

机器人心脏外科手术早期随访的安全性及有效性研究

许李力, 李平, 徐屹, 刘硕, 陈长城, 尤斌

(首都医科大学附属北京安贞医院微创心脏外科 北京 100029)

摘要 **目的:** 评估机器人心脏外科手术的安全性和有效性。**方法:** 选取2016年1月~2020年1月在本院行达芬奇系统进行机器人心脏外科手术的180例患者为研究对象, 分析其围手术期超声心动图结果、手术时间和体外循环时间等临床关键参数, 拟合CUSUM曲线和Kaplan-Meier生存曲线, 评估机器人心脏外科手术的安全性及有效性。**结果:** 达芬奇机器人心外手术体外循环主动脉阻断手术平均手术时间(5.3 ± 1.2)h, 体外循环时间(160.9 ± 56.1)min, 主动脉阻断时间(104.8 ± 54.7)min。体外循环非停跳手术平均手术时间(4.5 ± 0.9)h, 体外循环时间(104.8 ± 54.7)min。非体外循环不停跳搭桥手术平均手术时间(4.6 ± 0.9)h, 乳内动脉制备时间(61.3 ± 23.3)min。围手术期死亡3例, 死亡率1.67%。随访总时间为5389个月, 无术后死亡病例。二尖瓣成形例数99例, 有2例一年以上随访患者出现中度以上反流, 二尖瓣成形无临床终止事件成功率96.2%。根据主动脉阻断时间和体外循环(Cardiopulmonary bypass, CPB)时间CUSUM曲线, 平均手术25例后可以跨越学习曲线。**结论:** 机器人心脏外科体外循环手术是安全和有效的。研究表明, 随着经验的增加, 克服学习曲线后, 手术时间和体外循环时间可以缩短; 且机器人手术在某些需要精细操作的手术中有较大的优势。

关键词 心脏外科; 机器人手术系统; 机器人辅助手术; 学习曲线

中图分类号 R654.2 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2021)06-0421-10

收稿日期: 2020-09-09 录用日期: 2021-04-21

Received Date: 2020-09-09 Accepted Date: 2021-04-21

基金项目: 国家自然科学基金(81870263)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (81870263)

通讯作者: 尤斌, Email: dr_youbin@sina.vip.com

Corresponding Author: YOU Bin, Email: dr_youbin@sina.vip.com

引用格式: 许李力, 李平, 徐屹, 等. 机器人心脏外科手术早期随访的安全性及有效性研究[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2021, 2(6): 421-430.

Citation: XU L L, LI P, XU Y, et al. Safety and effectiveness of robotic cardiac surgery in early follow-up [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(6): 421-430.

Safety and effectiveness of robotic cardiac surgery in early follow-up

XU Lili, LI Ping, XU Yi, LIU Shuo, CHEN Changcheng, YOU Bin

(Minimally Invasive Cardiac Surgery Department, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China)

Abstract **Objective:** To evaluate the safety and effectiveness of robotic cardiac surgery. **Methods:** A total of 180 patients who underwent Da Vinci robotic cardiac surgery from January 2016 to January 2020 were selected. The results of perioperative echocardiography, operation time, extracorporeal circulation time and other clinical key parameters were analyzed, the CUSUM curve and Kaplan-Meier survival curve were fitted to evaluate the safety and effectiveness. **Results:** The average operation time of robotic cardiac surgery was 5.3 ± 1.2 h, cardiopulmonary bypass time was 160.9 ± 56.1 min and aortic occlusion time was 104.8 ± 54.7 min. The average operation time of non-stop operation with cardiopulmonary bypass was 4.5 ± 0.9 h and the time of cardiopulmonary bypass was 104.8 ± 54.7 min. The average operation time of off-pump bypass grafting was 4.6 ± 0.9 , and the internal mammary artery preparation time was 61.3 ± 23.3 min. Three cases died during the perioperative period with a mortality rate of 1.67%. The total follow-up time was 5 389 months and no postoperative death was found. There were 99 cases of mitral valve repair, of which two patients with more than one year follow-up had moderate or above regurgitation. The success rate of mitral valve repair without clinical termination event was 96.2%. According to the CUSUM curve of aortic block time and CPB time, the learning curve can be crossed after an average of 25 cases of robotic surgery. **Conclusion:** Robotic cardiac surgery is safe and effective. The operation time and cardiopulmonary bypass time can be shortened that with the increase of experience after overcoming the learning curve. Robotic surgery has greater advantage in some delicate surgeries.

Key words Cardiac surgery; Robotic surgical system; Robot-assisted surgery; Learning curve

达芬奇机器人手术系统具备高清的内窥镜系统和精细的机械臂操作, 可以大幅提高手术精细程度并减少损伤, 在心脏外科手术中已经有较多的应用。而在一些直视微创不易操作的手术上, 例如二尖瓣成形和左室流出道疏通等涉及左室内操作的精细手术, 配备有高清内窥镜系统的机器人手术更具优势。但机器人手术因为其特有的操作方式, 有一定的学习曲线。本研究主要探讨在克服学习曲线后机器人心脏外科手术的安全性与有效性。

1 资料与方法

1.1 临床资料

2016年1月~2020年1月, 首都医科大学

附属北京安贞医院共进行180例达芬奇机器人心脏外科手术。其中瓣膜手术119例(66.1%), 二尖瓣置换术14例(7.8%), 二尖瓣成形99例(55.0%), 单纯三尖瓣成形5例(2.8%), 先天性心脏病34例(18.9%), 房间隔缺损修补23例(12.8%), 室间隔缺损修补术10例(5.6%), PECD矫治1例, 肥厚梗阻性心肌病左室流出道疏通2例。非体外非停跳搭桥手术24例(13.3%)。排除可能造成不良影响的手术患者(如外周动脉阻塞性疾病、腹主动脉严重曲折、严重心脏扩张、漏斗胸及胸廓畸形患者)。对所有行机器人手术的患者进行围手术期经胸超声心动图检查和术中食道超声检查, 用于评价心脏功能和手术评价。所有患者均签署微创心脏外科手术知情同意书。

1.2 手术方法

1.2.1 体外循环停跳/不停跳手术

患者常规全身麻醉，所有患者均使用双腔气管插管，左侧单肺通气和右侧单肺萎陷。之后插入经食管超声心动图（Transesophageal echocardiography, TEE）探头，体外除颤器贴片连接在背部。通过右侧经皮上腔静脉插管颈内静脉至上腔静脉开口处。患者仰卧位，右侧抬高 30°，右上肢外展固定于体侧。右侧腹股沟韧带下 1cm 处切开以暴露股动静脉，插管建立体外循环（Cardiopulmonary bypass, CPB）。如果术中发现未知的股动脉严重动脉粥样硬化，则用腋动脉或升主动脉直接插管替代引流。机器人置于患者左侧，四肋间左腋中线处 3cm 切口，置入内窥镜镜头并留作操作孔，机器人 1 臂经 2/3 肋间置入胸腔，3 臂经 5/6 肋间置入胸腔。胸腔充满 CO₂ 以排出腔内空气。主动脉荷包插管主管使用顺行冷晶体实现心肌保护心脏停搏液（Custodiol HTK, Chemie GmbH, Bensheim, 德国）。主动脉阻断目前常用两种方式：① Chitwood 经皮主动脉阻断钳经 3 肋腋中线置入；② Glauber 钳则从工作孔直接阻断升主动脉，撤除阻断钳持柄。主动脉阻断后心包内用冰盐水进行心肌降温保护，心脏停搏后，根据手术要求切开左心房或右心房进行操作，机器人 3 臂近胸骨旁 4/5 肋间置入心房拉钩牵引，暴露术野。进入右房手术需要 10 号丝线阻断上下腔静脉。

1.2.2 非体外循环不停跳搭桥手术

患者麻醉插管如上，左侧肢体抬高 30°，左侧肺萎陷，机器人至于患者右侧，腋前线 5 肋间置入内窥镜，3/7 肋间置入机器人机械臂，胸腔低流量低温 CO₂。全内窥镜下操作制备乳内动脉，内窥镜切口延长进行直视微创搭桥血管吻合。

1.3 超声心动图评估

所有患者在术中置入食道超声探头（GE vivid7 或 PhilipsiE33）进行术中超声心动图检测，判定上下腔插管位置、二尖瓣关闭不全位置、心脏复跳后二尖瓣成形效果、人工腱索情况和左室情况。术前超声心动图和出院前超声心动图判定患者心脏功能情况。

1.4 随访

数据通过术后 1 个月、3 个月、6 个月及 12 个月电话或门诊随访获得，截至 2020 年 7 月门诊。早期死亡率定义为 30d 内死亡手术。主要不良心脏和血管终止事件定义为心脏原因死亡或与心脏相关的并发症，后者包括血栓栓塞、再次手术、感染性心内膜炎和华法林相关的出血等。二尖瓣成形二次手术的适应证定义为进行连续超声心动图随访检查检测 MR 复发。复发性 MR 定义为大于中度反流。

1.5 统计学方法

分类变量以例数和百分比表示，连续变量表示为标准差或具有范围的中值。随访生存曲线定义为无临床终止事件的 Kaplan-Meier 生存曲线。为了评估学习期跨越学习曲线效应，以 CPB 和主动脉阻断时间均值为标准，计算两种参数的所有值与均值差的累及值，并拟合 CUSUM 累及和曲线，进行例数与参数累积和的相关性分析。所有报告的 *P* 值均为双尾值。所有数据均使用 SPSS 23.0 进行统计分析，Kaplan-Meier 曲线作图软件为 GraphPad Prism7.0，CUSUM 累积和曲线作图软件为 Excel 2013。

2 结果

2.1 术前患者基线特征

180 例行机器人手术的术前患者特征见表 1。

表 1 术前患者特征

Table 1 Patient characteristics before surgery

参数	结果
一般临床情况	
男:女(n)	112:68
年龄(岁)	48.9±14.7
体重(kg)	67.7±12.2
身高(cm)	167.3±14.6
心脏功能(III级以上)[n(%)]	86(47.8)
房颤心律[n(%)]	48(26.7)
糖尿病[n(%)]	22(12.2)
慢性肾病[n(%)]	3(1.7)
慢性阻塞性肺炎[n(%)]	0(0)
高血压[n(%)]	62(34.4)
三尖瓣重度关闭不全[n(%)]	35(19.4)
超声心动图情况	
左室EF(%)	63.5±6.5
左室收缩末径(mm)	33.9±6.1
左室舒张末径(mm)	51.7±8.7
瓣膜病[n(%)]	119(66.1)
二尖瓣狭窄	14(7.8)
二尖瓣关闭不全	99(55.0)
腱索断裂	63(35.0)
瓣叶脱垂	36(20.0)
三尖瓣关闭不全	6(3.3)
先天性心脏病[n(%)]	34(18.9)
房间隔缺损	23(12.8)
室间隔缺损	10(5.6)
肥厚梗阻性心肌病	2(1.1)
冠心病[n(%)]	24(13.3)
单支病变	14(7.8)
多支病变	10(5.6)

中位年龄为(48.9±14.7)岁[四分位间距(IQR), (38.3~60.7)岁], 体重(67.7±12.2)kg, 身高(167.3±14.6)cm, 86例(47.8%)患者心脏功能为III/IV级。术前左室EF为(63.5±6.5)%, 其中瓣膜病为119例(66.1%), 含二尖瓣狭窄14例(7.8%)、二尖瓣关闭不全99例(55.0%)

和三尖瓣关闭不全6例(3.3%); 先天性心脏病34例(18.9%); 房间隔缺损23例(12.8%); 室间隔缺损10例(5.6%); 肥厚梗阻性心肌病2例(1.1%); 冠心病24例(13.3%)。所有患者有房颤心律的48例(26.7%)。

所有患者180例, 其中3例围术期死亡, 13例二次开胸止血(原微创手术入路, 未转正中开胸), 2例患者在1年期随访时有中度以上二尖瓣关闭不全, 但无须二次手术、先心病和冠心病患者无不良事件。体外循环并主动脉阻断手术129例(见表2), 手术时间(5.3±1.2)h,

表 2 体外循环心脏停跳手术

Table 2 On-pump cardiopulmonary bypass surgery

参数	结果
男:女	84:45
手术时间(h)	5.3±1.2
体外循环时间(min)	160.9±56.1
主动脉阻断时间(min)	108.8±42.6
手术情况	
二尖瓣置换[n(%)]	14(10.9)
生物瓣	9(7.0)
机械瓣	5(3.9)
二尖瓣成形[n(%)]	99(76.7)
人工瓣环	73(56.6)
楔形切除	55(42.6)
人工腱索	87(67.4)
瓣叶交界缝合	48(37.2)
瓣叶裂缝合	53(41.1)
腱索移位	4(3.1)
乳头肌移位	5(3.9)
左心耳缝扎	44(34.1)
二尖瓣对合高度(cm)	0.8±0.1
射频消融术[n(%)]	39(30.2)
单一三尖瓣成形[n(%)]	1(2.7)
房间隔缺损修补[n(%)]	2(1.6)
室间隔缺损修补[n(%)]	9(6.9)
左室流出道疏通[n(%)]	2(1.6)

体外循环时间 (160.9 ± 56.1) min, 主动脉阻断时间 (108.8 ± 42.6) min。二尖瓣置换 14 例 (7.8%), 二尖瓣成形 99 例 (55.0%), 房间隔缺损修补 23 例 (12.8%), 室间隔缺损修补 10 例 (5.6%), 肥厚梗阻性心肌病左室流出道疏通 2 例 (1.1%)。其中体外循环主动脉阻断二尖瓣成形术 99 例, 人工瓣环 73 例, 楔形切除 55 例, 人工腱索 87 例, 二尖瓣对合高度 (0.8 ± 0.1) cm。术中均行心脏复跳食道超声心动图检查二尖瓣, 微量反流以下才可结束手术。体外循环非停跳手术 28 例 (见表 3), 房间隔缺损修补 21 例 (75.0%), 室间隔缺损修补 1 例 (3.6%), 手术时间 (4.5 ± 0.9) h, 体外循环时间 (104.8 ± 54.7) min。非体外循环不停跳搭桥 24 例 (见表 4), 手术时间 (4.6 ± 0.9) h, 乳内动脉制备时间 (61.3 ± 23.3) min。

2.2 临床结果

行机器人手术的 180 例患者, 2 例患者在围

表 3 体外循环非停跳手术参数

Table 3 On-pump beating cardiopulmonary bypass surgery

参数	结果
男	8 : 20
手术时间 (h)	4.5 ± 0.9
体外循环时间 (min)	104.8 ± 54.7
先天性心脏病 [n (%)]	
房间隔缺损修补	21 (75.0)
室间隔缺损修补	1 (3.5)
三尖瓣成形 [n (%)]	5 (18)

表 4 非体外循环搭桥手术参数

Table 4 Off-pump bypass grafting

参数	结果
男 : 女	21 : 3
手术时间 (h)	4.6 ± 0.9
乳内动脉制备时间 (min)	61.3 ± 23.3

手术死亡。其中 1 例因心肌灌注不良和心肌保护差导致心脏不复跳死亡; 另 1 例患者术后心功能差, 多脏器衰竭死亡。整体死亡率 2.1%, 但均在前 25 例手术中出现, 在本研究中后期未见死亡病例。

所有机器人二尖瓣成形成功进行修复, 术中成形均经过盐水压力试验, 测量对合高度达 (0.8 ± 0.1) cm, 复跳后进行食道超声检查, 没有或仅有极轻微反流的患者为 100%。成形方法包括多条人工腱索置入, 冗长瓣叶楔形切除融合, 瓣叶移位修补, 腱索移位。二尖瓣使用 3D 人工瓣环 43 例, 占二尖瓣成形数量的 82.7%。使用人工瓣环和未用人工瓣环患者在出院时超声心动图检查上无统计学差异, 但在中远期随访结果尚无结论。

所有行机器人心脏外科手术的患者, 气管插管时间 (19.8 ± 14.8) h、ICU 时间 (23.3 ± 15.9) h、术后住院时间 (5.0 ± 1.5) d、第 1d 引流量 (731.3 ± 427.3) ml、术后输血量 (2.3 ± 0.5) U, 其中围术期二次开胸止血 3 例 (3.1%)。术后并发症包括肺不张、术后渗血二次止血、肺部感染等, 但在相应对症处理下, 未造成住院时间的延长和围术期的临床不良事件。出院前超声心动图检查左室 EF 值为 (59.8 ± 7.6) %, 见表 5。

表 5 机器人手术临床结果

Table 5 Clinical outcomes of robotic surgery

参数	结果
气管插管时间 (h)	22.9 ± 14.6
ICU 时间 (h)	23.3 ± 15.9
第 1d 引流量 (ml)	427.6 ± 267.3
输血量 (U)	1.4 ± 0.2
住院时间 (d)	11.5 ± 5.6
围术期死亡 [n (%)]	3 (1.7)
围术期二次开胸止血 [n (%)]	13 (7.2)
出院前超声心动图左室 EF (%)	59.8 ± 7.6

2.2.1 机器人手术学习曲线

机器人体外循环时间和主动脉阻断时间，代表着主刀医生与一助镜下配合的熟练程度及其技术水平，而累积和（CUSUM）曲线则代表学习曲线。在本研究中，主动脉的阻断时间和体外循环的（CUSUM）拟合曲线（如图 1A、1B），在手术例数到达 25 例后（跨越平台期后）开始下降。说明机器人手术的学习曲线经验例数在 25 例左右。达到这个例数，主导手术医生镜下技术与一助的配合熟练程度可以跨越学习曲线，达到熟练配合。

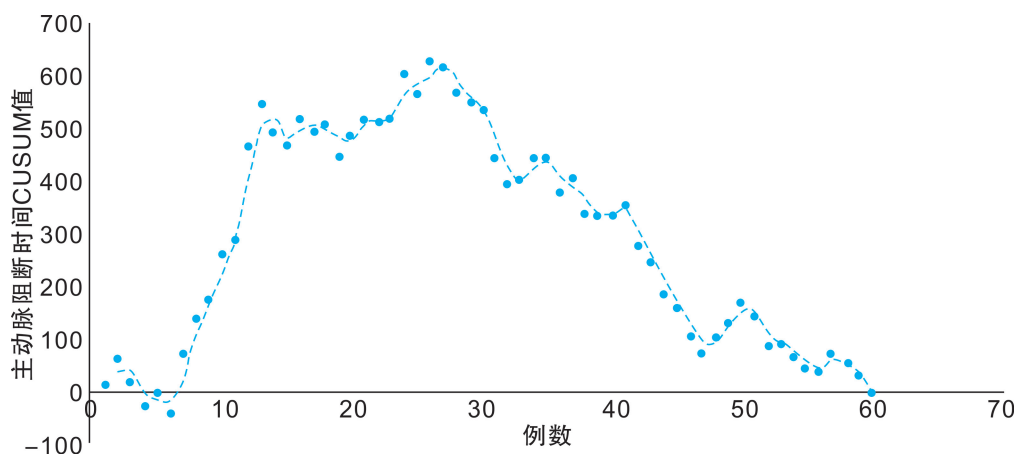


图 1A 主动脉阻断时间 CUSUM 曲线

Figure 1A CUSUM curve of aortic cross-clamp time

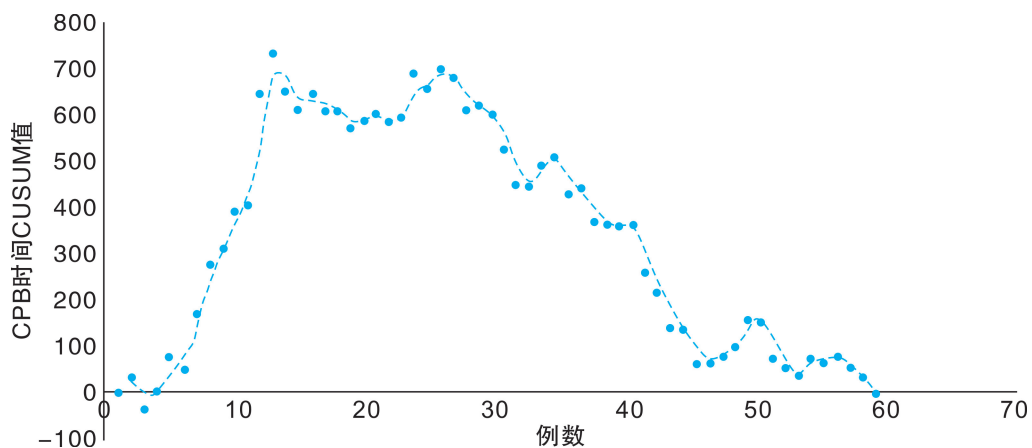


图 1B CPB 时间 CUSUM 曲线

Figure 1B CUSUM curve of CPB time

2.3 随访结果

随访方式为电话随访和门诊超声心动图检查结果，于 2020 年 7 月完成患者随访（96.5%），临床随访时间 >6 个月。总随访时间为 5 389 个月，随访中位数为 31 个月（7~55 个月）。2 例患者发生早期死亡，2 例患者在 1 年随访时发现二尖瓣中重度反流，未见先心病患者出现中止事件。

2.3.1 超声心动图结果

随访超声心动图数据从 6~55 个月，其中达

到6个月、12个月和36个月的患者分别为180例、63例和13例，中位数随访时间为31个月（IQR，6~27个月），手术后超声心动图无临床终点事件病例，在1年期超声心动图随访二尖瓣成形患者中有2例患者有中度以上返流情况。超声心动图随访出院时，术后6个月、12个月和术后36个月时左室EF值分别为（ 59.8 ± 7.6 ）%、（ 64.0 ± 7.9 ）%、（ 64.2 ± 7.4 ）%、（ 62.7 ± 4.6 ）%，见表6。

2.3.2 术后早期安全性与有效性生存曲线（如图2）

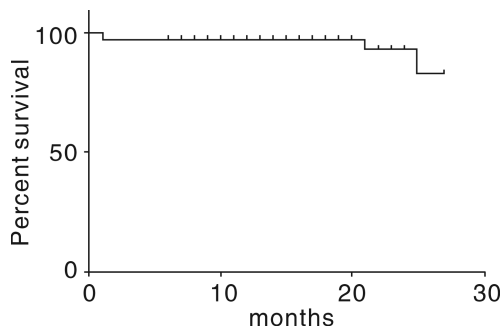


图2 kanplan-Meier 生存曲线图

Figure 2 Kanplan-Meie survival curve

3 讨论

达芬奇机器人手术切口小、不破坏胸骨结构、术后恢复快，可减少术后疼痛和缩短住院时间，患者满意度高^[11-12]。达芬奇机器人手术系统配备有三维高清内窥镜，可以精细观察到正中开胸时不易观察到的手术视野（如左室流

出道和左室瓣叶下结构），其精巧有力的多角度运转的机械臂能过滤医生手部轻微的颤抖，确保在进行瓣叶对合、腱索移植等需要精细操作的手术安全性。在高倍内窥镜下，外科医生可以清晰观察术野和判断操作结果^[4-5, 7, 13]。尽管机器人手术有上述明显的优势和有利的结果，但因其学习曲线长、术前准备复杂，可能会延长手术时间和增加手术费用^[14-15]。

但在克服学习曲线后，机器人手术的手术时间、ICU时间和体外循环时间是逐渐下降并趋于稳定的。这与术者和助手之间配合的熟练程度、镜下操作的习惯养成、手术解剖情况判断和术式选择直接相关。术者应与助手之间加深配合熟练度，养成良好的操作习惯，并摸索出一套行之有效的适合于机器人手术的止血方法。

3.1 非停跳房间隔缺损修补

全机器人非停跳房间隔缺损，在内窥镜下直接用机械臂阻断上下腔静脉，4-0丝线悬吊右心房，进行房间隔缺损修补，胸腔壁手术切口少（3个），但对术者镜下操作要求高，在克服学习曲线和有效止血的前提下，手术时间（ 4.4 ± 0.8 ）h和体外循环时间（ 98.4 ± 58.8 ）min，与首都医科大学附属北京安贞医院一般微创房间隔修补手术时间几乎一样。但手术医生之间应充分进行配合交流，并熟悉镜下操作。在随访中，机器人手术患者超声检查结果和生存率无不良结果。

表6 术后超声心动图参数

Table 6 Echocardiography results after surgery

参数	术后 (n=180)	术后 6 个月 (n=180)	术后 12 个月 (n=143)	术后 24 个月 (n=109)
左室 EF (%)	59.8 ± 7.6	64.0 ± 7.9	64.2 ± 7.4	62.7 ± 4.6
左室舒张末径	48.1 ± 6.2	46.0 ± 8.3	44.5 ± 5.5	48.0 ± 8.9
左室收缩末径	32.0 ± 5.6	31.2 ± 8.8	32.7 ± 7.7	31.9 ± 5.6

3.2 二尖瓣成形术的安全性与其有效性

达芬奇机器人手术系统缺少触觉系统和力反馈,心脏外科专家普遍担忧这会增加手术的复杂性和手术风险。同时,心脏外科专家也质疑经胸主动脉阻断钳的使用是否会增加脑梗的风险,以及如何如何在机器人手术条件下判断有效灌注和心肌保护问题。而随着体外循环技术的快速发展和手术器械的不断改良,机器人手术系统不断完善。对有经验的医疗中心行瓣膜手术后的机器人 MV 手术情况进行系统回顾,大多数研究报告早期死亡率低于 1.0%。据 Suri 及其同事研究报道,术前多排 CT 扫描筛查升主动脉和股动脉,当存在动脉粥样硬化时,应避免动脉插管触及硬化斑块,以防止脑梗的发生。根据 Seco M 等^[6]的综述,早期手术失败需要再次手术的范围为 1.5%~5.4%,且心脏复跳后食道超声心动图结果表明,81.7%~97.6%的患者未见或仅有微量二尖瓣反流。我们的研究显示,在手术期间结合各种方法成功修复了 100% 的重度二尖瓣关闭不全,无须术中改为正中开胸手术或术后二次转体外循环再次手术。随访期间,因二尖瓣关闭不全达到临床终止事件的仅有 2 例,目前仍在进行强心利尿扩血管药物治疗,尚未达到再次手术标准。本研究在随访中,以超声心动图检查结果作为终点事件,而不是死亡率或再次手术,以防止患者不愿二次手术而影响机器人二尖瓣成形术随访结果。虽然标准严格了,但 K-M 生存曲线依然显示患者有良好的预后。由于本研究随访时间为 1 年期,后期应进一步随访 5 年,以明确中期随访结果。

3.3 二尖瓣修复技术和射频消融手术

在二尖瓣脱垂修复中,前叶或双叶的下垂比单纯后叶脱垂更难以修复,需要更多的修复技术

和经验技巧^[21-23]。Rodriguez E 等^[3]报道称,上述手术可以通过机器人手术安全进行,且未见机器人设备相关的并发症。Suri R M 和 Burkhart H M 也证实机器人系统可以进行各种类型和不同技术的二尖瓣修复^[18],并且比直视下手术更精准。而让大多数心脏外科医生感觉困难的是,复杂的机器人二尖瓣成形术由于机械臂缺乏触觉反馈,在操作时不易控制人工腱索的置入、瓣叶的剪裁、体外循环时静止解剖结构到复跳充血后有压力的瓣膜受力情况的改变以及瓣叶在活动后对合面积和对合高度预判。本研究的经验是:①在术中食道超声判断乳头肌到瓣叶的腱索长度和瓣叶上需要缝合人工腱索的位置;②在人工腱索置入后,进行可调节打结,左室压力试验后调解腱索长度,使其达到最佳的瓣叶长度和瓣叶对合高度;③左室盐水压力试验时用颜料在瓣叶上标记,减压后察看瓣叶全程对合面积,并调整腱索;④在人工腱索无法处理的瓣叶冗长和瓣叶裂有返流的情况下,做二尖瓣交界融合或作瓣叶的楔形切除并融合,但在楔形切除后依然要保证瓣叶的对合高度到 8mm。

本研究的另一个发现是,机器人手术患者伴随心脏手术的房颤发生率为 35 例(36.5%),高于其他研究,可能与本研究患者病程长、就医时间较长有关。本研究中,有 21 例(28.8%)患者行射频消融手术,其余因患者不同意,未行射频消融手术。合并三尖瓣关闭不全的患者有 35 例(36.5%)。合并二尖瓣成形、三尖瓣成形和射频消融术的患者手术有 21 例,上述结果表明,各种修复技术和联合手术都可以使用达芬奇手术系统进行。

3.4 非体外循环下非停跳搭桥

本研究中,全内窥镜下操作制备乳内动脉

时需要在胸腔低流量 CO₂ 下进行，可以让内窥镜镜头更清晰，并易于止血。在制备完乳内动脉后，可在内窥镜切口处直接延长切口搭桥，减少手术创伤。在本研究中另有探查患者右乳内动脉，在完全剔除乳内动脉附着筋膜后，右乳内动脉长度可以满足到右冠后降支（Posterior descending artery, PDA）的长度，为进一步全机器人全动脉化非体外非停跳搭桥的研究打下了临床技术基础。

3.5 学习曲线

机器人手术主要参数随着经验的增加有了明显改进（如图 2），包括手术时间、CPB 时间和升主动脉阻断时间等，累积和均在 25 例以上时跨越学习曲线。为尽快克服学习曲线，我们指定 1 名外科医生操作操纵台主刀手术，2 名心脏外科医生作为手术台一助长期配合，从而比较快速地形成配合习惯，克服学习曲线。在进行机器人手术前，心脏外科医生最好有直视微创心脏外科手术经验，可在手术过程中大幅缩短止血和建立微创体外循环时间，否则学习曲线将会更加难以克服。

本研究中所有再次止血手术均是从工作孔探查止血，未延长切口，出血点主要包括 Trocar 穿刺部位、肋间肌肉或血管。撤出机器人机械臂后，应保留高清内窥镜通过工作口并探查所有穿刺位置和切口，直到止血满意为止。同时，由 Chitwood 经胸阻断钳转变为 Glauber 钳也是一个较好的方法，Glauber 钳可以从工作孔直接阻断升主动脉，减少一个手术切口，也就减少了一个出血的可能。手术量是克服学习曲线的关键，在保证手术质量的前提下，从房缺修补到二尖瓣成形逐渐加深难度积累经验是快速克服学习曲线的方法。

4 结论

达芬奇机器人心脏外科手术在技术上是可行且有效的，其中二尖瓣成形有良好的围术期表现，在早期随访中的超声心动图检查中表现出可靠的耐久性。不停跳先心病手术和冠脉搭桥手术有着良好的围术期结果。此外，成形效果和手术时间随着临床医生的经验增加而不断改善。但是中长期随访结果需要进一步研究来证实上述观察结果。

参考文献

- [1] Mohr F W, Onnasch J F, Falk V, et al. The evolution of minimally invasive valve surgery—2 year experience[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 1999, 15(3): 233–238.
- [2] Falk V, Cheng D C, Martin J, et al. Minimally invasive versus open mitral valve surgery: a consensus statement of the international society of minimally invasive coronary surgery (ISMICS) 2010[J]. *Innovations (Phila)*, 2011. DOI: 10.1097/IMI.0b013e318216be5c.
- [3] Rodriguez E, Nifong L W, Chu M W, et al. Robotic mitral valve repair for anterior leaflet and bileaflet prolapse[J]. *Ann Thorac Surg*, 2008, 85(2): 438–444.
- [4] Chitwood W R Jr, Rodriguez E, Chu M W, et al. Robotic mitral valve repairs in 300 patients: a single-center experience[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 136(2): 436–441.
- [5] Murphy D A, Miller J S, Langford D A, et al. Endoscopic robotic mitral valve surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(4): 776–781.
- [6] Seco M, Cao C, Modi P, et al. Systematic review of robotic minimally invasive mitral valve surgery[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(6): 704–716.
- [7] Nifong L W, Chu V F, Bailey B M, et al. Robotic mitral valve repair: experience with the Da Vinci system[J]. *Ann Thorac Surg*, 2003, 75(2): 438–443.
- [8] Cheng W, Fontana G P, De Robertis M A, et al. Is robotic mitral valve repair a reproducible approach? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 139(3): 628–633.

- [9] Lee J W, Choo S J, Kim K I, et al. Atrial fibrillation surgery simplified with cryoablation to improve left atrial function[J]. *Ann Thorac Surg*, 2001, 72(5): 1479–1483.
- [10] Lancellotti P, Moura L, Pierard L A, et al. European association of echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease)[J]. *Eur J Echocardiogr*, 2010, 11(4): 307–332.
- [11] Iribarne A, Russo M J, Easterwood R, et al. Minimally invasive versus sternotomy approach for mitral valve surgery: a propensity analysis[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 90(5): 1471–1477.
- [12] Holzhey D M, Shi W, Borger M A, et al. Minimally invasive versus sternotomy approach for mitral valve surgery in patients greater than 70 years old: a propensity-matched comparison[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(2): 401–405.
- [13] Mihaljevic T, Jarrett C M, Gillinov A M, et al. Robotic repair of posterior mitral valve prolapse versus conventional approaches: potential realized[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.09.008.
- [14] Robicsek F. Robotic cardiac surgery: quo vadis?[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2003. DOI: 10.1016/s0022-5223(02)73572-1.
- [15] Diodato M D Jr, Damiano R J Jr. Robotic cardiac surgery: overview[J]. *Surg Clin North Am*, 2003. DOI: 10.1016/S0039-6109(03)00166-X.
- [16] Gammie J S, Zhao Y, Peterson E D, et al. Less-invasive mitral valve operations: trends and outcomes from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 90(5): 1401–1408.
- [17] Mariscalco G, Musumeci F. The minithoracotomy approach: a safe and effective alternative for heart valve surgery[J]. *Ann Thorac Surg*, 2014, 97(1): 356–364.
- [18] Suri R M, Burkhart H M, Daly R C, et al. Robotic mitral valve repair for all prolapse subsets using techniques identical to open valvuloplasty: establishing the benchmark against which percutaneous interventions should be judged[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 142(5): 970–979.
- [19] Modi P, Hassan A, Chitwood W R Jr. Minimally invasive mitral valve surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.07.057.
- [20] Yoo J S, Kim J B, Jung S H, et al. Echocardiographic assessment of mitral durability in the late period following mitral valve repair: minithoracotomy versus conventional sternotomy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.05.042.
- [21] David T E, Ivanov J, Armstrong S, et al. A comparison of outcomes of mitral valve repair for degenerative disease with posterior, anterior, and bileaflet prolapse[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2005, 130(5): 1242–1249.
- [22] Braunberger E, Deloche A, Berrebi A, et al. Very long-term results (more than 20 years) of valve repair with carpentier's techniques in nonrheumatic mitral valve insufficiency[J]. *Circulation*, 2001. DOI: 10.1161/01.CIR.104.suppl_1.I-8.
- [23] Mohty D, Orszulak TA, Schaff H V, et al. Very long-term survival and durability of mitral valve repair for mitral valve prolapse[J]. *Circulation*, 2001. DOI: 10.1161/hc37t1.094903.
- [24] Nifong L W, Rodriguez E, Chitwood W R Jr. 540 consecutive robotic mitral valve repairs including concomitant atrial fibrillation cryoablation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 94(1): 38–43.
- [25] Charland P J, Robbins T, Rodriguez E, et al. Learning curve analysis of mitral valve repair using telemanipulative technology[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 142(2): 404–410.
- [26] Glauber M, Karimov JH. A completely detachable aortic clamping instrument for minimally invasive cardiac surgery[J]. *Innovations (Phila)*, 2010, 5(4): 309–310.