

机器人心脏手术的应用现状*

杨 明 高长青**

(中国人民解放军总医院心血管外科, 北京 100853)

中图分类号: R654.2

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2012)07-0586-05

医疗机器人手术系统是现代电子科技与微创外科发展及融合的产物。1995 年美国 Intuitive Surgical 公司制造了“达芬奇”(da Vinci)机器人手术系统,该系统于 2000 年通过了美国食品药品监督管理局(FDA)市场认证后,成为世界上首套可以正式在手术室中使用的机器人手术系统。与传统正中开胸、体外循环下实施心脏手术不同,机器人心脏手术可最大程度地减小手术切口、降低手术创伤,是目前微创心脏外科学最前沿的技术,同时也有望应用于远程急救医学,实现战争、地震等极端环境下的遥控手术。

“达芬奇”机器人手术系统主要由三部分构成:术者控制台、床旁机械臂车和视频系统。术者于控制台利用手柄控制机械臂和三维内镜完成手术。术者视野为三维立体结构,从而实现同开放式手术相同的视野效果。床旁机械臂车上所使用微创器械头部的直径为 5~8 mm,可通过钥匙孔大小的切口进入人体组织内,从而实现微创。微创器械有 7 个自由度,可以完成人手不可能完成的高难度动作,增加了手术可覆盖范围和完成高难度操作的可能性。该系统同时可以消除人手的颤抖,从而增加操作的精确性和平稳性。该系统可控性强、操作精细、手术视野良好、术者劳动强度降低、不易疲劳,可以提高术者工作效率和准确度。

目前,手术机器人系统主要集中于欧美等发达国家。美国共装备“达芬奇”机器人手术系统 1300 余台,每年完成的机器人心脏手术约 1700 例,并以每年 25% 的速度增长,按开展数量多少手术种类依次为:二尖瓣成形或置换、冠状动脉旁路移植、先天性心脏病(先心病)矫正、心房黏液瘤切除、心房纤颤的外科治疗和左室起搏电极植入。亚洲的日本、韩国、新加坡及台湾地区装备较早,但主要用于腹腔及妇科手术。国内大陆地区自 2007 年开始装备,目

前共装备了 9 台,主要集中于北京、上海等大城市,由于经济发展及医疗水平的不同,国内心外科开展的手术种类依次为:冠状动脉旁路移植术、先心病矫正、二尖瓣成形或置换、黏液瘤切除及其他手术。下面按手术种类介绍机器人心脏手术的应用情况。

1 二尖瓣成形

机器人手术系统首先应用于二尖瓣成形术中。1998 年法国的 Carpentier 等^[1]使用“达芬奇”原型机完成首例机器人辅助下二尖瓣成形术。2000 年 5 月美国东卡罗莱纳心脏中心的 Chitwood 完成了北美第 1 例“达芬奇”机器人下二尖瓣成形术。作为美国 FDA I 期临床试验的一部分,该中心此后陆续完成了 20 例机器人下二尖瓣成形术^[2]。该组病例手术效果良好,并直接推动了 FDA 批准的 II 期、多中心临床试验^[3]: II 期临床试验共纳入 10 个医疗中心的 112 例患者,包括各种类型的二尖瓣成形,并于 2002 年结束; II 期临床试验结果表明,无手术死亡、中风及机器人系统相关并发症发生,92% 的患者术后 1 个月无或仅有微度的二尖瓣返流,8% 的患者有轻度或轻度以上的二尖瓣返流,其中 5% 的患者需要再次手术治疗。根据上述临床试验结果,美国 FDA 于 2002 年批准“达芬奇机”机器人手术系统应用于二尖瓣成形手术中。

到目前为止,还没有机器人与常规开胸或腔镜下二尖瓣成形术对比的临床随机试验。2006 年美国宾夕法尼亚大学的 Woo 等^[4]报道单中心、非随机临床试验,结果表明:同常规手术相比,机器人手术的输血量及住院时间明显缩短。2008 年美国 Chitwood 等^[5]报道了单中心、病例数最多的一组机器人二尖瓣成形术:2000 年 5 月~2006 年 11 月,共 300 例接受机器人二尖瓣成形术,无手术死亡、术中术式转化或改为二尖瓣置换;住院(5.2 ± 4.2)d,术

* 基金项目:“863”计划(2012AA021104)

** 通讯作者, E-mail: gaochq301@yahoo.com

后随访 (815 ± 459) d, 无或微量反流 192 例 (68.8%), 轻度反流 66 例 (23.6%), 中度 15 例 (5.4%), 重度 6 例 (2.2%); 术后 5 年生存率为 96.6%, 同常规开胸二尖瓣成形术无区别; 93.8% 的患者 5 年内无须再次手术。

2007 年 3 月我院开展了国内首例“达芬奇”机器人下二尖瓣成形术^[6]。到目前为止, 共完成二尖瓣手术 60 例, 手术种类包括: 后叶部分切除联合成形环置入, 单纯成形环植入, 假腱索、单纯部分后叶切除, 前叶裂修复, 生物瓣和机械瓣置换。60 例无手术死亡, 无术中术式转化; 二尖瓣成形的体外循环时间为 (132.2 ± 29.6) min, 主动脉阻断时间 (88.1 ± 22.3) min; 二尖瓣置换体外循环时间 (137.1 ± 21.9) min, 主动脉阻断时间 (99.3 ± 17.4) min, 未见瓣周漏等并发症。所有患者术后 4~6 h 拔除气管插管, 术后疼痛明显小于常规开胸手术, 患者心理负担较轻, 恢复加快。1 例术后出现重度肺部感染, 术后 23 d 因肺部感染死亡, 心脏瓣膜及心脏功能术后复查未见异常; 1 例 70 岁二尖瓣成形术后出现重度溶血、肾脏功能衰竭, 行透析治疗后并于术后 1 个月行二次手术、生物瓣置换后痊愈出院; 1 例二尖瓣成形后, 术中经食管超声提示二尖瓣中量反流, 再次阻断及成形后效果良好^[6~8]。

机器人二尖瓣手术过程中, 除 4 个直径为 0.8 cm 的小孔外, 需要在侧胸壁上做直径为 2 cm 的切口作为工作孔, 用来传递针线、瓣膜、成形环等手术耗材。机器人微创器械灵活度高, 特别是在新型器械“左房牵开器”的辅助下, 完全可以在避免正中或侧开胸的情况下完成各种类型的二尖瓣成形。上述的临床研究证实了机器人二尖瓣成形术安全有效, 近、中期结果良好。随着临床经验的积累, Rodriguez 等^[9]将机器人技术应用较复杂的二尖瓣成形, 例如前叶或双叶修复, 但 10~20 年的远期临床结果有待于进一步证实。可以预料的是, 随着机器人技术的进步及新型器械的发明, 机器人下二尖瓣成形将更为简单, 并具有良好的可复制性。对于术后疼痛程度、恢复速度、生活质量等临床指标同常规手术的比较, 有必要继续明确。

2 冠状动脉旁路移植术

机器人辅助下冠状动脉旁路移植术包括: 机器人内乳动脉游离联合正中开胸或胸壁小切口下冠状动脉旁路移植术 (minimally invasive direct coronary artery bypass, MIDCAB)、全机器人下冠状动脉旁路移植术 (totally robotic coronary artery bypass, TECAB), 上述手术可在体外或非体外循环下完成。早期的临床结果显示: “达芬奇”机器人系统可安

全、高效的游离内乳动脉, 在克服了学习曲线后, 游离时间 < 30 min^[10~12]。1998 年 Loulmet 等^[13]首次报道机器人辅助下冠状动脉旁路移植术, 术中先游离左内乳动脉, 心脏停跳后行内乳动脉到前降支的吻合。2000 年 Falk 等^[14]报道 22 例机器人下冠状动脉旁路移植术, 其中 4 例因吻合部位出血或桥血管问题改为侧胸壁小切口下搭桥术; 余 18 例术后 3 个月复查, 桥血管通畅, 无并发症发生。随后, Falk 等^[15]进一步证实了利用心脏内固定器心脏不停跳下机器人冠状动脉旁路移植术的可行性。2006 年, 美国的 Srivastava 等^[16]报道最大的一组临床病例, 150 例接受了双侧内乳动脉游离联合小切口心脏不停跳下冠状动脉旁路移植术, 2 例术后出现胸痛症状, 造影证实为桥血管堵塞, 支架植入术后治愈; 术后 3 个月行 CT 检查, 136 例的桥血管通畅。

2006 年 Argenziano 等^[17]报道了多中心临床试验, 美国 FDA 根据该项临床试验结果, 批准了“达芬奇”系统应用于冠脉搭桥术: 13 个医疗中心的 98 例前降支搭桥入选, 13% 的患者因股动静脉插管困难、胸腔空间狭小等原因术中排除, 85 例成功接受手术, 体外循环时间 (117 ± 44) min, 主动脉阻断时间 (71 ± 26) min, 住院时间 (5.1 ± 3.4) d; 5 例 (6%) 术中改为正中开胸, 无手术死亡, 1 例术后出现心肌梗死, 无脑梗塞等并发症发生; 76 例 3 个月后 CT 检查, 吻合口狭窄 > 50% 或桥血管闭塞 6 例, 3 个月时无须二次再血管化治疗的比例为 91%。2007 年 Canniere 等^[18]报道迄今为止最大的一组机器人冠脉搭桥术, 5 个心脏中心的 228 例入选, 其中 117 例接受了心脏停跳下 TECAB, 112 例行心脏不停跳下 TECAB; 总死亡率为 2.1%, 术中术式转化率为 28%, 随手术例数的增加, 术式转化率逐步下降, 也未出现同术式转化相关的并发症; 术后利用造影或运动平板试验评估手术效果, 6 个月后 97% 的患者桥血管通畅, 6 个月内突发心脏事件的患者占 5%。

2007 年 4 月~2010 年 12 月, 我院共完成 161 例机器人非体外循环下冠状动脉旁路移植术^[19~21], 其中 MIDCAB 101 例, TECAB 60 例。TECAB 组中, 1 例因靶血管条件差 (肌桥, 靶血管位置较深, 难以阻断) 术中改为 MIDCAB; 1 例行右侧内乳动脉同右冠状动脉吻合, 吻合后桥血流不满意, 改为正中小切口 (胸骨中下 1/3 切口); 无手术死亡及围术期心肌梗死发生; 术后 2 周内行 64 排 CT 或桥血管造影检查, 桥血管通常率为 100%。MIDCAB 组术后 1 个月行 CT 检查, 桥血管通畅率为 96.1%, 12 例合并回旋支或右冠局限性狭窄, 机器人术后 2 周内行分站式支架置入术 (杂交), 恢复良好, 未见心脏不良事件发生。

总的来说, 机器人辅助下冠状动脉旁路移植术

主要适用于需要前降支、对角支或部分回旋支搭桥的高度选择性患者。在克服了学习曲线后,大多数术者可较有把握的完成前降支到内乳动脉的搭桥。对于需要多支冠脉再血管化治疗的患者来说,“杂交”技术是可供选择的方案之一。Katz 等^[22]研究表明,该术式可安全完成,术后并发症发生率低,3 个月后桥血管通畅率为 96.3%。远期桥血管通畅率有待于进一步的随访研究证实。

3 先心病矫正

机器人系统可矫正部分先心病。2005 年,波士顿儿童医院报道了使用“达芬奇”机器人系统行动脉导管未闭结扎或瓣膜成形 15 例^[23],年龄 3 ~ 18 岁,1 例因胸膜粘连术中改为正中开胸,手术时间较常规手术稍有延长。Bonaros 等^[24]研究表明,机器人下先心病矫正学习曲线陡峭,手术时间随手术例数增加明显缩短。Argenziano 等^[25]研究表明,利用机器人系统可安全有效的修补房间隔缺损,平均主动脉阻断时间为 32 min;该组 17 例中,1 例术后发现房缺残余分流,术后 5 d 经胸壁小切口二次手术修补,术中未见缝合线异常,但局部肌肉缘有撕裂,说明此例手术失败同机器人技术无关,可能同直接闭合缺损有关,应采用补片修补法。Morgan 等^[26]研究表明,同小切口或正中开胸相比,机器人下房缺修补术可加速术后的恢复,提高患者的生活质量。

2007 年 1 月 ~ 2011 年 6 月,我院采用机器人技术共完成 104 例先心病矫正^[27-30],年龄 12 ~ 66 岁,术式包括:房间隔缺损修补 54 例,心脏不停跳下房间隔缺损修补 44 例,室间隔缺损修补 6 例。该组病例未见残余分流、传导阻滞等并发症发生。

4 机器人心脏肿瘤切除

心脏内肿瘤发生率较低,而且一般为良性,但为防止栓塞并发症发生,建议尽早切除。2005 年 Murphy 等^[31]报道 3 例机器人辅助下左房肿瘤切除,术中经右房-房间隔途径进入左房或直接左房切口,肿瘤切除后利用自体心包片修补缺损的房间隔,体外循环时间(103 ± 40) min,主动脉阻断时间为(64 ± 2) min,术后 3 周内恢复正常的生活。Woo 等^[32]报道利用机器人技术切除主动脉瓣乳头状纤维弹性组织瘤,术后第 3 天出院,1 个月内正常工作。2010 年,我院报道了国际上最大一组机器人辅助下黏液瘤切除术^[33]:19 例中,15 例为左房黏液瘤,4 例为右房黏液瘤;术中左房入路 13 例,2 例经房间隔入左房,右房黏液瘤切除均采用心脏不停跳下手术;所有患者均成功接受机器人黏液瘤切除术,无手术死亡、栓塞等并发症的发生,随访时间($10 \pm$

7)个月,未见肿瘤复发。

5 心房纤颤及心力衰竭的外科治疗

冷冻迷宫术是有效的心房纤颤外科治疗方案,但由于操作过程相对繁琐,增加手术时间及出血风险,该项技术并没有得到广泛的开展。目前的研究证实,开胸二尖瓣手术同期行心房纤颤消融手术安全有效^[33-37]。2002 年 Argenziano 等^[38]报道了机器人下单纯治疗心房纤颤的动物试验,2004 年出现了相应的临床报道^[39, 40]。2009 年 Cheema 等^[41]报道了机器人体外循环下心内直视心房纤颤消融术,但远期结果有待于进一步随访。

大量的前瞻性研究证实,在适当药物治疗条件下,无论是否置入自动除颤仪,再同步化治疗可以提高心力衰竭伴室内阻滞患者的心脏功能、运动耐量及生活质量,同时可以减少死亡率及因心力衰竭导致的住院^[42]。由于冠状静脉及冠状静脉开口解剖变异较大,左心室导线经心脏静脉植入存在 10% ~ 12% 的脱位率^[43]。一旦脱位,开胸下左心室外膜植入起搏电极成为唯一的补救方案。与开胸手术相比,机器人手术具有创伤小、恢复快等优点,对于心脏功能衰竭的患者意义更大。2004 年 Derosé 等^[44]报道机器人辅助下心室电极植入术:13 例中有 6 例曾接受过冠脉搭桥术,所有患者无并发症发生,无手术失败。2005 年 Navia 等^[45]报道 41 例机器人辅助下左心室电极植入术,无手术失败及并发症发生。经冠状静脉与机器人辅助下左心室电极植入的对比性研究正在进行中。

6 展望

机器人微创心脏手术不仅在手术精确定位、手术最小创伤、手术质量等方面将带来了一系列的变革,也是外科观念的革新。机器人系统在心脏外科应用的临床结果表明,该术式同正中开胸相比,可以减少输血量,缩短住院时间,并提高生活质量。可以明确的是,随着机器人系统相关技术的发展,例如新型牵开器、无线吻合器及新术式等,机器人手术技术将得到更广泛的应用。就国内的情况来看,所开展的手术种类、数量均位于亚洲首位,但开展此项工作前需要考虑的是:机器人心脏手术需团队成员的密切配合,并有一个逐步学习的过程;良好的外科基础是开展机器人微创手术的必要条件;机器人手术系统及相关耗材需要较高的投入。传统心脏手术的效果已经被临床实践所证实,并发症及死亡率也在不断的下降中,是机器人心脏手术良好的对比标准。机器人技术的优势需要周期更长、更加严格的临床随机对照研究证实。

参考文献

- 1 Carpentier A, Loulmet D, Aupècle B, et al. Computer assisted open heart surgery. First case operated on with success. C R Acad Sci III, 1998, 321(5): 437-442.
- 2 Nifong LW, Chu VF, Bailey BM, et al. Robotic mitral valve repair: experience with the da Vinci system. Ann Thorac Surg, 2003, 75(2): 438-442.
- 3 Nifong LW, Chitwood WR, Pappas PS, et al. Robotic mitral valve surgery: a United States multicenter trial. J Thorac Cardiovasc Surg, 2005, 129(6): 1395-1404.
- 4 Woo YJ, Nacke EA. Robotic minimally invasive mitral valve reconstruction yields less blood product transfusion and shorter length of stay. Surgery, 2006, 140(2): 263-267.
- 5 Chitwood W, Rodriguez E, Chu MW, et al. Robotic mitral valve repairs in 300 patients: a single-center experience. J Thorac Cardiovasc Surg, 2008, 136(2): 436-441.
- 6 高长青, 杨明, 王刚, 等. 机器人微创二尖瓣成形术的临床应用. 中华外科杂志, 2011, 49(7): 641-644.
- 7 高长青, 杨明, 王刚, 等. 机器人微创二尖瓣置换术. 中华胸心血管外科杂志, 2011, 27(7): 390-392.
- 8 杨明, 高长青, 王刚, 等. 机器人微创二尖瓣手术 60 例临床观察. 南方医科大学学报, 2011, 31(10): 1721-1723.
- 9 Rodriguez E, Nifong LW, Chu MWA, et al. Robotic mitral valve repair for anterior leaflet and bileaflet prolapse. Ann Thorac Surg, 2008, 85: 438-444.
- 10 Falk V, Jacobs S, Gummert J, et al. Robotic coronary artery bypass grafting(CABG) - the Leipzig experience. Surg Clin North Am, 2003, 83(6): 1381-1386.
- 11 Vassiliades TA. Technical aids to performing thoracoscopic robotically assisted internal mammary artery harvesting. Heart Surg Forum, 2002, 5(2): 119-124.
- 12 Kappert U, Cichon R, Gulielmos V, et al. Robotic-enhanced Dresden technique for minimally invasive bilateral internal mammary artery grafting. Heart Surg Forum, 2000, 3(4): 319-321.
- 13 Loulmet D, Carpentier A, d'Attellis N, et al. Endoscopic coronary artery bypass grafting with the aid of robotic assisted instruments. J Thorac Cardiovasc Surg, 1999, 118(1): 4-10.
- 14 Falk V, Diegeler A, Walther T, et al. Total endoscopic computer enhanced coronary artery bypass grafting. Eur J Cardiothorac Surg, 2000, 17(1): 38-45.
- 15 Falk V, Diegeler A, Walther T, et al. Total endoscopic off-pump coronary artery bypass grafting. Heart Surg Forum, 2000, 3: 29-31.
- 16 Srivastava S, Gadasalli S, Agusala M, et al. Use of bilateral internal thoracic arteries in CABG through lateral thoracotomy with robotic assistance in 150 patients. Ann Thorac Surg, 2006, 81(3): 800-806.
- 17 Argenziano M, Katz M, Bonatti J, et al. Results of the prospective multicenter trial of robotically assisted totally endoscopic coronary artery bypass grafting. Ann Thorac Surg, 2006, 81(5): 1666-1674.
- 18 Canniere D, Wimmer-Greinecker G, Cichon R, et al. Feasibility, safety, and efficacy of totally endoscopic coronary artery bypass grafting. multicenter European experience. J Thorac Cardiovasc Surg, 2007, 134: 710-716.
- 19 高长青, 杨明, 王刚, 等. 全机器人胸廓内动脉游离非体外循环冠状动脉旁路移植术. 中华外科杂志, 2007, 45(20): 1414-1416.
- 20 Gao C. Totally robotic internal mammary artery harvest and beating heart coronary artery bypass. Heart Surgery Forum, 2008, 3(Suppl): S1167-S1170.
- 21 高长青, 杨明, 王刚, 等. 机器人非体外循环冠状动脉旁路移植术. 中华外科杂志, 2009, 47(8): 570-573.
- 22 Katz MR, Van Praet F, Canniere D, et al. Integrated coronary revascularization: percutaneous coronary intervention plus robotic totally endoscopic coronary artery bypass. Circulation, 2006, 114(1 Suppl): S1473-S1476.
- 23 Suematsu Y, Mora BN, Mihaljevic T, et al. Totally endoscopic robotic-assisted repair of patent ductus arteriosus and vascular ring in children. Ann Thorac Surg, 2005, 80(6): 2309-2313.
- 24 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. Ann Thorac Surg, 2006, 82(2): 687-693.
- 25 Argenziano M, Oz MC, Kohmoto T, et al. Totally endoscopic atrial septal defect repair with robotic assistance. Circulation, 2003, 108(Suppl 1): S191-S194.
- 26 Morgan JA, Peacock JC, Kohmoto T, et al. Robotic techniques improve quality of life in patients undergoing atrial septal defect repair. Ann Thorac Surg, 2004, 77(4): 1328-1333.
- 27 高长青, 杨明, 王刚, 等. 全机器人不开胸房间隔缺损修补术. 中华胸心血管外科杂志, 2007, 23(5): 298-300.
- 28 Gao C, Yang M, Wang G, et al. Totally robotic resection of myxoma and atrial septal defect repair. Interact CardioVasc Thorac Surg, 2008, 7: 947-950.
- 29 高长青, 杨明, 王刚, 等. 全机器人不开胸心脏手术 4 例. 中华胸心血管外科杂志, 2007, 23(1): 19-21.
- 30 Gao C, Yang M, Wang G, et al. Totally endoscopic robotic ventricular septal defect repair. Innovations, 2010, 5(4): 278-280.
- 31 Murphy DA, Miller JS, Langford DA. Robot-assisted endoscopic excision of left atrial myxomas. J Thorac Cardiovasc Surg, 2005, 130(2): 596-597.
- 32 Woo YJ, Grand TJ, Weiss SJ. Robotic resection of an aortic valve papillary fibroelastoma. Ann Thorac Surg, 2005, 80(3): 1100-1102.
- 33 Gao C, Yang M, Wang G, et al. Excision of atrial myxoma using robotic technology. J Thorac Cardiovasc Surg, 2010, 139(5): 1282-1285.
- 34 Bolotin G, Kypson AP, Nifong LW, et al. Robotically-assisted left atrial fibrillation ablation and mitral valve repair through a right mini-thoracotomy. Ann Thorac Surg, 2004, 78(4): 63-64.
- 35 Loulmet DF, Patel NC, Patel NU, et al. First robotic endoscopic epicardial isolation of the pulmonary veins with microwave energy in a patient in chronic atrial fibrillation. Ann Thorac Surg, 2004, 78(2): E24-E25.
- 36 Akpinar B, Guden M, Sagbas E, et al. Robotic-enhanced totally endoscopic mitral valve repair and ablative therapy. Ann Thorac Surg, 2006, 81(3): 1095-1098.
- 37 Pruitt JC, Lazzara RR, Dworkin GH, et al. Totally endoscopic ablation of lone atrial fibrillation: initial clinical experience. Ann Thorac Surg, 2006, 81(4): 1325-1330. (下转第 593 页)