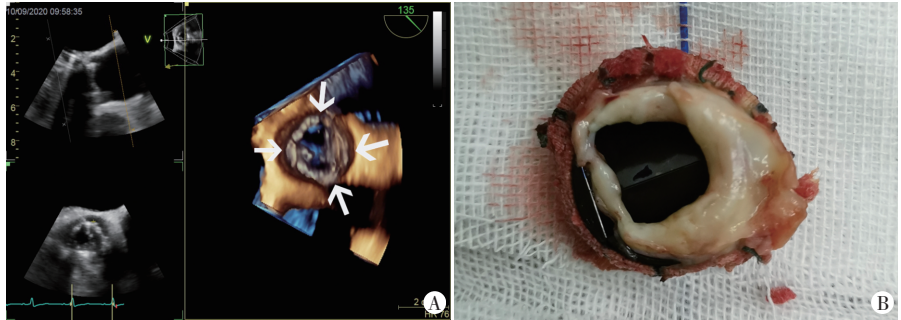
W/D:血管翳宽度与瓣膜外径比值;mTPG:平均跨瓣压差。1 mmHg=0.133 kPa

梗阻者血管翳环绕角度≥180°占比显著高于可疑梗阻者,差异有统计学意义(P=0.002)。3D-TEE 检测结果均与术中人工主动脉大体标本观察结果一致,见图 2。

2.24 例人工二尖瓣血管翳患者中,瓣膜显著梗阻 15 例, mTPG 为 (17.01±5.56)mmHg, 所有患者血管翳环绕角度均≥180°, 占比为 100%; 可疑梗阻 7 例, mTPG 为 (7.14±1.46)mmHg, 其中血管翳环绕角度≥180°者 1 例, 占比为 14.29%; 人工二尖瓣显著梗阻者血管翳环绕角度≥180°占比显著高于可疑梗阻者, 差异有统计学意义(P<0.001)。3D-TEE 检测结果均与术中人工二尖瓣大体标本观察结果一致, 见图 3。

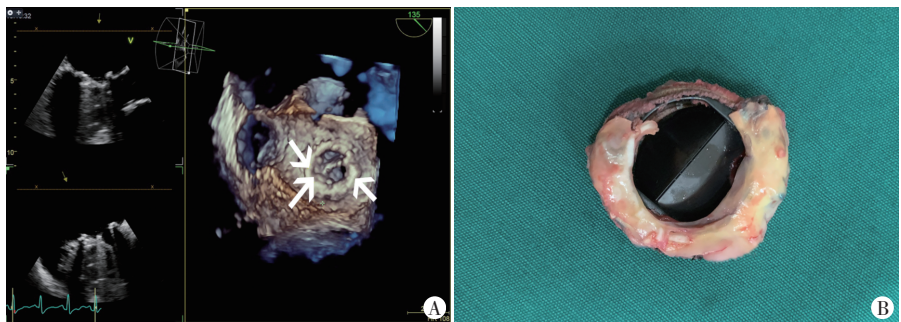
讨 论

血管翳是人工瓣膜功能障碍最常见的并发症之一, 人工机械瓣血管翳形成发生率为 0.73%~1.80%^[5-6]。其生长常从瓣周组织与人工瓣瓣架之间的接触点扩散到瓣叶及瓣环, 围绕瓣环呈环形生长。血管翳从瓣膜置换术到瓣膜功能障碍发生时间较长, 本研究中人工主动脉瓣换瓣年限为 (14.83±7.59) 年, 人工二尖瓣换瓣年限为 (16.55±8.40) 年。症状进展性发作, 晚期会导致瓣膜梗阻、瓣叶不能正常启闭运动等^[7]。TTE 为观察人工机械瓣血管翳的首选检查方法, 然而其受金属瓣膜后方强回声所致的声能衰减影响, 在评估人工瓣血管翳方面具有局限性。而经食管超声心动图在评估人工瓣膜细节方面则较 TTE 更优异, 但应用 2D-TEE 观察血管翳图像很难显示全貌, 仅能观察到某一个切面, 在观察血管翳范围时常被低估^[8]。3D-TEE 可对人工二尖瓣及人工主动脉瓣进行立体成像, 从 TTE 及 2D-TEE 不能获得的角度、方位观察人工瓣膜及其血管翳, 并能更直观地观察到人工瓣膜的毗邻关系、形态、结构、启闭状态及血管翳最厚处象限分布等^[9]。本研究术中观察到 89.13%(41/46) 的患



A:3D-TEE 显示瓣架周围血管翳(箭头示)环绕角度>180°,瓣膜显著梗阻;B:术中标本示 3D-TEE 观察的血管翳环绕角度、生长范围与之一致

图 2 人工主动脉瓣血管翳患者(女,55 岁)3D-TEE 图像与术中标本对照



A:3D-TEE 显示瓣架周围血管翳(箭头示)环绕角度>180°,瓣膜显著梗阻;B:术中标本示 3D-TEE 观察结果与之一致

图 3 人工二尖瓣血管翳患者(女,57 岁)3D-TEE 图与术中标本对照

者血管翳最厚处象限分布与术前 3D-TEE 观察到的结果一致, 表明在 3D-TEE 图像上直接勾画并测量血管翳及其人工瓣膜是可行的, 为 3D-TEE 准确测量 W 及评估瓣膜梗阻程度奠定了理论基础。既往研究^[10-13]在 3D-TEE 图像上直接勾画测量人工瓣膜的有效面积, 该方法与瓣膜制造商提供的面积及其使用平衡方程计算的有效瓣口面积均存在较好的一致性。将该方法延伸到本研究 3D-TEE 参数的测量中, 可以为临床准确评估瓣膜梗阻程度、了解病情把握手术时机提供更多重要信息。

虽然 3D-TEE 在观察血管翳方面较 2D-TEE、TTE 更具优势, 但截至目前, 应用 3D-TEE 对血管翳进行观察, 以及定性、半定量、定量评估等方面的研究相对较少, 血管翳生长范围与瓣膜梗阻的关系尚未明确。本研究应用 3D-TEE 对人工瓣膜进行三维成像并定量检测血管翳的相关参数, 结果发现人工主动脉瓣血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与

mTPG具有良好的相关性($r=-0.782$ 、 0.820 、 0.741 ,均 $P<0.001$);人工二尖瓣血管翳内面积与血管翳外面积比值、W/D、血管翳面积均与mTPG具有良好的相关性($r=-0.793$ 、 0.878 、 0.806 ,均 $P<0.001$)。其中以W/D与mTPG的相关性最强,与Ha等^[14]研究中血管翳范围与人工瓣血流动力学相关的结果基本一致,该研究认为mTPG受血管翳厚度与瓣膜内径比值的影响最大,然而该研究为粒子图像测速法体外实验,血管翳模型设计为均一厚度,未考虑血管翳生长形状并不规则,且仅测量血管翳一侧的厚度以反映血流动力学变化,故不够精确。本研究从显示受累血管翳厚度之和的最大值的径线上测量W,通过选取任意一条径线上受累的血管翳厚度THK1与THK2之和的最大值定义为W,再分析W/D与mTPG的相关性,较Ha等^[14]研究结果准确性更高。本研究还发现,人工主动脉瓣、人工二尖瓣显著梗阻者3D-TEE所测血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 占比均显著高于可疑梗阻者,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$),与Ha等^[14]及Koo等^[15]研究结果基本一致,提示血管翳环绕角度 $\geq 180^\circ$ 时更易引起瓣膜的显著梗阻。可见通过检测血管翳3D-TEE参数能更准确量化血管翳的范围,评估人工瓣膜梗阻程度,为临床及时处理并准确把握手术时机提供了重要依据。虽然再次心脏瓣膜手术风险大,但只要术前充分了解瓣膜情况,结合TTE、经食管超声心动图检查准确评估瓣膜梗阻程度,了解血管翳位置、范围及形态等,准确把握手术时机,能较大程度地降低手术死亡率及并发症发生率,术后短时间内即可改善心功能,提高患者的生活质量及存活率^[16-17]。但是,上述参数能否运用于临床决策尚待今后前瞻性研究的深入阐述。

本研究的局限性:①为单中心研究,且样本量较小;②本研究所有数据均由同一人测量,可能影响真实性;③人工瓣膜3D-TEE图像受瓣膜金属声影、二维图像欠清晰等影响,可能会出现三维假象;④对三维图像的质量要求较高,需从事经食管超声心动图操作经验丰富的超声医师进行操作及采集图像,以确保图像质量的稳定性。

综上所述,3D-TEE在评估人工机械瓣血管翳梗阻程度方面具有重要作用,其中3D-TEE定量参数包括血管翳面积、血管翳内面积与血管翳外面积比值及W/D均能准确判断人工瓣血管翳有无梗阻及其程度,尤以W/D更佳。

参考文献

[1] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 ACC/AHA Guideline

- for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: Executive Summary: a Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *Circulation*, 2021, 143(5):35-71.
- [2] Mahjoub H, Pibarot P, Dumesnil JG. Echocardiographic evaluation of prosthetic heart valves[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2015, 17(6):48.
- [3] 姚桂华, 刘艳, 徐铭俊, 等. 人工心脏瓣膜的影像学评价指南[J]. *中华超声影像学杂志*, 2017, 26(3):185-227.
- [4] 郭颖, 张瑞生. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2):109-125.
- [5] Tod TJ, Gohres RA, Torkey M, et al. Influence of tissue technology on pannus formation on bioprosthetic heart valves[J]. *Cardiovasc Eng Technol*, 2021, 12(4):418-425.
- [6] Deng Y, Belfar A, Powell T. Early prosthetic valve malfunction leading to cardiogenic shock and emergency redo mitral valve replacement[J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(10):2866-2869.
- [7] Özkan M, Gündüz S, Güner A, et al. Thrombolysis or surgery in patients with obstructive mechanical valve thrombosis: the multicenter HATTUSHA study[J]. *Am Coll Cardiol*, 2022, 79(10):977-989.
- [8] 左浩, 蒋沉洁, 苏建, 等. 实时三维经食管超声心动图诊断人工主动脉瓣血管翳[J]. *第三军医大学学报*, 2020, 42(8):830-834.
- [9] 余蕾, 郭盛兰, 邓燕, 等. 实时三维超声心动图评价机械瓣形态和功能的初步研究[J]. *广西医科大学学报*, 2010, 27(4):556-559.
- [10] Maslow A, Mahmood F, Poppas A, et al. Three-dimensional echocardiographic assessment of the repaired mitral valve[J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 28(1):11-17.
- [11] Lee S, Lee SP, Park EA, et al. Real-time 3D TEE for diagnosis of subvalvular pannus formation in mechanical aortic valves: comparison with multidetector CT and surgical findings[J]. *Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(12):1461-1464.
- [12] Krim SR, Vivo RP, Patel A, et al. Direct assessment of normal mechanical mitral valve orifice area by real-time 3D echocardiography[J]. *Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(5):478-483.
- [13] 周磊, 魏海燕, 葛亚力, 等. 经食管二维和三维超声心动图测量计算人工二尖瓣有效瓣口面积的一致性[J]. *南方医科大学学报*, 2021, 41(2):238-242.
- [14] Ha H, Koo HJ, Huh HK, et al. Effect of pannus formation on the prosthetic heart valve: in vitro demonstration using particle image velocimetry[J]. *PLoS One*, 2018, 13(6):e0199792.
- [15] Koo HJ, Ha H, Kang JW, et al. Impact of pannus formation on hemodynamic dysfunction of prosthetic aortic valve: pannus extent and its relationship to prosthetic valve motion and degree of stenosis[J]. *Clin Res Cardiol*, 2018, 107(7):554-564.
- [16] 王建德, 权欣, 孙欣, 等. 术中经食管超声心动图对心脏瓣膜置换术后即刻人工瓣膜功能异常的诊断价值[J]. *中国循环杂志*, 2019, 34(7):703-707.
- [17] 雷佳瑞, 胡波, 周青, 等. 心肌应变评估瓣膜病患者瓣膜置换术后临床短期疗效的研究[J]. *临床超声医学杂志*, 2018, 20(4):228-232.

(收稿日期:2023-10-11)