

机器人辅助先天性心脏病矫治术的治疗进展

张海洋 综述 葛建军 审校

摘要 微创心脏外科手术已经发展至机器人手术系统辅助下进行,相比传统心脏手术方式,机器人辅助手术因具有创伤小、恢复快等诸多优点而广泛地被临床医师和患者所接受,近年来在临床的应用越来越多,但其手术方式独特、系统的可控性和远期效果评价尚处于探索阶段,需要大样本的案例循证分析。现简要综述机器人辅助先天性心脏病矫治术的治疗进展。

关键词 机器人;微创手术;先心病

中图分类号 R 654.2

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2015)08-1203-04

机器人手术系统是目前微创手术设备的典型代表,在其基础上诞生一系列微创外科手术,其作为一种全新的手术工具,具有操作精细、创伤小、术后恢复快等优点,已逐步应用于各微创外科领域。随着

心脏外科手术技术的发展、外科医师手术经验的不断丰富,大部分心脏外科手术已基本趋于成熟,而患者对于微创及术后美观的要求越来越高,微创心脏外科已经成为各大心脏中心研究的热点,从小切口心脏手术到传统腔镜心脏手术,再到现在的机器人辅助下心脏手术,正在不断努力以取得更完美的治疗效果。目前针对先天性心脏病(简称先心病)的外科治疗,经历了从传统正中开胸矫治手术到胸腔镜辅助小切口下矫治术,越来越趋向于微创,现已逐渐应用机器人手术系统进行矫治。因目前机器人手术系统不适宜于婴幼儿,该文将机器人辅助大龄儿及成年人先心病矫治术做一简要综述。

1 机器人手术系统的发展及先心病的治疗进展

1.1 机器人手术系统的发展 机器人外科手术系统的发展经历了三代手术系统的变革:第一代机器人外科手术系统为“伊索”(AESOP)^[1]机器人系统,由美国 Computer Motion 公司在 1994 年开发并研制成功。第二代机器人外科手术系统为“宙斯”(ZEUS)机器人系统,是在第一代机器人系统的基础上于 1998 年改进研发,其由术者操作台、3 只机械

2015-04-24 接收

基金项目:安徽省高校省级自然科学基金项目(编号:KJ2010A161)

作者单位:安徽医科大学第一附属医院心脏外科,合肥 230022

作者简介:张海洋,男,硕士研究生;

葛建军,男,教授,主任医师,博士生导师,责任作者,E-mail: aygejianjun@163.com

- [12] Hartleben B, Gödel M, Meyer-Schwesinger C, et al. Autophagy influences glomerular disease susceptibility and maintains podocyte homeostasis in aging mice [J]. *J Clin Invest*, 2010, 120(4): 1084-96.
- [13] Xiao T, Guan X, Nie L, et al. Rapamycin promotes podocyte autophagy and ameliorates renal injury in diabetic mice [J]. *Mol Cell Biochem*, 2014, 394(1-2): 145-54.
- [14] Zeng C, Fan Y, Wu J, et al. Podocyte autophagic activity plays a protective role in renal injury and delays the progression of podocytopathies [J]. *J Pathol*, 2014, 234(2): 203-13.
- [15] Dunlop E A, Tee A R. mTOR and autophagy: A dynamic relationship governed by nutrients and energy [J]. *Semin Cell Dev Biol*, 2014, 36C: 121-9.
- [16] Jung C H, Ro S H, Cao J, et al. mTOR regulation of autophagy [J]. *FEBS Lett*, 2010, 584(7): 1287-95.
- [17] Laplante M, Sabatini D M. mTOR signaling in growth control and disease [J]. *Cell*, 2012, 149(2): 274-93.
- [18] Vollenbroeker B, George B, Wolfgart M, et al. mTOR regulates expression of slit diaphragm proteins and cytoskeleton structure in podocytes [J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2009, 296(2): F418-26.

- [19] Russell R C, Tian Y, Yuan H, et al. ULK1 induces autophagy by phosphorylating Beclin-1 and activating VPS34 lipid kinase [J]. *Nat Cell Biol*, 2013, 15(7): 741-50.
- [20] Don A S, Tsang C K, Kazdoba T M, et al. Targeting mTOR as a novel therapeutic strategy for traumatic CNS injuries [J]. *Drug Discov Today*, 2012, 17(15-16): 861-8.
- [21] Kamada Y, Funakoshi T, Shintani T, et al. Tor-mediated induction of autophagy via an Apg1 protein kinase complex [J]. *J Cell Biol* 2000, 150(6): 1507-13.
- [22] Gödel M, Hartleben B, Herbach N, et al. Role of mTOR in podocyte function and diabetic nephropathy in humans and mice [J]. *J Clin Invest*, 2011, 121(6): 2197-209.
- [23] Inoki K, Mori H, Wang J, et al. mTORC1 activation in podocytes is a critical step in the development of diabetic nephropathy in mice [J]. *J Clin Invest*, 2011, 121(6): 2181-96.
- [24] Inoki K. Role of TSC-mTOR pathway in diabetic nephropathy [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2008, 82 Suppl 1: S59-62.
- [25] Inoki K, Huber T B. Mammalian target of rapamycin signaling in the podocyte [J]. *Curr Opin Nephrol Hypertens*, 2012, 21(3): 251-7.

臂和计算机控制装置三部分组成,术者通过观察二维或三维手术图像控制操作台来操作手术器械。2000年,由美国 Intuitive Surgical 公司开发制造的第三代机器人外科手术系统“达芬奇”(Da Vinci)机器人系统获批应用于临床。我国于2005年在香港引进首台“达芬奇”机器人手术系统,后来国内各大心脏中心也主要引进“达芬奇”机器人手术系统应用于外科手术。该系统由三部分组成:高清晰三维视频成像系统;拥有一个镜头臂和3个器械臂组成的四臂床旁机械臂系统;按人体工程学设计的医师操作系统^[2]。手术医师可以直接在操作台借助三维成像直视心内解剖结构,不用靠近手术台,并通过操控手柄来控制机械臂进行手术。目前大多数临床中心所用的为“达芬奇”系统,相对于第一、二代机器人系统,“达芬奇”机器人手术系统因设备的先进及操作更精细等优势,已被广泛应用于外科手术而得到更好地发展。

1.2 先心病矫治术的治疗进展 心血管外科是外科领域中的新兴学科,国际上从20世纪30年代开始才逐步发展起来,此后先心病的外科矫治逐渐开展。1944年我国首例动脉导管未闭结扎手术成功,标志着我国心血管外科的开端。1953年 Lewis 应用低温及阻断上下腔静脉的技术直视下修补房间隔缺损成功^[3],这一技术一直沿用至今。此后各心脏外科中心已相继完成各类先心病手术。随着外科技术的不断发展,手术方式逐渐由正中开胸直视手术到胸骨下段小切口手术,再到右侧腋下经肋间小切口手术及全胸腔镜下手术至现今的机器人手术。在体外循环方面也由传统上、下腔静脉及升主动脉插管建立体外循环,至后来通过右腋下经肋间隙进胸行升主动脉插管及外周股动静脉插管建立体外循环。“闭式体外循环”^[3-4]的出现以及内镜设备和技术的快速发展,微创心脏手术实现经外周建立体外循环,借助机器人不开胸完成心脏手术。循环辅助方式也由体外循环下发展至体外循环下心脏不停搏手术。2003年,程云阁等^[4]报道首例完全内窥镜下的房室间隔缺损修补术获得成功,由此微创心脏外科得以更快的进步。Torraca et al^[5]和 Wimmer - Greinecker et al^[6]分别于2001和2003年报道了在机器人手术系统辅助下进行房缺修补术并获得成功的病例。高长青等^[7]于2007年首次在大陆开展机器人辅助心脏手术,其报道不开胸连续完成房缺修补术3例,手术均获成功,且各项数据显示术后恢复快,出血减少明显,无相关并发症发生。此外,机器

人系统的手术时间长短取决于外科医师技术水平和对系统操作的熟练程度。Bonaros et al^[8]统计分析得出,机器人先心病矫治术学习曲线陡峭,随着手术例数的增加,手术时间明显缩短。

2 机器人辅助先心病矫治术技术

2.1 手术前准备 术前患者进入手术室后,一般准备完毕后,作麻醉前穿刺置管,首先穿刺左侧桡动脉置管,监测动脉血压。穿刺右侧颈内静脉置入双腔静脉导管,监测中心静脉压。麻醉后则气管插管插入双腔管,在纤支镜辅助证实其在气管内的位置后固定。患者体位上,因手术要求右侧胸部则整体抬高30°左右、半垂位固定右上肢。在胸背部贴除颤电极板,置食管超声探头。机械通气进行左侧单肺通气,在右侧胸壁打孔:在第2、6肋间与腋前线交汇处分别开1cm左右小孔置入左、右机械手臂;在第4或5肋间与腋前线交汇处开1cm左右的孔并置入内窥镜;于第5肋间与右锁骨中线旁置入第4机械手臂于胸腔中。术侧胸腔内稳定流量不间断充入CO₂,流量为3~6 L/min;在第4肋间水平与腋中线交点开2cm左右工作孔并置入 Chitwood 主动脉阻断钳。手术开孔的位置可根据手术具体要求和患者体型做相应调整,以更好地适应术者操作手术^[9]。

2.2 体外循环辅助技术 “闭式体外循环”使微创心脏手术实现经外周建立体外循环,在经食管超声(transesophageal echocardiography, TEE)及B超定位的辅助下,经股动、静脉及颈内静脉插管建立体外循环。相对于传统模式,“闭式体外循环”为机器人手术提供了技术保障。但对于合并严重主动脉或髂股动脉或腹主动脉粥样硬化的患者,因不适宜行经周围动脉插管的体外循环术,故不建议采用机器人辅助的手术方式^[10]。近年来国际上在有在 TEE 引导下多孔肺动脉插管放置于肺动脉进行静脉引流,并将股动脉插管置于髂动脉或远端腹主动脉。体外循环建立后,纵行切开心包,用阻断钳阻断升主动脉。灌注停搏液,其方式可顺行灌注、逆行灌注或二者结合的方式。手术中采用较多的是顺行灌注,为经胸骨旁右侧穿刺插入灌注针,在超声引导下顺行灌注停搏液,过程相对较为简单^[9]。而逆行灌注则较为复杂,其为在超声引导下经右侧颈内静脉置管至冠状窦逆行灌注停搏液。在使心脏停搏后,即操作机械臂行手术修补。

3 不同种类先心病矫治的手术效果

3.1 房室间隔缺损修补 机器人房室缺修补术相

比于传统修补术,在术中精细操作及术后恢复方面均具有一定的优势。赵强^[11]于2005年在国内最早行10例机器人外科手术系统辅助房缺修补术,无手术死亡病例或发生并发症,术后超声示无残余分流,术后随访2~10个月生活质量良好。2007年,高长青等^[12]报道15例机器人房缺修补术,全组手术均获成功,平均体外循环时间109.5 min,无术中手术方式的改变,术中及术后出血明显减少,在监护室仅观察1 d,术后恢复时间明显减少,术后复查无残余分流等的发生;随后其团队于2012年再次报道单中心机器人成功进行先心病矫治术160例,其中有76例房缺是在心脏不停跳下完成,全组手术均获成功,术后随访1月~5年,未见残余分流及恶性心律失常等并发症的发生^[13-14]。魏来等^[15]报道5例机器人辅助房缺修补术获得成功,手术时间平均240.5 min,术后引流量平均80.4 ml,ICU观察时间平均12.2 h,术后未输注血液及血制品等。近来,徐学增等^[16]报道了成功改良机器人手术方式行房缺修补术22例,病例均接受机器人房缺修补术或三尖瓣成形+房缺修补术,手术时间平均2.3 h,术后呼吸机平均辅助时间5.8 h,术后住院时间平均5.6 d,均恢复良好顺利出院,出院后随访结果满意。而国外早在2001年报道了由Torracca et al^[5]完成6例全机器人房缺修补术获得成功。随后又有多家心脏中心^[17-18]报道了机器人房室缺矫治,根据报道,除手术时间稍长,仅有少数病例需要转为正中开胸外,在修补效果、降低术后并发症及死亡率等方面均取得了良好的效果。近年来Lion et al^[19]报道了1例机器人完全性右位心的患者房间隔缺损修补术取得成功,患者术后恢复良好。因此对于稍复杂的房缺修补术,机器人手术系统仍然适用。

3.2 动脉导管未闭结扎或缝闭及血管环切除 动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)结扎及血管环切除的报道也不少。Suematsu et al^[20]报道,使用“达芬奇”机器人成功矫治15例PDA或血管环或瓣膜成形术患者,年龄在3~18岁,除1例在术中因胸膜严重粘连转变为正中开胸手术,其余手术均获成功,患者均在术后当天即拔除气管插管,住院时间平均1.5 d,无术后并发症的发生,术后恢复良好,较常规手术相比手术时间虽稍有延长,但术后恢复明显加快及并发症减少。Le Bret et al^[21]报道机器人PDA结扎术28例,并作出与常规腔镜下PDA结扎术对比分析。结果显示,除手术时间相对较长外,气管插管时间、术后引流量、住院时间及相关并发症等

发生与常规腔镜手术无显著差异。

3.3 先天性瓣膜病纠治 先天性瓣膜病包括先天性二尖瓣狭窄或关闭不全,三尖瓣闭锁, Ebstein畸形等,因其病程恶化进程快,自然预后差。二尖瓣修复成型术是目前治疗此病较为理想的方法,二尖瓣成型术可以更好地保留瓣叶及瓣下结构,减少术后抗凝及其栓塞或出血等并发症;另外该术式能更好地保护左室功能,手术的死亡率也明显下降,远期预后较好。但对严重瓣膜畸形的病例,不得不选用瓣膜置换术。Raju et al^[22]报道了机器人辅助修复先天性二尖瓣关闭不全手术获得成功的案例,手术效果满意。Seder et al^[23]报道成功利用机器人辅助以标准成形技术修复三尖瓣瓣叶脱垂。Mandal et al^[24]回顾性分析了大样本量的二尖瓣手术,其中包括先天性瓣膜病和获得性瓣膜病,其中的机器人手术和传统手术相比,结果显示两组间的死亡率等无显著差异。此外,该报道中体外循环时间在后期手术缩短近一半,即随着手术例数和手术熟练度的增加,手术时间将会大大缩短,则可减少因手术时间延长而加重对患者的创伤。机器人手术减少患者住院时间,加快患者恢复进度,使其更早地回归正常生活及工作,使患者从手术治疗中受益。Mihaljevic et al^[25]基于对机器人辅助二尖瓣手术的术后护理及治疗费用代价作出研究,可以从术后最低成本方面和最快恢复至临床工作中获益,类似于常规手术方法值,可实现在大的心脏中心开展。

3.4 心脏肿瘤摘除及其他手术 2005年, Murphy et al^[26]报道了成功进行“达芬奇”机器人辅助下左房黏液瘤切除术,手术中肿瘤切除造成的隔膜缺损以自体心包修补,手术均成功,术后住院时间仅为4 d,术后半月即可进行正常日常活动,随访均未见明显异常,生活质量满意。Seguchi et al^[27]于2011年报道机器人辅助切除无症状右心房腔内脂肪瘤案例的报告,手术在心脏不停跳下操作完成,手术时间为214 min,较传统手术具有较大优势。Murphy^[28]报道机器人主动脉瓣乳头状弹性纤维瘤切除伴迷宫手术获得成功,术后效果满意。相对于传统开胸体外循环手术,机器人手术均可取得满意效果。

4 结语

传统先心病的矫治术已基本成熟,其效果已被临床实践所证实,并发症及死亡率也在不断的下降,是机器人心脏手术良好的对比标准。短期内机器人手术虽具有低创伤,住院时间短,术后并发症少,输

注血制品少,术后生活质量提高等优点,但目前尚缺乏长期的临床资料证实其远期预后的优越性;况且机器人手术尚存在缺乏触觉,缺乏对组织韧度的分辨,缺乏压力与握力反馈机制,不能识别温度差异及手术成本高昂等不足之处,机器人手术的优势则需要更长周期、更加严格的临床随机对照研究予以证实。从近年来不断增多的机器人手术实践可以看出,机器人手术矫治先心病是安全、有效的;虽然其目前在先心病矫治的应用中尚存在局限,部分复杂先心病、重症先心病、危重先天性瓣膜病、大血管严重畸形病例的治疗尚不能通过机器人开展,但随着对机器人技术的不断研发,如新型牵开器、无线吻合器及新术式等,机器人技术将会在不同种类的临床手术治疗中得到更广泛的应用;并且伴随着外科医师手术技术的不断成熟,相信机器人手术将会被更广泛地应用到先心病的矫治中,是未来先心病微创治疗的发展方向。

参考文献

- [1] Lehr E J, Rodriguez E, Chitwood W R. Robotic cardiac surgery [J]. *Curr Opin Anesthesiol* 2011, 24(1) : 77 - 85.
- [2] Rodriguez E, Chitwood W R. Robotics in cardiac surgery [J]. *Scand J Surg* 2009, 98(2) : 120 - 4.
- [3] 汪曾炜,刘维永,张宝仁. 心脏外科学[M]. 北京:人民军医出版社,2003:3-4.
- [4] 程云阁,蔡振杰,余世强,等. 完全内窥镜下的房室间隔缺损修补术[J]. *医师进修杂志* 2003, 26(8) : 202.
- [5] Torracca L, Ismeno G, Alfieri O. Totally endoscopic computer-enhanced atrial septal defect closure in six patients [J]. *Ann Thorac Surg* 2001, 72(4) : 1354 - 7.
- [6] Wimmer-Greinecker G, Dogan S, Aybek T, et al. Totally endoscopic atrial septal in adults with computer-enhanced telemanipulation [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003, 126(2) : 465 - 8.
- [7] 高长青,杨明,王刚,等. 全机器人不开胸心脏手术4例[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2007, 23(1) : 19 - 22.
- [8] Bonaros N, Schachner T, Oehlinger A, et al. Robotically assisted totally endoscopic atrial septal defect repair: insights from operative times, learning curves, and clinical outcome [J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 82(2) : 687 - 93.
- [9] 成楠,高长青. 机器人辅助二尖瓣成形术的治疗进展[J]. *中华胸心血管外科杂志* 2013, 29(2) : 118 - 20.
- [10] 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 - 33.
- [11] 赵强. 机器人辅助腹腔镜下房间隔缺损封堵术[J]. *中华医学杂志* 2005, 85: 2597.
- [12] 高长青,杨明,王刚,等. 全机器人不开胸房间隔缺损修补术[J]. *中华胸心血管外科杂志* 2007, 23(5) : 298 - 301.
- [13] 杨明,高长青,肖劲松,等. 机器人辅助先天性心脏病矫治术的临床经验[J]. *中华外科杂志* 2012, 92(32) : 2261 - 4.
- [14] Gao C, Yang M, Wang G, et al. Totally endoscopic robotic ventricular septal defect repair in the adult [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(6) : 1404 - 7.
- [15] 魏来,沈金强,夏利民,等. 达芬奇机器人手术系统在51例心脏手术中的应用[J]. *复旦学报(医学版)* 2012, 40(6) : 699 - 703.
- [16] 徐学增,李华,龙超众,等. 改良机器人手术方式行房间隔缺损修补术22例[J]. *中华腔镜外科杂志(电子版)* 2013, 6(5) : 43 - 6.
- [17] Bonaros N, Schachner T, Oehlinger A, et al. Experience on the way to totally endoscopic atrial septal defect repair [J]. *Heart Surg Forum* 2004, 7(5) : E440 - 5.
- [18] Morgan J A, Peacock J C, Kohmoto T, et al. Robotic techniques improve quality of life inpatients undergoing atrial septal defect repair [J]. *Ann Thorac Surg* 2004, 77(4) : 1328 - 33.
- [19] Lion K, Watanabe G, Ishikawa N, et al. Total endoscopic robotic atrial septal defect repair in a patient with dextrocardia and situs inversus totalis [J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2012, 14(4) : 476 - 7.
- [20] Suematsu Y, Mora B N, Mihaljevic T, et al. Totally endoscopic robotic assisted repair of patent ductus arteriosus and vascular ring in children [J]. *Ann Thorac Surg* 2005, 80(6) : 2309 - 13.
- [21] Le Bret E, Papadatos S, Folliguet T, et al. Interruption of patent ductus arteriosus in children robotically assisted versus video thoracoscopic surgery [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002, 123(5) : 973 - 6.
- [22] Raju V, Burkhart H M, Cetta F Jr, et al. Successful robot-assisted repair of congenital mitral valve regurgitation [J]. *Ann Thorac Surg* 2014, 98(3) : 1085 - 7.
- [23] Seder C W, Suri R M, Rehfeldt K, et al. Robot-assisted repair of tricuspid leaflet prolapse using standard valvuloplasty techniques [J]. *J Heart Valve Dis* 2012, 21(6) : 749 - 52.
- [24] Mandal K, Alwair H, Nifong W L, et al. Robotically assisted minimally invasive mitral valve surgery [J]. *J Thorac Dis* 2013, 5 Suppl 6: S694 - 703.
- [25] Mihaljevic T, Koprivanac M, Kelava M. Value of robotically assisted surgery for mitral valve disease [J]. *JAMA Surg* 2014, 149(7) : 679 - 86.
- [26] Murphy D A, Miller J S, Langford D A. Robot-assisted endoscopic excision of left atrial myxomas [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2005, 130(2) : 596 - 7.
- [27] Seguchi R, Yashiki N, Kato H, et al. Robot assisted tumor resection of an asymptomatic right atrial intracardiac lipoma; report of a case [J]. *Kyobu Geka* 2011, 64(6) : 503 - 5.
- [28] Murphy E T. Robotic excision of aortic valve papillary fibroelastoma and concomitant maze procedure [J]. *Glob Cardiol Sci Pract* 2012(2) : 93 - 100.