

## Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography automated measuring of aortic annulus before transcatheter aortic valve replacement

WEI Xin, LIU Guyue, LI Xi, WANG Fang, FENG Yuan, CHEN Mao, TANG Hong\*

(Department of Cardiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the feasibility and accuracy of 3D transesophageal echocardiography (3D-TEE) automated measuring of aortic annulus before transcatheter aortic valve replacement (TAVR). **Methods** The area, perimeter, maximal diameter and minimum diameter of aortic annulus were measured with 3D-TEE and multi-detector CT (MDCT) in 21 patients who underwent TAVR. The difference and correlation between the above parameters measured with 3D-TEE and MDCT were analyzed. The time for measuring aortic annulus with 3D-TEE was recorded. **Results** The area, perimeter, maximal diameter and minimum diameter of aortic annulus measured with 3D-TEE were  $(445.74 \pm 62.60) \text{mm}^2$ ,  $(76.16 \pm 5.30) \text{mm}$ ,  $(26.29 \pm 1.97) \text{mm}$  and  $(21.40 \pm 1.68) \text{mm}$ , respectively, with MDCT were  $(456.85 \pm 75.70) \text{mm}^2$ ,  $(77.17 \pm 5.90) \text{mm}$ ,  $(26.76 \pm 2.83) \text{mm}$ ,  $(20.98 \pm 1.76) \text{mm}$ , respectively (all  $P > 0.05$ ), all had high correlations ( $r = 0.89, 0.91, 0.85, 0.79$ , all  $P < 0.01$ ). The analyzed time was  $(1.54 \pm 0.21) \text{min}$  with automated 3D-TEE. **Conclusion** Automated measurement of aortic annular with 3D-TEE before TAVR is feasible, accuracy and rapid, which may replace MDCT for TAVR in clinical setting.

**[Keywords]** echocardiography, transesophageal; transcatheter aortic valve replacement; aortic annular

DOI:10.13929/j.1003-3289.201902019

## 经导管主动脉瓣置换术前实时三维经食管超声 自动测量主动脉瓣环径

魏 薪, 刘古月, 李 茜, 王 芳, 冯 沅, 陈 茂, 唐 红\*

(四川大学华西医院心内科, 四川 成都 610041)

**[摘要]** **目的** 探讨经导管主动脉瓣置换术(TAVR)中应用实时三维经食管超声心动图(3D-TEE)自动测量主动脉瓣环的可行性与准确性。**方法** 对21例拟接受TAVR患者于术前分别采用3D-TEE和多排CT(MDCT)测量主动脉瓣环面积、周长、最大径和最小径。对比3D-TEE测值与MDCT测值间的差异及相关性,记录3D-TEE自动测量主动脉瓣环参数所需的时间。**结果** 3D-TEE所测主动脉瓣环面积为 $(445.74 \pm 62.60) \text{mm}^2$ ,周长为 $(76.16 \pm 5.30) \text{mm}$ ,最大径为 $(26.29 \pm 1.97) \text{mm}$ ,最小径为 $(21.40 \pm 1.68) \text{mm}$ ,MDCT测值分别为 $(456.85 \pm 75.70) \text{mm}^2$ 、 $(77.17 \pm 5.90) \text{mm}$ 、 $(26.76 \pm 2.83) \text{mm}$ 、 $(20.98 \pm 1.76) \text{mm}$ 。MDCT与3D-TEE所测主动脉瓣环面积、周长、最大径及最小径差异均无统计学意义( $P$ 均 $> 0.05$ )。3D-TEE与MDCT所测主动脉瓣环面积、周长、最大径、最小径均呈高度相关( $r = 0.89, 0.91, 0.85, 0.79$ ,  $P$ 均 $< 0.01$ )。采用3D-TEE自动测量主动脉瓣相关径线所需时间为 $(1.54 \pm 0.21) \text{min}$ 。**结论** 3D-TEE自动测量主动脉瓣环能准确、快速获得主动脉瓣环相关径线,可作为替代MDCT的影像学方法。

**[基金项目]** 四川省科技计划项目(2019YFS0433)。

**[第一作者]** 魏薪(1985—),女,重庆人,硕士,主治医师。研究方向:心血管疾病三维超声。E-mail: weizhang\_1985812@163.com

**[通信作者]** 唐红,四川大学华西医院心内科,610041。E-mail: hxyyth@qq.com

**[收稿日期]** 2019-02-11 **[修回日期]** 2019-06-25

[关键词] 超声心动描记术;经食管;经导管主动脉瓣置换术;主动脉瓣环

[中图分类号] R542.52; R540.45 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2019)09-1300-05

经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)已成为治疗有症状重度主动脉瓣狭窄且外科开胸高风险患者的替代方式<sup>[1-2]</sup>,适用范围较广<sup>[3]</sup>。TAVR术前准确评估主动脉根部解剖结构,尤其测量主动脉瓣环径至关重要。既往研究<sup>[4-6]</sup>表明,多排CT(multi-detector CT, MDCT)和三维经食管超声心动图(three-dimensional transesophageal echocardiography, 3D-TEE)均较二维经食管超声心动图(two-dimensional transesophageal echocardiography, 2D-TEE)更具优势,可准确测量主动脉瓣环径;但最近研究<sup>[7-9]</sup>发现传统3D-TEE测量主动脉瓣环径与MDCT测值间仍存在统计学差异。本研究采用一种新的自动测量主动脉瓣环的三维超声技术测量TAVR患者主动脉瓣环相关径线,并与MDCT进行对比,评估其可靠性和准确性。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2016年6月—2017年6月于我院接受TAVR及术前3D-TEE的23例患者,均曾接受MDCT检查。纳入标准:重度主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS),主动脉瓣前向血流速度 $>4.0$  m/s,平均跨瓣压差 $>40$  mmHg,主动脉瓣口面积 $<1.0$  cm<sup>2</sup>。本研究经我院伦理委员会审批通过,患者均知情同意。排除2例3D-TEE图像质量差者,共纳入21例患者,男14例,女7例,年龄63~82岁,平均(72.8±6.7)岁,平均体表面积(1.64±0.25)m<sup>2</sup>,平均美国外科医师协会评分(8.4±2.7)分;其中15例合并高血压,2例糖尿病,3例慢性阻塞性肺疾病,6例冠心病,外周血管病、脑血管病各1例,肾功能不全4例。21例中,8例为二叶式AS,13例为三叶式AS。

### 1.2 仪器与方法

1.2.1 3D-TEE自动测量主动脉瓣环径 采用Siemens SC2000超声心动图诊断仪,Z6Ms探头,频率3.0~6.3 MHz。TAVR术前即刻采集主动脉根部三维图像。连接同步心电图,将探头置于食管中段,以约120°获得主动脉长轴切面,使用局部放大模式,获得主动脉根部(包括左心室流出道至窦管交界)的三维容积,确保帧频在20帧/秒,采集连续3个心动周期图像并储存。

采用eSieValves瓣膜自动分析软件对三维容积

图像进行在机或脱机分析。确定收缩期后,软件对于三叶式主动脉瓣自动识别瓣叶、瓣交界以及主动脉瓣环;对于二叶式主动脉瓣,软件不能自动识别瓣叶,但可自动识别主动脉瓣环。完成自动识别后,由2名超声主治医师从多个切面进行手动调节,若自动识别瓣环位置欠准确,则进行相应手动微调(图1),测量主动脉瓣环面积、周长、最大径和最小径。记录采用3D-TEE自动测量主动脉瓣环面积、周长、最大径及最小径所需时间。对所获超声测值均重复测量3次,取平均值。

1.2.2 MDCT检查 采用GE Revolution CT机,心电门控扫描模式。经外周静脉注射非离子型对比剂碘海醇(370 mgI/ml)70~80 ml并跟注生理盐水30 ml,流率0.9~2.0 ml/s,延迟时间16~19 s。将重建轴位CT图像传至工作站(3mensio Structural Heart软件),通过调节主动脉根部的冠状位、矢状位及轴位图像,使轴位图像刚好通过主动脉瓣叶附着最低点,即为主动脉瓣环测量平面,测量主动脉瓣环面积、周长、最大径和最小径。由2名放射科主治医师共同分析所有CT图像。

1.3 可重复性检验 随机抽取10例患者测量3D-TEE主动脉瓣环相关径线。由1名主治医师间隔1周重复测量上述参数;观察者间重复性检验采用另一观察者测量相关参数。

1.4 临床评估 根据TAVR术中所用人工瓣膜的型号,评估3D-TEE测量主动脉瓣环周长是否与术中所见(实际植入人工瓣膜型号)相符。

1.5 统计学分析 采用SPSS 17.0统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,对3D-TEE所测主动脉瓣环面积、周长、最大径、最小径进行方差齐性检验。采用配对样本 $t$ 检验比较3D-TEE及MDCT测得主动脉瓣环相关参数,以Pearson相关分析观察两种测量方法的相关性。对观察者内及观察者间可重复性采用组内相关系数(interclass correlation coefficient, ICC)表示(ICC $>0.75$ 为可重复性良好)。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

21例均为重度AS,主动脉瓣环面积(0.54±0.16)cm<sup>2</sup>;主动脉瓣最大流速(4.83±1.22)m/s;主动脉瓣平均跨瓣压差(51.04±14.62)mmHg。同一观察

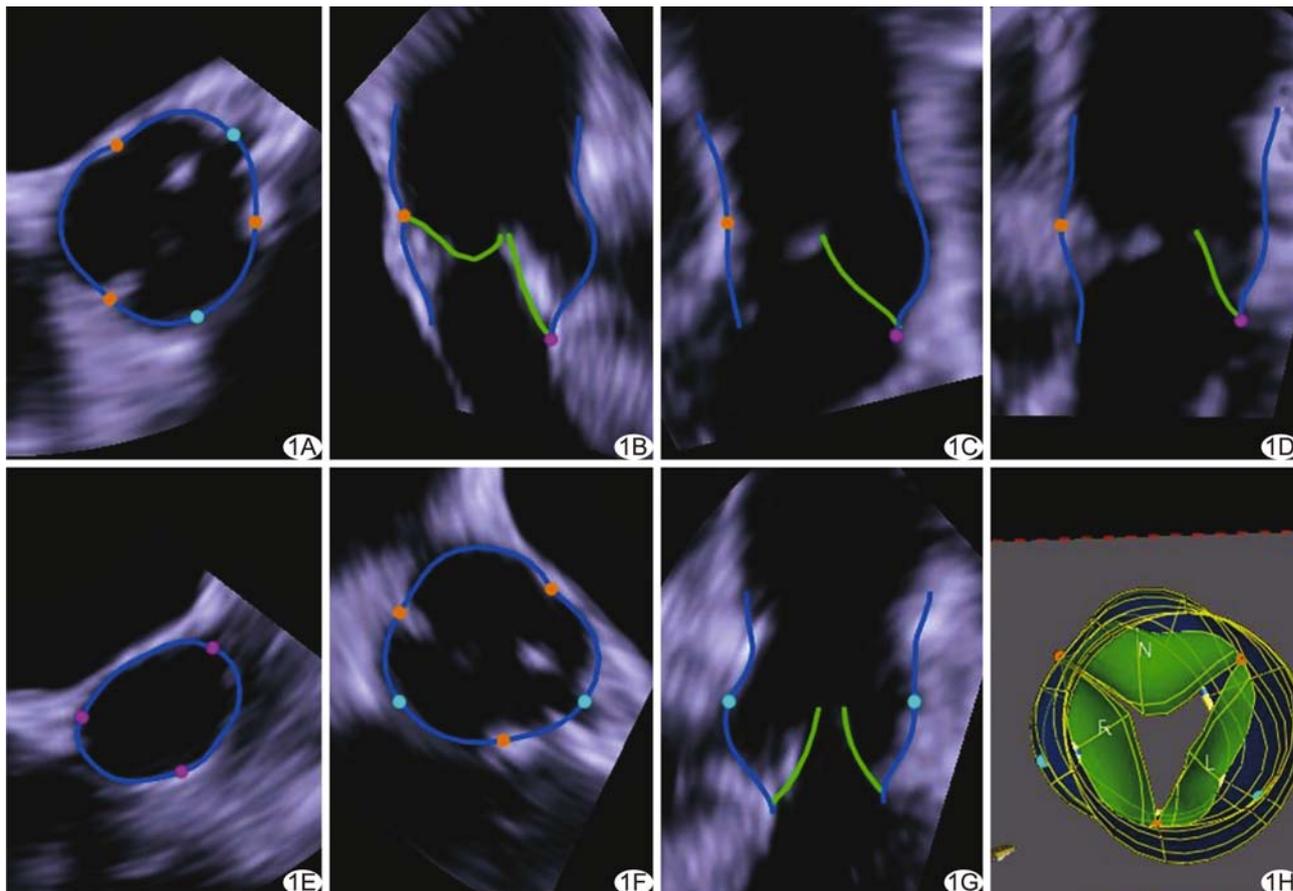


图 1 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环相关径线示意图 A. 主动脉窦部横截面; B~D. 主动脉根部矢状切面; E. 主动脉瓣环水平横截面; F. 主动脉窦部横截面; G. 主动脉根部冠状切面; H. 主动脉根部三维模拟图; 所有线和点均可进行手动调节, 图 E 为测量平面, 若软件自动识别瓣环位置欠准确, 则进行相应的手动微调节

者不同时间 (ICC=0.94、0.96、0.96、0.95)、不同观察者 (ICC=0.92、0.94、0.93、0.94) 采用 3D-TEE 测量的主动脉瓣环面积、周长、最大径及最小径的可重复性良好。

3D-TEE 测得主动脉瓣环面积 (445.74 ± 62.60)mm<sup>2</sup>, 周长 (76.16 ± 5.30) mm, 最大径 (26.29±1.97)mm, 最小径 (21.40 ± 1.68) mm; MDCT 测值分别为 (456.85 ± 75.70)mm<sup>2</sup>、(77.17 ± 5.90)mm、(26.76±2.83)mm、(20.98±1.76)mm, 两者差异均无统计学意义 ( $t = -1.46, -1.90, -1.42, 1.64, P = 0.16, 0.07, 0.17, 0.12$ ); 两种方法测量的主动脉瓣环面积 ( $r = 0.89, P < 0.01$ )、周长 ( $r = 0.91, P < 0.01$ )、最大径 ( $r = 0.85, P < 0.01$ )、最小径 ( $r = 0.79, P < 0.01$ ) 间均呈正相关, 见图 2。

采用 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环软件测量主动脉瓣面积、周长、最大径及最小径所需时间平均为 (1.54 ± 0.21)min。

21 例均成功完成 TAVR, 术后即刻评估人工瓣膜

功能良好, 仅 2 例出现轻度瓣周反流, 其余为微量或无瓣周反流。以实际植入人工瓣膜型号为标准, 依据 3D-TEE 测量主动脉瓣环周长选择人工瓣膜型号, 仅 1 例人工瓣膜型号偏小, 其余与 MDCT 所选型号一致。

### 3 讨论

TAVR 涉及到选择人工瓣膜型号及球囊型号, 但术中不能直视评估主动脉瓣环径线, 使得术前测量主动脉瓣环相关径线非常重要。若人工瓣膜选择不恰当、球囊选择过大, 可导致瓣环破裂、中度以上瓣周漏等严重并发症<sup>[10-11]</sup>。随着 TAVR 的开展, 对主动脉瓣环解剖结构的研究渐趋深入, 发现主动脉瓣环是非圆形的三维立体结构<sup>[12]</sup>。既往应用二维超声测量主动脉瓣环径, 只能提供主动脉瓣环的一个径线, 不能满足手术需求。有学者<sup>[4,13]</sup>采用 MDCT 三维技术准确测量主动脉瓣环相关径线, 发现其有利于减少瓣周漏, 目前已成为 TAVR 术前评估的首选影像学方法。亦有研究<sup>[14-16]</sup>采用 3D-TEE 测量主动脉瓣环径, 并与 MDCT

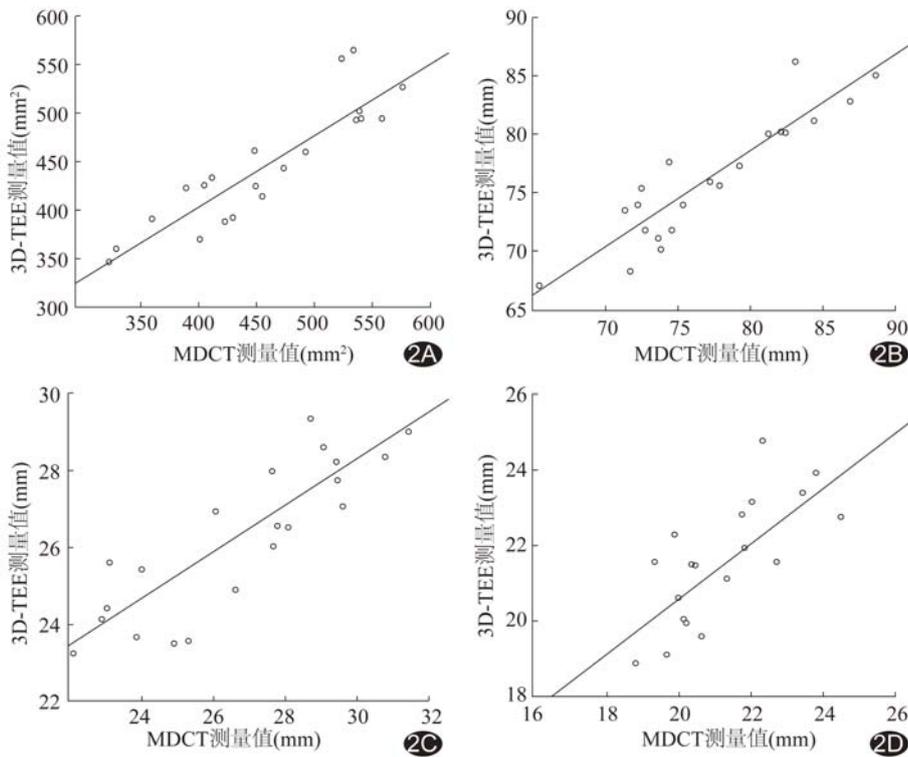


图 2 3D-TEE 与 MDCT 测量主动脉瓣环的相关性散点图 A. 面积; B. 周长; C. 最大径; D. 最小径

结果对比,发现三维超声可准确测量主动脉瓣环径,但多采用手动描绘,其结果与 MDCT 测值间存在显著差异<sup>[7-9]</sup>。本研究采用一种新的可自动测量主动脉瓣环相关径线的 3D-TEE 技术,与 MDCT 对比其测值,以期 TAVR 提供更优的术前评估手段。

本研究采用 3D-TEE 自动测量主动脉根部软件于 TAVR 术前对 21 例患者测量主动脉瓣环面积、周长、最大径及最小径,发现其测值与 MDCT 对应测值间差异均无统计学意义,且均呈正相关。既往研究<sup>[8]</sup>发现 3D-TEE 测量的主动脉瓣环面积小于 MDCT 测值,原因可能是 3D-TEE 手动测量主动脉瓣环面积时描记曲线不规则,导致面积计算不准确。本研究采用的主动脉瓣环自动测量软件系基于大量模型数据研发,可自动识别主动脉瓣环边界,避免了上述问题。

本研究以 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环相关径线所需时间为 $(1.54 \pm 0.21)$  min,通过自动标记瓣叶交界以及瓣叶附着最低点,能快速识别主动脉瓣环水平,尤其有利于缺乏经验的超声医师或介入医师<sup>[17]</sup>。随着急诊 TAVR 的开展,部分患者术前来不及进行 MDCT 检查,此时选择人工主动脉瓣型号主要依赖 3D-TEE,本研究所用 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环

技术为该类急诊 TAVR 患者提供了更优的解决办法。

另外,本研究所用 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环相关径线具有较好的观察者内及观察者间可重复性,若以之替代 MDCT 作为 TAVR 术前主动脉瓣环测量的影像学方法,临床结果亦较好,特别是对于存在肾功能不全、碘剂过敏、心律不齐的 TAVR 患者,3D-TEE 更具优势。但本研究仅为单中心研究,样本量较小,有待后期多中心大样本研究加以验证。

综上所述,本研究所用 3D-TEE 自动测量主动脉瓣环超声技术可准确、快速测量主动脉瓣环相关径线,为 TAVR 提供可靠数据,可作为替代 MDCT 的影像学方法。

#### [参考文献]

- [1] Leon MB, Smith CR, Mack M, et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery. *N Engl J Med*, 2010,363(17):1597-1607.
- [2] Smith CR, Leon MB, Mack MJ, et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N Engl J Med*, 2011,364(23):2187-2198.
- [3] Leon MB, Smith CR, Mack MJ, et al. Transcatheter or surgical aortic-valve replacement in intermediate-risk patients. *N Engl J Med*, 2016,374(17):1609-1620.
- [4] Jilalihawi H, Kashif M, Fontana G, et al. Cross-sectional computed tomographic assessment improves accuracy of aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement and reduces the incidence of paravalvular aortic regurgitation. *J Am Coll Cardiol*, 2012,59(14):1275-1286.
- [5] Schultz CJ, Moelker A, Piazza N, et al. Three dimensional evaluation of the aortic annulus using multislice computer tomography: Are manufacturer's guidelines for sizing for percutaneous aortic valve replacement helpful? *Eur Heart J*, 2010,31(7):849-856.
- [6] Willson AB, Webb JG, Labounty TM, et al. 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: A multicenter retrospective analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2012, 59 (14):

- 1287-1294.
- [7] Tsang W, Bateman MG, Weinert L, et al. Accuracy of aortic annular measurements obtained from three-dimensional echocardiography, CT and MRI: Human in vitro and in vivo studies. *Heart*, 2012, 98(15):1146-1152.
- [8] Jilaihawi H, Doctor N, Kashif M, et al. Aortic annular sizing for transcatheter aortic valve replacement using cross-sectional 3-dimensional transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 61(9):908-916.
- [9] Ng AC, Delgado V, van der Kley F, et al. Comparison of aortic root dimensions and geometries before and after transcatheter aortic valve implantation by 2- and 3-dimensional transesophageal echocardiography and multislice computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(1):94-102.
- [10] Hayashida K, Lefevre T, Chevalier B, et al. Transfemoral aortic valve implantation: New criteria to predict vascular complications. *JACC Cardiovasc Interv*, 2011, 4(8):851-858.
- [11] Tchetché D, Dumontel N, Sauguet A, et al. Thirty-day outcome and vascular complications after transarterial aortic valve implantation using both Edwards Sapien and Medtronic Core Valve bioprostheses in a mixed population. *Euro Intervention*, 2010, 5(6): 659-665.
- [12] Piazza N, de Jaegere P, Schultz C, et al. Anatomy of the aortic valvar complex and its implications for transcatheter implantation of the aortic valve. *Circ Cardiovasc Interv*, 2008, 1(1):74-81.
- [13] Binder RK, Webb JG, Willson AB, et al. The impact of integration of a multidetector computed tomography annulus area sizing algorithm on outcomes of transcatheter aortic valve replacement: A prospective, multicenter, controlled trial. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(5):431-438.
- [14] 魏薪, 陈丽萍, 陈茂, 等. 三维超声测量经导管主动脉瓣植入术患者主动脉瓣环径的研究. *中华超声影像学杂志*, 2014, 23(3): 185-190.
- [15] Khaliq OK, Kodali SK, Paradis JM, et al. Aortic annular sizing using a novel 3-dimensional echocardiographic method: Use and comparison with cardiac computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2014, 7(1):155-163.
- [16] Mediratta A, Addetia K, Medvedofsky D, et al. 3D echocardiographic analysis of aortic annulus for transcatheter aortic valve replacement using novel aortic valve quantification software: Comparison with computed tomography. *Echocardiography*, 2017, 34(5):690-699.
- [17] 魏薪, 蔡宇燕, 唐红, 等. 经食管超声心动图双平面法测量主动脉瓣环径. *中国医学影像技术*, 2017, 33(3):355-359.

## 《中国医学影像技术》被数据库收录情况

《中国医学影像技术》杂志是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊,被以下数据库收录:

中国精品科技期刊

《中文核心期刊要目总览》收录期刊

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

中国科学引文数据库核心期刊

WHO《西太平洋地区医学索引》(WPRIM)来源期刊

荷兰《医学文摘》收录源期刊

英国《科学文摘》收录源期刊

俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊

《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊