

冷冻消融术(CBA)治疗阵发性房颤的参数分析及疗效观察

徐 烨 庞 暘 陈庆兴 凌云龙 程 宽 朱文青[△]

(复旦大学附属中山医院心内科 上海 200032)

【摘要】 目的 探讨冷冻消融术(cryoballoon ablation, CBA)治疗阵发性心房颤动患者的参数特点,并探讨消融参数与房颤治疗有效率之间的关系。**方法** 复旦大学附属中山医院心内科在2019年1—6月内完成了50例阵发性心房颤动的CBA,记录每支肺静脉冷冻的相关参数和并发症。随访术后6个月内CBA的安全性、患者再住院率、房颤复发率,并和同期行房颤射频消融(radiofrequency ablation, RFCA)的50例患者进行临床疗效的对比。**结果** CBA组6个月内消融成功率为92%,RFCA组6个月消融成功率为90%。CBA和RFCA的患者中均未出现严重的手术并发症,无缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)的发生。CBA组无再次住院的事件发生,RFCA组有4名患者因持续性房扑不能终止而住院治疗。CBA组总手术时间为(108.7±25.8)min,总冷冻时间为(14.6±3.1)min;RFCA组总手术时间为(207.7±34.2)min,射频消融总时间为(152.5±33.8)min。CBA组平均每根肺静脉冷冻(1.7±0.3)次,右下肺静脉(right inferior pulmonary vein, RIPV)消融(2.1±0.7)次。平均冷冻消融最低温度为(-52.9±3.2)℃,左上肺静脉(left superior pulmonary vein, LSPV)、右上肺静脉(right superior pulmonary vein, RSPV)、左下肺静脉(left inferior pulmonary vein, LIPV)和RIPV消融的最低温度分别为(-49.2±5.1)℃、(-50.1±6.7)℃、(-41.8±4.6)℃和(-39.1±6.2)℃。RIPV消融的最低温度高于其他肺静脉(LSPV: $P<0.0001$, LIPV: $P=0.016$, RSPV: $P<0.0001$)。LSPV消融时间最长,平均为3.9 min,高于其他肺静脉(LIPV: $P=0.36$, RSPV: $P=0.42$, RIPV: $P=0.38$)。**结论** CBA在阵发性房颤中的治疗安全有效,术后6个月内的再住院和心律失常发生率较少。RIPV的消融温度可能与房颤术后的短期复发相关。

【关键词】 心律失常; 房颤(AF); 冷冻消融术(CBA); 射频消融术(RFCA)

【中图分类号】 R654.2 **【文献标志码】** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-8467.2020.05.016

Parameter analysis and outcome of cryoballoon ablation (CBA) for paroxysmal atrial fibrillation

XU Ye, PANG Yang, CHEN Qing-xing, LING Yun-long, CHENG Kuan, ZHU Wen-qing[△]

(Department of Cardiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China)

【Abstract】 Objective To investigate the parameter characteristics of cryoballoon ablation (CBA) in the treatment of paroxysmal atrial fibrillation (AF), and to explore the relationship between ablation parameters and the effect of AF treatment. **Methods** The study enrolled 50 patients treated with CBA as well as 50 patients treated with radiofrequency ablation (RFCA) from Jan to Jun of 2019 in Zhongshan hospital, and recorded the complications and the parameters of each pulmonary vein cryoablation. We compared CBA with RFCA in the safety, the rate of rehospitalization and the rate of the recurrence of atrial fibrillation within 6 months after operation. We completed the 6 months follow-up and observed the clinical effect of AF treatment and RFCA treatment. **Results** The success rate was 92% in CBA group and 90% in RFCA group for paroxysmal atrial fibrillation during 6 months follow-up period. There was no

[△]Corresponding author E-mail: zhu.wenqing@zs-hospital.sh.cn

网络首发时间:2020-09-11 11:21:01 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1885.r.20200909.1516.030.html>

serious complications, no ischemic stroke and no transient ischemic attack (TIA) in both groups. There was no rehospitalization in the CBA group, but 4 patients in RFCA group were hospitalized due to persistent atrial flutter. The total procedure time of CBA was (108.7 ± 25.8) minutes, the total cryoablation time was (14.6 ± 3.1) minutes. The total procedure time of RFCA was (207.7 ± 34.2) minutes, and the total time of radiofrequency ablation was (152.5 ± 33.8) minutes. In CBA group, the mean number of per pulmonary vein cryoablation was (1.7 ± 0.3) times, but the number of right inferior pulmonary vein ablation (RIPV) was (2.1 ± 0.7) times. The mean minimum temperature of cryoablation was $(-52.9 \pm 3.2) ^\circ\text{C}$, the mean minimum cryoablation temperature of left superior pulmonary vein (LSPV), right superior pulmonary vein (RSPV), left inferior pulmonary vein (LIPV) and RIPV was $(-49.2 \pm 5.1) ^\circ\text{C}$, $(-50.1 \pm 6.7) ^\circ\text{C}$, $(-41.8 \pm 4.6) ^\circ\text{C}$ and $(-39.1 \pm 6.2) ^\circ\text{C}$, respectively. The mean minimum cryoablation temperature of RIPV was higher than that of other pulmonary veins (LSPV: $P < 0.0001$, LIPV: $P = 0.016$, RSPV: $P < 0.0001$). The cryoablation time of LSPV was the longest of 3.9 min, which was higher than that of other pulmonary veins (LIPV: $P = 0.36$, RSPV: $P = 0.42$, RIPV: $P = 0.38$). **Conclusion** The treatment of CBA in paroxysmal atrial fibrillation is safe and effective, and there is less rehospitalization and recurrence within 6 months after operation. The RIPV cryoablation temperature may be related to short-term recurrence of AF.

【Key words】 arrhythmia; atrial fibrillation (AF); cryoballoon ablation (CBA); radiofrequency ablation (RFCA)

心脏导管射频消融术(radiofrequency ablation, RFCA)在近十年来发展迅速,近五年来随着导管及消融技术的优化和改进,房颤RFCA在国内大规模开展。对于有症状的阵发性房颤,国内外指南均推荐RFCA治疗;但对于RFCA并发症以及手术时间较长也有一定的担忧。高功率模式下的RFCA、零射线的绿色电生理技术和冷冻消融术(cryoballoon ablation, CBA)有更为广阔的应用前景。

第二代冷冻球囊导管已成功应用于肺静脉电隔离,并成为房颤治疗领域的一项新技术。研究证实冷冻球囊消融房颤是一种安全有效的治疗方式^[1-2]。指南已将CBA技术作为有症状的发作性、阵发性房颤的推荐治疗。

房颤消融术后可能会出现房颤、房扑、房速等心律失常症状,严重的患者可能伴有持续的心动过速且不能缓解,临床中对于窗口期及早期再发的心律失常通常采取保守治疗。本研究通过分析CBA的参数特点,同时比较CBA和RFCA两组患者在6个月内心律失常的发生率及再住院率,以期进一步改善手术效率及患者术后的生活质量。

资 料 和 方 法

研究对象 通过筛选入组2019年1月至2019

年6月在复旦大学附属中山医院心内科接受冷冻球囊导管消融(CBA组)和RFCA(RFCA组)治疗的阵发性房颤的住院患者,每组50例。观察两组的总手术时间、消融总时间、手术并发症、6个月内再住院率和房颤再发生率。分析CBA组的房颤持续时间、左心房大小、消融参数与术后心律失常之间的关系。

纳入标准:经心电图或24 h动态心电图明确诊断为阵发性房颤;首次接受房颤导管消融术。排除标准:既往有房颤消融术史、左心耳封堵术史或心外科手术史;左心房前后径 >55 mm;左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) $<35\%$;左心房附壁血栓形成;瓣膜性房颤;肺静脉共干或畸形。

术前准备 术前行超声心动图检查以明确心脏形态、结构及功能,术前24 h内行经食管心脏超声检查以排除左心房血栓,术前行肺静脉CT血管造影以明确肺静脉形态及走行。

CBA 在局麻下进行CBA,穿刺左锁骨下静脉及左侧股静脉,送4极及10极标测电极于右心室及冠状静脉窦。穿刺右侧股静脉置入长鞘后,完成房间隔穿刺,给予普通肝素100 U/kg,然后置换可调弯鞘,并在鞘的支撑下将冷冻消融球囊(美敦力)送

至肺静脉口,冷冻顺序为左上肺静脉(left superior pulmonary vein, LSPV)、左下肺静脉(left inferior pulmonary vein, LIPV)、右上肺静脉(right superior pulmonary vein, RSPV)和右下肺静脉(right inferior pulmonary vein, RIPV),球囊充气堵塞肺静脉后,通过肺静脉造影评价球囊与肺静脉贴合程度。CBA的有效温度控制在 $-55\sim-45\text{ }^{\circ}\text{C}$,每次有效消融时间持续180 s。如温度下降不满意或者肺静脉电位未消失则随时终止消融。冷冻消融LSPV后,复温撤出球囊时极易出现迷走神经反射,伴随有长R-R间期,必要时行心室起搏。对右肺静脉进行冷冻消融,冷冻开始10 s后,调整4极导管位置至膈神经区域,起搏膈神经以监测避免膈神经损伤。消融后通过Achieve环状电极(美敦力)来评价肺静脉的电隔离情况。所用冷冻消融仪为美敦力106E2S/N:5K0741。

RFCA 在局麻下进行RFCA,穿刺左锁骨下静脉,送10极标测电极于冠状静脉窦内。穿刺右侧股静脉2处,分别置入SL1长鞘(8.5F,心诺普医疗技术有限公司),完成2次房间隔穿刺,给予普通肝素100 U/kg,通过长鞘,先送入星形磁电双定位标测导管(强生,型号PENTARAY NAV ECO)重建左心房;后送入压力监测灌注消融导管(强生,型号THERMOCOOL SMARTTOUCH)进行环肺静脉消融。根据术中情况可行左心房线性消融,通常为顶壁线与后壁线。消融后通过PENTARAY导管评价肺静脉及左心房的电隔离情况。

随访 患者术后3和/或6个月于中山医院房颤门诊进行随访,了解患者临床症状及用药情况,如患者未能来院则进行电话随访。随访时嘱患者提供24 h动态心电图结果,如有不适及时联系医师,并行心电图检查。

统计学分析 采用SPSS软件进行统计分析,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用 χ^2 检验和 t 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

基线特点 CBA组男性40名,女性10名,RFCA组男性31名,女性19名;平均年龄:CBA组(57 ± 11)岁,RFCA组(61 ± 10)岁;房颤发作时间:CBA组(43 ± 59)月,RFCA组(37 ± 47)月;左心房

大小:CBA组(41 ± 3.7)mm,RFCA组(41 ± 4.4)mm。CBA组总手术时间为(108.7 ± 25.8)min,其中冷冻时间为(14.6 ± 3.1)min;RFCA组总手术时间为(207.7 ± 34.2)min,其中消融时间为(152.5 ± 33.8)min(表1)。

表1 CBA组和RFCA组患者的基线及手术资料

Tab 1 Baseline and data in CBA group and RFCA group

Item	CBA group (n=50)	RFCA group (n=50)	P
Male [n(%)]	40 (80)	31 (62)	—
Age (y)	57 ± 11	61 ± 10	0.05
History (mo)	43 ± 59	37 ± 47	0.57
Left atrium (mm)	41 ± 3.6	41 ± 4.4	0.63
Total procedure time (min)	109 ± 26	208 ± 34	$<0.000\ 1$
Total ablation time (min)	15 ± 3	152 ± 34	$<0.000\ 1$

主要终点事件 经过6个月随访,CBA组有3例患者出现房颤,1例患者出现持续性房速,心律失常发作率为8%(4/50);RFCA组有1例患者出现房颤,4例患者出现持续性房扑,心律失常发生率为10%(5/50)。CBA复发组总手术时间较长。

次要终点事件 CBA组和RFCA组均未出现严重的手术并发症。CBA组无膈神经损伤,无再住院事件发生。RFCA组4例患者因持续性房扑住院治疗。两组均无缺血性脑卒中和TIA发生。

CBA参数 在CBA组中,平均每根肺静脉冷冻(1.7 ± 0.3)次,RIPV消融(2.1 ± 0.7)次。平均冷冻消融最低温度为(-52.9 ± 3.2) $^{\circ}\text{C}$,LSPV、RSPV、LIPV和RIPV冷冻消融的最低温度分别为(-49.2 ± 5.1) $^{\circ}\text{C}$ 、(-50.1 ± 6.7) $^{\circ}\text{C}$ 、(-41.8 ± 4.6) $^{\circ}\text{C}$ 和(-39.1 ± 6.2) $^{\circ}\text{C}$,其中,RIPV的最低温度高于其他肺静脉(LSPV: $P<0.000\ 1$,LIPV: $P=0.016$,RSPV: $P<0.000\ 1$)。LSPV消融时间最长,平均为(3.9 ± 1.6)min,高于其他肺静脉(LIPV: $P=0.36$,RSPV: $P=0.42$,RIPV: $P=0.38$)。CBA复发组中,RIPV消融1.3次,RIPV消融最低温度为(-32.3 ± 1.9) $^{\circ}\text{C}$,无复发组为(-39.8 ± 6.0) $^{\circ}\text{C}$ ($P=0.019$,表2~3)。

讨 论

本研究主要观察CBA的参数特点及安全性和有效性。结果发现CBA组的总手术时间及总消融时间较短。在6个月随访中,CBA组的房颤、房扑

表2 CBA复发组和无复发组患者的基线及手术资料

Tab 2 Cryoablation baseline and data in recurrence and norecurrence CBA groups ($\bar{x} \pm s$)

Baseline	No recurrence (<i>n</i> =46)	Recurrence (<i>n</i> =4)
Case (<i>n</i>)	46	4
Male [<i>n</i> (%)]	38 (83)	2 (50)
Age (<i>y</i>)	57 ± 11	60 ± 15
LAD (mm)	41 ± 3.8	40 ± 1.6
Duration of AF (mo)	44 ± 62	39 ± 6
Procedure time (min)	107 ± 26	130 ± 12
Cryoablation time (min)	14.5 ± 3.1	15.5 ± 3.0

LAD: Left atrial diameter.

表3 CBA复发组和无复发组患者肺静脉的参数比较

Tab 3 Cryoablation parameters of four PVs in CBA groups with and without recurrence ($\bar{x} \pm s$)

Parameters	Number of cryoablation	Minimum temperature (°C)	Time of cryoablation (min)
LSPV			
Recurrence	1.7 ± 1.0	-49.6 ± 4.7	3.9 ± 1.6
No recurrence	1.5 ± 1.0	-45.3 ± 2.9	3.5 ± 1.0
LIPV			
Recurrence	1.5 ± 0.7	-41.8 ± 4.8	3.7 ± 1.0
No recurrence	1.0 ± 0.5	-42.3 ± 1.3	3.0 ± 0.5
RSPV			
Recurrence	1.5 ± 0.7	-51.2 ± 5.4	3.5 ± 1.3
No recurrence	2.0 ± 1.4	-48.8 ± 3.8	5.4 ± 2.4
RIPV			
Recurrence	1.4 ± 0.7	-39.8 ± 6.0	3.7 ± 1.1
No recurrence	1.3 ± 0.5	-32.3 ± 1.9	3.5 ± 1.0

发生率较低,再次住院率也较 RFCA 组更低,CBA 组及 RFCA 组均无手术相关并发症。在 CBA 组中,RIPV 消融次数最多,LSPV 消融时间最长。两上肺静脉的消融温度低于两下肺静脉,RIPV 消融温度最高,即达到有效治疗的效果最低。

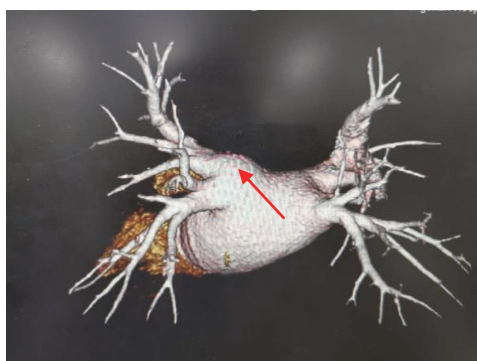
2005 年冷冻球囊进入中国市场开展消融手术以来,CBA 治疗房颤的安全性、有效性已经得到许多临床研究的证实^[1-2]。CBA 治疗过程主要分为冷却与复温两个阶段,与 RFCA 相比,CBA 的优势在于可以完整保留心肌细胞组织内膜,而 RFCA 会致使组织内膜破裂^[3-4]。因此,对于心肌细胞内的超微结构来说,CBA 比 RFCA 造成的损伤更小。

本研究中在随访 6 个月内,CBA 组有 3 例患者出现房颤,1 例出现持续性房速,心律失常的发作率

为 4/50(8%)。RFCA 组有 4 例患者出现房扑,1 例出现房颤,心律失常的发作率为 5/50(10%)。薛利等^[5]通过研究心房颤动患者导管射频消融术后 3 个月内的房颤发作发现,早期复发的患者约占 37%(39/105)。我们认为在阵发性房颤中,CBA 在早期(6 个月)控制心律失常有优势:一是冷冻消融在复温阶段对组织细胞产生不可逆的损伤,减少了组织水肿对心房的刺激,从而减少了急性期房颤的发生;二是可能与两组的消融策略有关,CBA 组仅完成环肺静脉隔离,而 RFCA 组的部分患者增加左房的顶部线及后壁线的线性消融,所以产生了医源性心房损伤及可能出现的消融漏点,局部电位的恢复也可能会造成持续性房速、房扑的发生。

另外肺静脉的走行、粗细,房间隔穿刺部位的高低也对房颤 CBA 的成功率有重要影响^[6]。李超等^[7]发现 LSPV 与左心耳之间嵴的厚度、LSPV 与左心房顶部的角度与 LSPV 冷冻消融难易程度相关。对于左心耳嵴部较厚的患者,较难完成电隔离,需要多次消融。对于肺静脉前庭较粗大的患者,消融的次数和时间会增多,通常需要用冷冻球囊贴靠肺静脉的两个部位来完成肺静脉隔离(图 1)。但上肺静脉走行向上,冷冻球囊易与肺静脉达到同轴一致性,操作更简单,贴靠更充分,故达到的冷冻温度较低,消融损伤较为彻底^[8]。但是对于下肺静脉特别是 RIPV 来说,由于开口较细,且向后向下生长(图 2~3),消融时需要将球囊经过房间隔反转回到肺静脉口部^[8],或者运用中位倒弯,借助房顶反向支撑的办法来完成 RIPV 贴靠。球囊较难完整贴靠到 RIPV,而无法达到治疗温度(图 4~5)。分析 CBA 组复发患者发现,RIPV 消融最低温度只有 -38.75 °C,而未复发组最低温度为 (-32.3 ± 1.9) °C ($P=0.019$),所以我们认为 RIPV 消融的最低温度可能与房颤术后短期复发相关,其原因与 RIPV 的解剖因素及术者操作相关。其余肺静脉消融的最低温度、消融次数和消融总时间与房颤复发无明显相关性。

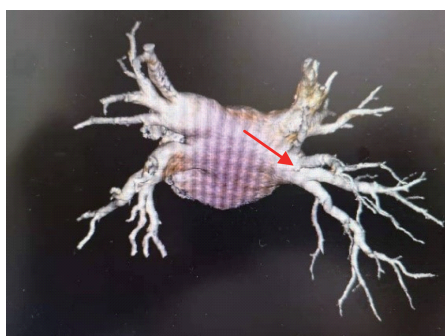
本研究中,CBA 组总手术时间为 (108.7 ± 25.8) min,RFCA 组总手术时间为 (207.7 ± 34.22) min ($P<0.01$)。为了保证研究数据的准确性,本组患者均由朱文青教授完成手术,严格按照手术相关流程规范进行操作。由于手术流程不同,本研究 and 国内外的研究所得出的结论略有不同。一篇 Meta 分析在 1 104 例患者中总结了 CBA 相比 RFCA 的潜在优势^[9],



LSPV antrum is thick so that the ablation time and numbers are increased.

图1 左上肺静脉

Fig 1 Left superior pulmonary vein



RIPV opening is thin and grows backward, so that cryoablation balloon is hard to enter.

图2 右下肺静脉

Fig 2 Right inferior pulmonary vein

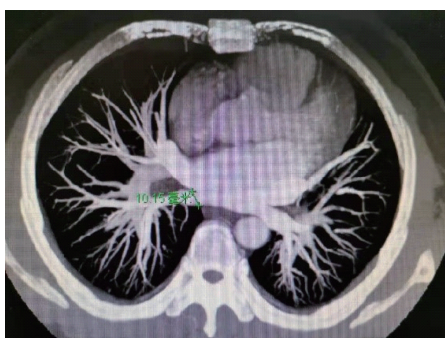
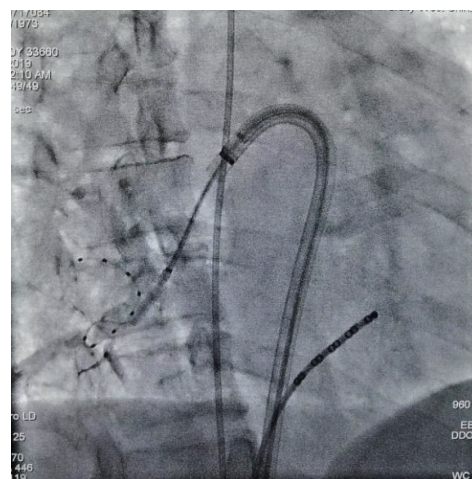


图3 RIPV口内径较细(10.15 mm)

Fig 3 Internal diameter of RIPV is narrow (10.15 mm)

CBA的总手术时间显著短于RFCA。田野等^[10]通过研究阵发性房颤的射频消融总时间发现,从左心房建模到手术结束的时间约为145.2 min。就目前来看,CBA较RFCA手术时间更短。

综上所述,CBA能显著缩短消融手术时间,减少术后短期内房颤及房扑的发生率,有良好的安全性和有效性。在冷冻消融过程中,单支肺静脉的消



The sheath is reversely by atrium roof, so that the balloon can fit RIPV well.

图4 房顶反向支撑

Fig 4 Reverse support by atrium roof



The sheath curves in low position horizontally, so that the balloon can fit RIPV well.

图5 低位水平弯

Fig 5 Horizontal curve in low position

融次数、时间及温度存在差异,而RIPV冷冻消融温度可能与术后6个月内房颤的再发作相关。

参 考 文 献

- [1] PAKER DL, KOWAL RC, WHEELAN KR, *et al.* Cryoballoon ablation of pulmonary veins for paroxysmal atrial fibrillation: first results of the North American arctic

- front (STOP AF) pivotal trial[J]. *JACC*, 2013, 61(16): 1713-1723.
- [2] SHMIDT M, DORWARTH U, ANDRESEN D, *et al*. Cryoballoon versus RF ablation in paroxysmal atrial fibrillation; results from the German ablation registry[J]. *J Cardiovasc Electr*, 2014, 25(1): 1-7.
- [3] 刘长纲,赵笑春,李学斌,等.房颤射频消融术前后心肌生化标记物的变化[J]. *临床心电学杂志*, 2009, 18(5): 342-344.
- [4] 凌天佑,吴利群.采用冷冻球囊消融治疗心房颤动的研究状况[J]. *中国心脏起搏与心电生理杂志*, 2014, 28(3): 270-272.
- [5] 薛利,蔡衡,聂晶,等.心房纤颤患者射频消融术后复发的相关因素分析[J]. *中国循证心血管医学*, 2016, 8(4): 461-463.
- [6] MCLELLAN AJ, LING LH, RUGGIERO D, *et al*. Pulmonary vein isolation; the impact of pulmonary venous anatomy on long-term outcome of catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation[J]. *Heart Rhythm*, 2014, 11(4): 549-556.
- [7] 李超,马坚,张澍,等.左上肺静脉冷冻消融困难的解剖学特点[J]. *中华心律失常学杂志*, 2019, 23(2): 141-147.
- [8] 李晓枫,方丕华,张澍,等.第二代冷冻球囊消融治疗阵发性房颤的临床效果观察[J]. *中华心律失常学杂志*, 2018, 22(5): 419-423.
- [9] XU J, HUANG Y, CAI H, *et al*. Is cryoballoon ablation preferable to radiofrequency ablation for treatment of atrial fibrillation by pulmonary vein isolation? A Meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(2): e90323.
- [10] 田野,杨龙,郑亚西,等.CARTO3三维标测系统快速解剖建模在阵发性心房颤动射频消融术中的应用[J]. *中国循环杂志*, 2016, 31(8): 764-767.

收稿日期:2019-12-02; 编辑:段佳)

(上接第 699 页)

- [7] PARK B, SUNG K, PARK PW. Clinical implication of transaortic mitral pannus removal during repeat cardiac surgery for patients with mechanical mitral valve[J]. *Circ J*, 2018, 82(2): 396-402.
- [8] AYDIN E, YAPICI F. A retrospective analysis of factors influencing re-operation in patients undergoing mechanical valve replacement [J]. *Cardiovasc J Afr*, 2013, 24(7): 251-254.
- [9] CHAN V, ERIC JAMIESON WR, FLEISHER AG, *et al*. Valve replacement surgery in end-stage renal failure: Mechanical prostheses versus bioprostheses [J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 81(3): 857-862.
- [10] PHAN K, ZHAO DF, ZHOU JJ. Bioprosthetic versus mechanical prostheses for valve replacement in end-stage renal disease patients: systematic review and meta-analysis [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8(5): 769-777.
- [11] MOTOMURA N, MIYATA H, TSUKIHARA H, *et al*. Risk model of valve surgery in Japan using the Japan adult cardiovascular surgery database [J]. *J Heart Valve Dis*, 2010, 19(10): 684-691.
- [12] 李明文,陈林,肖颖彬,等.再次心脏瓣膜手术 285 例临床分析[J]. *心肺血管病杂志*, 2014, 33(3): 386-389.
- [13] KIM DC, CHEE HK, SONG MG, *et al*. Comparative analysis of thoracotomy and sternotomy approaches in cardiac reoperation[J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 45(4): 225-229.
- [14] LAPAR DJ, AILAWADI G, HARRIS DA, *et al*. A protocol-driven approach to cardiac reoperation reduces mortality and cardiac injury at the time of re-sternotomy[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(3): 865-870.
- [15] BASHORE TM, SERFAS JD. Isolated tricuspid valve surgery[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(24): 2961-2963.
- [16] RICCI D, BOFFINI M, BARBERO C, *et al*. Minimally invasive tricuspid valve surgery in patients at high risk[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(3): 996-1001.
- [17] CHEN J, HU K, MA W, *et al*. Isolated reoperation for tricuspid regurgitation after left-sided valve surgery: technique evolution[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(1): 142-150.

(收稿日期:2019-10-18; 编辑:王蔚)