

瓣下结构对 St.Jude 机械瓣下游血流动力学影响的临床研究

张 浒¹⁾, 张桂敏¹⁾, 梅 松¹⁾, 陶 杰¹⁾, 喻 卓²⁾

(1) 昆明医科大学第一附属医院心血管外科, 云南昆明 650032; 2) 心脏内科, 云南昆明 650032)

[摘要] **目的** 明确瓣下结构不同保留方式对 St.Jude 二尖瓣机械瓣下游血流动力学的影响. **方法** 将入选的 39 名患者依据瓣下结构保留方式分为未保留瓣下结构组、保留后瓣组和保留全瓣组. 多普勒超声心动图仪检测常规多普勒指标 (平均跨瓣压差 PGmean, 跨瓣流量 Qmv), 心功能指标 (左室射血分数 LVEF), 流场均匀性指标 (二尖瓣峰值流速 Vmax, 峰值流速最大差值 ΔV_{max}), 然后应用计算机图像分析技术计算湍流剪应力 (TSS) 和相对扰动强度 (Irel). **结果** 保留瓣下结构可在一定程度上增加跨瓣血流的扰动性, 使 St.Jude 机械瓣下游流场均匀性变差, TSS 和 Irel 增大 ($P < 0.05$). **结论** 保留后瓣瓣下结构可改善术后心功能, 对跨瓣血流影响较保留全瓣轻, 适合大多数二尖瓣置换术患者.

[关键词] 瓣下结构; 人工瓣; 二尖瓣置换术; 血流动力学; 多普勒超声

[中图分类号] R654.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095-610X (2015) 03-0045-06

Clinical Research on the Influence of Subvalvular Apparatus on the Hemodynamics in the Downstream of St.Jude Medical™ Mechanical Valve

ZHANG Hu¹⁾, ZHANG Gui-min¹⁾, MEI Song¹⁾, TAO Jie¹⁾, YU Zhuo²⁾

(1) Dept. of Cardiovascular Surgery; 2) Dept. of Cardiology, The 1st Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650032, China)

[Abstract] **Objective** To research the effect of subvalvular apparatus on the hemodynamics in the downstream of prosthetic mitral valve. **Methods** 39 Patients were divided into different groups according to different preservation of subvalvular apparatus. PGmean, Qmv, LVEF, LVESD, Vmax, ΔV_{max} were measured by Doppler echocardiography, TSS and Irel was computed by Doppler echocardiography combined with the analysis of image by computer. **Results** Preservation of subvalvular apparatus to some extent resulted in an incremental disturbance of transvalvular flow, which caused that the flow field uniformity in the downstream of prosthetic mitral valve became worse and that TSS increased. **Conclusion** To preserve posterior subvalvular apparatus may be more beneficial to most patients with Mitral valve replacement, as it can improve the cardiac function.

[Key words] Subvalvular apparatus; Prosthetics; Mitral valve replacement; Hemodynamics; Doppler echocardiograph

保留二尖瓣瓣下结构能改善术后心功能. 然而, 并非所有患者保留瓣下结构后, 其瓣膜下游血流动力学状况均较佳. 近年来的研究显示, 保留瓣下结构可引起瓣膜下游血流受阻, 尤以机械瓣为著. 为此, 本研究采用多普勒超声结合计算

机图像分析, 通过比较不同瓣下结构保留术式人工心瓣下游血流动力学指标, 明确保留瓣下结构对人工心瓣下游血流动力学影响, 为临床医师选择合理的瓣下结构保留术式提供依据.

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (30860279)

[作者简介] 张浒 (1978~), 男, 重庆市人, 博士, 讲师, 主要从事心血管外科临床工作.

[通讯作者] 喻卓. E-mail:1036496536@qq.com

1 资料与方法

1.1 研究对象

研究对象为 2011 年 1 月至 2012 年 1 月在昆明医科大学第一附属医院心血管外科接受 St.Jude 双叶机械二尖瓣置换术的患者, 共 39 例, 男 18 例, 女 21 例, 年龄 31~61 岁, 平均 (48.6 ± 7.3) 岁。纳入标准: (1) 65 岁以下, 术前经心脏彩超检查证实二尖瓣具有明确严重病变者; (2) 所有患者及家属对实验知情同意, 并经医院伦理委员会批准, 符合医学伦理学标准。

排除标准: (1) 65 岁以上; (2) 联合瓣膜病变; (3) 房颤。

1.2 手术方法

全部患者均采用静吸复合麻醉, 全身肝素化 (3 mg/kg), 采用瑞典 Jostra HL-20 型人工心肺机平流灌注, 使用美敦力膜肺 (成人型)。预充液采用晶体与胶体, 血液稀释后患者的血红蛋白为 80 g/L 左右。常规建立 CPB, 采用浅低温 CPB, 术中鼻咽温度 $(29 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、肛温 $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$, 主动脉根部顺灌高钾温血停搏液, 每 30 min 重复灌注一次, 心脏表面冰屑降温。手术经右房-房间隔径路行二尖瓣置换, 先牵开房间隔显露二尖瓣, 根据二尖瓣瓣叶及腱索情况选择保留方式: 未保留瓣下结构 (后简称未保留) 者, 完全切除前、后瓣叶及其瓣下腱索后置换人工瓣膜; 保留后瓣瓣下结构 (后简称保留后瓣) 者, 切除前瓣及其腱索, 采用间断褥式缝合将后叶腱索固定在原位或附近, 同时固定人工瓣膜并将多余的瓣叶折叠在后瓣环与人工瓣膜缝合环之间; 保留全瓣瓣下结构 (后简称保留全瓣) 者, 自前瓣 12 点处距瓣环 2 mm 切开, 向两侧延伸至前后瓣交界, 切除大部分瓣叶, 保留腱索附着处, 尽量选择相对正常或病变较轻的腱索保留, 然后将前叶腱索缝合固定在前瓣环近交界处, 后瓣腱索的处理同单纯保留后瓣者。人工瓣均采用 St. Jude 二尖瓣机械瓣。

1.3 分组

按瓣下结构保留方式分为未保留组 ($n = 13$)、保留后瓣组 ($n = 19$) 和保留全瓣组 ($n = 7$)。

1.4 检测指标

1.4.1 常规多普勒 (1) 平均跨瓣压差 (PGmean); (2) 跨瓣流量 (Q_{mv})。

1.4.2 心功能 左室射血分数 (LVEF)。

1.4.3 流场均匀性 (1) 二尖瓣峰值流速 (V_{max});

(2) 峰值流速最大差值 (ΔV_{max})。

1.4.4 湍流剪应力指标 (1) 心尖四腔心切面 (four chamber view, FCV) 和左心二腔心切面 (two chamber view, TCV) 在二尖瓣前向跨瓣血流核心区及周围边界各位点 (FCV: Lc- 核心区位点, Ll- 外侧边界位点, Lm- 内侧边界位点; TCV: Lc- 核心区位点, Lal- 前外侧边界位点, Lpm- 后内侧边界位点) 上、连续 5 个心动周期血流速度频谱中 E 峰和 A 峰处两组瞬时速度值 u_{ij} ; (2) E、A 峰两组瞬时速度值的均值和 5 个心动周期血流频谱的所有瞬时速度值的均值; (3) 连续 5 个心动周期中, 每一心动周期 E 峰与 A 峰处血流速度扰动值的均方及其 5 个周期的均值; (4) 每一心动周期 E 峰与 A 峰处相应的法向雷诺应力 (reynolds normal stress, RNS)、湍流剪应力 (turbulent shear stress, TSS)、相对扰动强度 (relative turbulent intensity, Irel) 及其 5 个周期的均值。

1.5 检测方法

常规指标: 采用 GE Vivid S5 多谱勒超声心动图仪在彩色多普勒血流图像引导下在 FCV 切面以频谱多普勒获取二尖瓣前向跨瓣血流频谱, 手动勾勒频谱外缘轮廓, 系统即自动测算出 PGmean 与时间速度积分 (velocity time integral, VTI), 按压差降半时间法测量有效瓣口面积 (effective orifice area, EOA), 根据 VTI 和 EOA 即可获得 Q_{mv} 。

心功能指标: 应用 Simpson 法测量左室射血分数 LVEF。取心尖四腔和心尖两腔正交切面, 分别于舒张末期和收缩末期冻结图像, 人工描绘心内膜界面, 超声诊断仪自动沿左心室长轴将左心室分为等高 20 等分圆柱体, 各柱体之和即为左心室容积, 分别计算出左室舒张末期容积和左室收缩末期容积, 计算机自动获得 EF 值。

流场均匀性指标: 在最佳清晰度的 CDFI 引导下, 分别于 FCV 切面和 TCV 切面, 于下游距瓣尖 $0.5 \sim 2 \text{ cm}$ 区域, 根据流型特点和频谱信号准确定位跨瓣血流核心区测速点, 记录最大速度频谱, 测量峰值流速 V_{max} 。继而在同一切面, 以频谱多普勒测量跨瓣血流内与外、前外与后内边界之峰值流速。计算出各切面 ΔV_{max} 作为流场均匀性定量指标。

湍流剪应力指标: 在检测流场均匀性指标的同时, 保持相同的彩色速度量程和增益条件不变, 分别于 FCV 和 TCV 切面, 在已确定的血流核心区与周围边界各测速点上, 以频谱多普勒连续记录 20 个以上二尖瓣跨瓣血流速度频谱, 保存于多普勒超声心动图仪上。首先将多普勒超声心动图仪上的待测位点至少 5 个心动周期的速度频谱图数字化, 通过特殊的

图像分析,得到各个心动周期内速度的拟合曲线.再按以下系列公式,即可求得TSS与 Irel.

$$\bar{u}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{ij} u \quad (j = 1,2,3,4) \quad (1)$$

$$\overline{u^2} = \frac{1}{n} \times \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^5 (u_{ij} - \bar{u}_j)^2 \quad (2)$$

$$RNS = \rho \overline{u^2} \quad (3)$$

$$TSS = 0.5RNS \quad (4)$$

$$I_{rel} = \frac{U_{RMS}}{\bar{u}} \quad (5)$$

式中 U_{RMS} 为二尖瓣前向跨瓣血流瞬时速度扰

动值的均方根,即 $\sqrt{\overline{u^2}}$.

1.6 统计学分析

采用 SPSS 统计软件,计量资料以表示. 各组间数据的比较采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义.

2 结果

2.1 常规多普勒、心功能指标比较

常规多普勒指标中,平均跨瓣压差 (PGmean) 在各组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$),保留全瓣组高于保留后瓣组,保留后瓣组高于未保留组.心功能指标中,左室射血分数 (LVEF) 在各组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$),保留全瓣组高于保留后瓣组,保留后瓣组高于未保留组,见表 1.

2.2 流场均匀性指标比较

流场均匀性指标,保留后瓣组与未保留组差异无统计学意义 ($P > 0.05$),保留全瓣组与另外两组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$),保留全瓣组高于另外 2 组,见表 2.

2.3 湍流剪应力 (TSS) 比较

核心区 TSS 在各组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),内、外、前外侧边界位点在保留后瓣组与未保留组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),内、外、前外、后内侧边界位点在保留全瓣组与保留后瓣组间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$),前者高于后者,见表 3.

2.4 相对扰动强度 (I_{rel}) 比较

FCV 切面下核心区 Irel 在各组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),内、外、前外、后内侧边界位点在保留后瓣组与未保留组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$),在保留全瓣组与另外两组间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$),保留全瓣组高于另外 2 组,见表 4.

3 讨论

早在 60 年代 Lillehei 等开始采用保留腱索、乳头肌及瓣叶组织等瓣下结构以保护左心室功能的 MVR 术,经过不断的研究和发展已日趋成熟.至今已有大量的研究表明,不保留瓣下结构的 MVR 术患者,术后低心排出量综合征发生率与病死率明显高于保留者,远期疗效低于保留者^[1].Muthialu 等的研究^[2]显示,保留瓣下结构的 MVR 术

表 1 常规多普勒、心功能指标在各组之间的比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Comparison of routine Doppler and cardiac function indexes among three groups ($\bar{x} \pm s$)

项 目	未保留组 (n = 13)	保留后瓣 (n = 19)	保留全瓣组 (n = 7)
PGmean (kPa)	0.31 ± 0.05	0.40 ± 0.06*	0.95 ± 0.08* [△]
Qmv (mL)	76.8 ± 6.6	72.4 ± 4.7*	71.4 ± 6.5
LVEF (%)	46 ± 4	53 ± 6*	58 ± 5* [△]

和未保留组比较, * $P < 0.05$; 与保留后瓣组比较, [△] $P < 0.05$.

表 2 流场均匀性指标在各组之间的比较 ($x \pm s$)

Tab. 2 Comparison of flow field homogeneity indexes among three groups ($x \pm s$)

项 目	未保留组 (n = 13)	保留后瓣组 (n = 19)	保留全瓣组 (n = 7)
V_{max} (m/s) FCV	0.73 ± 0.08	0.62 ± 0.07*	1.22 ± 0.06* [△]
TCV	0.73 ± 0.05	0.67 ± 0.08	1.26 ± 0.13* [△]
ΔV_{max} (m/s) FCV	0.49 ± 0.05	0.49 ± 0.07	1.00 ± 0.08* [△]
TCV	0.49 ± 0.07	0.52 ± 0.06	1.00 ± 0.08* [△]

和未保留组比较, * $P < 0.05$; 与保留后瓣组比较, [△] $P < 0.05$.

表 3 TSS 在各组之间的比较 ($\bar{x} \pm s$)Tab. 3 Comparison of TSS among three groups ($\bar{x} \pm s$)

项 目	未保留组 ($n = 13$)	保留后瓣组 ($n = 19$)	保留全瓣组 ($n = 7$)
FCV L _c E	50.7 ± 8.8	47.5 ± 6.3	48.0 ± 9.7
A	50.9 ± 9.2	51.6 ± 7.6	49.4 ± 10.4
L _m E	110.1 ± 16.5	108.9 ± 19.5	137.2 ± 20.1* [△]
A	115.7 ± 17.2	113.4 ± 20.8	142.0 ± 16.4* [△]
L _l E	118.5 ± 12.8	109.0 ± 17.4	138.6 ± 18.4* [△]
A	120.8 ± 15.7	108.1 ± 15.9*	138.3 ± 17.6 ^b
TCV L _c E	50.5 ± 7.9	51.3 ± 6.0	49.1 ± 8.2
A	53.0 ± 9.3	54.0 ± 5.6	50.1 ± 9.3
L _{al} E	116.8 ± 13.4	114.0 ± 11.7	142.1 ± 18.1* [△]
A	130.4 ± 12.4	110.2 ± 13.7	139.7 ± 16.7 [△]
L _{pm} E	123.5 ± 15.0	110.0 ± 16.3*	138.3 ± 17.9 [△]
A	132.2 ± 14.2	125.2 ± 16.8*	138.8 ± 19.2 [△]

和未保留组比较, * $P < 0.05$; 保留全瓣组与保留后瓣组比较, [△] $P < 0.05$.

表 4 Irel 在各组之间的比较 ($\bar{x} \pm s$)Tab. 4 Comparison of Irel among three groups ($\bar{x} \pm s$)

项 目	未保留组 ($n = 13$)	保留后瓣组 ($n = 19$)	保留全瓣组 ($n = 7$)
FCV L _c E	11.1 ± 0.9	10.6 ± 0.7	12.0 ± 1.1
A	11.1 ± 1.2	11.3 ± 1.0	10.4 ± 0.9
L _m E	23.0 ± 1.5	23.0 ± 1.2	44.7 ± 2.8* [△]
A	23.9 ± 1.7	23.8 ± 1.3	43.6 ± 2.6* [△]
L _l E	23.5 ± 1.8	23.0 ± 1.1	42.5 ± 2.2* [△]
A	23.6 ± 1.7	23.2 ± 1.4	44.8 ± 2.6* [△]
TCV L _c E	11.4 ± 0.9	11.7 ± 0.7	12.3 ± 1.0*
A	14.3 ± 1.7	13.4 ± 0.7*	10.5 ± 0.8* [△]
L _{al} E	23.6 ± 1.6	23.5 ± 1.3	46.9 ± 3.3* [△]
A	22.9 ± 1.5	23.2 ± 1.2	45.3 ± 2.6* [△]
L _{pm} E	22.3 ± 1.2	22.6 ± 1.0	46.7 ± 2.7* [△]
A	23.5 ± 1.6	23.9 ± 1.5	44.9 ± 2.8* [△]

和未保留组比较, * $P < 0.05$; 保留全瓣组与保留后瓣组比较, [△] $P < 0.05$.

患者与未保留患者相比, 术后 5 a 生存率 92% vs. 80% ($P = 0.001$)。切除腱索后收缩功能的降低, 主要是由于破坏了左心室结构的完整性, 损坏了左心室的力学结构, 直接影响了心肌的收缩性、协调性和顺应性, 最终造成左室收缩功能下降。

由于担心保留的瓣下结构妨碍人工瓣置入和/或引起术后瓣叶活动受限增加二次手术的发生率, 保留瓣下结构的 MVR 术一开始并不为广大临床医师所接受。随着越来越多的研究显示保留瓣下结构能够改善术后心功能, 减少心室破裂的危险, 同时保留瓣下结构的手术方法不断改进, 人工瓣的设计不断更新, 瓣架的高度较过去降低很多, 使人工瓣置入困难和术后瓣叶活动受限的发生率

大大降低, 保留瓣下结构的 MVR 术被临床医师逐渐接受和推广, 已成为一种标准术式。随着保留瓣下结构的 MVR 术逐渐增多, 与瓣下结构有关的一些问题, 如左室流出道梗阻逐渐引起人们的关注^[3]。

相对于左室流出道梗阻而言, 有关瓣下结构对左室流入道流场中跨瓣血流影响的研究甚少。20 世纪 90 年代中后期, 美国学者 Fontaine 采用体外生理脉动流模型对保留瓣下结构的 Carpentier - Edwards 牛心包瓣与 St.Jude 双叶机械瓣跨瓣血流进行了模拟研究, 结果显示, 由于瓣下结构的存在, 两种人工瓣跨瓣血流均存在某种形式的血流梗阻现象。其中, 生物瓣受阻程度较轻, 血流梗阻影响了

机械瓣下游压力的恢复。此外,前、后瓣下腱索均保留的情况下,血流受阻程度明显加剧,尤以机械瓣为著。因此,理论上推测,保留瓣下结构可能会加重人工心瓣的狭窄效应,其下游分离扰动的血流所产生的湍流射流及其剪应力将会对血液有形成分产生损害作用,使溶血、血栓栓塞等与人工心瓣置换术有关的一系列并发症加重。该研究率先提出了保留瓣下结构可以引起左室流入道狭窄以及由此而产生的血流动力学紊乱的实验依据,所不足的是,研究是在体外条件下采用理想状态的生理性脉动流模型来对保留瓣下结构的手术方式和血流动力学环境进行单纯模拟,而且属于定性研究,因而难以对体内病理性湍流射流以及瓣下结构不同保留方式下实际所产生的血流动力学变化进行全面实时和客观准确的定量描述^[4-6]。

人工瓣下游分离扰动的血流所产生的湍流射流及其剪应力将会对血液有形成分甚至心壁结构产生损害作用,使溶血、血栓形成等与人工心瓣置换术有关的一系列并发症发生率增高^[7-9]。2002年Korkolis等^[10]报道了一例因术后早期在保留的腱索、乳头肌上血栓形成造成流入道狭窄的病例。研究显示在TSS长期作用下,静脉和动脉内皮细胞会出现基因表达的异常,表现为内皮素-1, β 转化生长因子,IV型胶原的合成增加,内皮细胞异常增生^[11-12]。Shigematsu等报道TSS会引起体外培养的平滑肌细胞出现增生^[13]。TSS的长期作用是否会引起心室腔内皮细胞和室壁心肌细胞的增生还有待进一步的研究,但左室流入道心内膜和室壁心肌在TSS作用下发生应力应变性结构变化,出现增厚导致左室流入道狭窄的可能性还应引起临床医生的高度重视,因为虽然保留瓣下结构的MVR术后左室流入道狭窄报道不多,但一旦出现必须进行二次手术矫治,二次手术的风险较高,而且手术矫治效果也不确定。

St.Jude双叶机械瓣是目前临床较常选用的人工瓣二尖瓣,明确瓣下结构不同保留方式下St.Jude机械瓣下游有无梗阻、梗阻程度以及梗阻所产生TSS的大小,对于临床医生决定MVR患者是否保留瓣下结构和选择何种保留方式,让患者最大程度地获益,最大限度地降低换瓣手术术后并发症有着十分重要的意义。

LVEF在未保留组、保留后瓣组和保留全瓣组之间差异有统计学意义($P < 0.05$),保留全瓣组心功能最优,未保留组最差,保留后瓣组介于二者之间,和近年来的一些研究结果一致。保留部分

或全部瓣下结构,维持了瓣环乳头肌的连续性,从而改善了患者术后的心肌收缩功能。

本研究常规超声、流场均匀性、TSS和Irel指标在保留后瓣组与未保留组之间大部分无显著性差异($P > 0.05$),而在此二组与保留全瓣组之间均存在显著性差异($P < 0.05$),提示保留后瓣瓣下结构对双叶机械瓣下游血流动力学影响不大,而同时保留前后瓣瓣下结构则可引起其下游湍流度有一定程度升高,流场均匀性变差。究其原因,可能是双叶机械瓣瓣口面积相对较大,各流道大小接近,血流方向垂直于瓣口截面,跨瓣血流较平稳顺畅,单纯保留后瓣瓣下结构尚不致造成明显的狭窄效应,而同时保留前后瓣叶和瓣下结构则对跨瓣血流干扰较大,因为解剖方位有所改变的前后瓣下结构易使跨瓣血流发生流线分离和再附着改变,增大了湍流扰动强度和流场不均匀性^[5,6,14,15]。

笔者认为,在保留瓣下结构时,除了心功能以外,还应考虑到瓣下结构的处理方式和人工心瓣构型可能会对术后人工心瓣下游血流动力学产生的影响。单纯保留后瓣瓣下结构对下游血流动力学影响相对较小,而且可使心功能得到一定程度的改善,手术操作也易掌握,手术时间也较全瓣瓣下结构保留术式短,易为多数临床医师接受。全瓣瓣下结构同时保留虽然可使术后心功能的改善优于单纯保留后瓣瓣下结构,但其对下游血流动力学产生的不利影响相对要大,从术后远期疗效的角度看,增大的TSS除对血液有形成分产生损伤作用会增加溶血与抗凝治疗并发症发生率外,对心内膜的长期作用有可能成为左室流入道狭窄不可忽视的原因。所以保留后瓣瓣下结构可能更适合大都数患者。

[参考文献]

- [1] KIRIS I, GULMEN S, KURALAY E, et al. Does posterior transposition of anterior leaflet for complete chordal preservation during mitral valve replacement improve postoperative left ventricular performance [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2007, 32(5): 820 - 821.
- [2] MUTHIALU N, VARMA S K, RAMANATHAN S, et al. Effect of chordal preservation on left ventricular function [J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2005, 13 (3): 233 - 237.
- [3] RIETMAN G W, VANDER MAATEN J M, DOUGLAS Y L, et al. Echocardiographic diagnosis of left ventricular outflow tract obstruction after mitral valve replacement with sub-valvular preservation [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 22(5): 825 - 827.

- [4] 张桂敏,李守先,顾华美,等. 保留瓣下结构的几种机械瓣下游血流动力学多普勒超声研究[J]. 生物医学工程和临床康复,2004,8(4):90-94.
- [5] AKUTSU T, IMAI R, DEGUCHI Y. Effect of the flow field of mechanical bileaflet mitral prostheses on valve closing [J]. *J Artif Organs*, 2010, 8(3):161-170.
- [6] AKUTSU T, SAITO J. Dynamic particle image velocimetry flow analysis of the flow field immediately downstream of bileaflet mechanical mitral prostheses [J]. *J Artif Organs*, 2011, 9(3):165-178.
- [7] CHI PEI LI, CHI WEN L O, PO CHIEN L U. Estimation of Viscous dissipative stresses induced by a mechanical heart valve using PIV data [J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2010, 38(3):903-916.
- [8] CHI PEI L I, CHI WEN L O, POCHIEN L U. Estimation of Viscous dissipative stresses induced by a mechanical heart valve using PIV data [J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2010, 38(3):903-916.
- [9] DALY A R, SOBAJIMA H, OLIA S. Application of drag-reducing polymer solutions as test fluids for in vitro evaluation of potential blood damage in blood pumps [J]. *ASAIO J*, 2010, 56(1): 6-11.
- [10] KORKOLIS D P, PASSIK C S, MARSHALCO S J, et al. Early bioprosthetic mitral valve ‘pseudostenosis’ after complete preservation of the native mitral apparatus [J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 74(5): 1 689-1 691.
- [11] OHURA N, YAMAMOTO K, ICHIOKA S, et al. Global analysis of shear stress-responsive genes in vascular endothelial cells [J]. *J Atheroscler Thromb*, 2013, 10(5): 304-313.
- [12] DE NIGRIS F, LERMAN L O, IGNARRO S W, et al. Beneficial effects of antioxidants and L-arginine on oxidation-sensitive gene expression and endothelial NO synthase activity at sites of disturbed shear stress [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, 100(3):1 420-1 425.
- [13] SHIGEMATSU K, YASUHARA H, SHIGEMATSU H, et al. Direct and indirect effects of pulsatile shear stress on the smooth muscle cell [J]. *Int Angiol*, 2010, 19(1):39-46.
- [14] NYBOE C, FUNDER J A, SMERUP M H, et al. Turbulent stress measurements downstream of three bileaflet heart valve designs in pigs [J]. *Eur J Crdiothorac Surg*, 2006, 29(6): 1 008-1 013.
- [15] DROST T, ZIMMER T, KIM H B, et al. Study of in vitro mitral valve filling flow [J]. *J Biomed Sci Instrum*, 2009, 40(9):350-356.

(2015-02-07 收稿)

征稿启事

为进一步支持和推动昆明医科大学学科建设的发展,使《昆明医科大学学报》的学术质量得到进一步的提升,《昆明医科大学学报》编辑部决定自2012年1月1日起,国家自然科学基金资助课题的综述可以在学报正刊发表,另外对国家自然科学基金资助课题、云南省自然科学基金资助课题及昆明医科大学“十二五”省级、校级重点学科立项建设的研究论文,给予优先刊登及优稿优酬的奖励机制.欢迎广大科研教学人员、硕士及博士研究生踊跃投稿.网上投稿 <http://kmykdx.cnjournals.cn>, 电话:0871-65936489, 0871-65393133.

昆明医科大学学报编辑部
2014年1月1日