

# 手术机器人在普通外科的应用

张 丰 综述 郑民华 审校

(上海交通大学医学院附属瑞金医院 上海市微创外科临床医学中心,上海 200025)  
中图分类号 R61,TP24 文献标识 A 文章编号 1009-6604(2007)06-0570-03

腹腔镜手术因其具有创伤小、恢复快同时又遵循传统手术原则的特点,已在外科各专业领域得到广泛推广和发展。然而,该技术还是具有一定的局限性,如无关节连接的手术器械,很难经 trocar 孔完成复杂的手术操作;二维成像和由助手控制摄像头降低了手术医生眼手间的协调性,手术医生触觉的减弱和不自主的手颤增加了进行复杂手术的困难。这些不足在腹腔镜手术发展的初期尚未充分显现,但随着腹腔镜技术逐渐应用于较复杂的外科手术,这些不足便暴露无疑,在这种情况下,手术机器人应运而生。

## 1 手术机器人简介

手术机器人并非是在某种程序控制下能自动完成手术的机器人,它仅仅是在外科医生的操纵下辅助医生完成手术的辅助系统。目前投入临床应用的手术机器人主要有宙斯(Zeus)系统(美国 Computer Motion 公司研制)和达芬奇(da Vinci)系统(美国 Intuitive 公司研制)两种。它们在 2000 年由美国 FDA 批准正式应用于临床。两套手术机器人均包含主控制台、传递外科医生手部动作的有线网络系统和机器人手臂三部分。控制台是机器人系统的核心,由计算机系统、监视器、计算机辅助手术设备等组成。操作臂通常有 3 个,一个用于控制腹腔镜,另两个用于控制手术器械。主控制台上的两个主控装置控制机器人手臂,外科医生双手对两个主控装置的每次操作都能传达到机器人手臂,机器人手臂又控制着患者体内手术器械的操作,并能以一种比例遥控的方式服从于主控制装置的所有命令。术前,医生需调节各种操作器械的动作幅度、活动角度等,同时设定操作臂活动范围。手术时,术者的动作经计算机过滤后按比例实时传递给操作臂,操作臂再控制体内的手术器械。这样,外科医生便不必与患者接触,只需在远处通过控制位于手术台边上的机器人就能完成相关手术。目前,手术机器人系统和传统的腹腔镜技术相比,手术操作的精确性和稳定性均有了较大的提高。尽管两套手术机器人的工作原理类似,但它们仍然具有很大的不同: Zeus 包括 AESOP(声控机器人内窥镜定位器), HERMES(声控中心), Zeus 手术系统(左右机械臂,术者控制台,视讯控制台)以及 SOCRATES(远程合作系统)。AESOP 用于代替助手医生进行控镜、定位,可单独应用于常规腹腔镜手术,术前需先录入术者的语音命令,术中 AESOP 只对其识别,提高了操作的安全性。Zeus 手术系统的机械臂分别与手术台相连,在机体内能有 6 个自由度。而 da Vinci 系统的 3 个操作臂不与手术台相连,直接连接在置入患者体内的 3 个套管针上,在设备的顶端增加了手腕状的关节,扩大了活动范围,增加了灵活性,仿佛将手置于患者的体内,能达到 7 个自由度。此外,da Vinci 系统呈三维显像,而 Zeus 系统则可在二维和三维显像之间切换。目前,da Vinci 机器人外科手术系统已成为世界上最为成熟且应用最为广泛的机器人外科手术系统,它和 Zeus 机器人一起,被广泛应用于普通外科、泌尿外科、妇产科和胸外科等多个专科领域。

1 手术机器人在普通外科的应用

### 2.1 胆囊切除术

胆囊切除术是目前运用手术机器人进行普外科手术中数量最多、技术最熟练的手术,它同时也被认为是普外科医生接触手术机器人的一种非常合适的入门“练习”手术。利用机器人进行胆囊切除术已多有报道<sup>[1,2]</sup>,其中 Marescaux 等<sup>[2]</sup>报道用 Zeus 手术机器人完成的 25 例胆囊切除术中,男 9 例,女 16 例,平均年龄 59 岁(28~81 岁),包括 20 例慢性胆囊炎,1 例胆囊息肉样病变,4 例急性胆囊炎。手术结果: 24 例顺利完成,1 例急性胆囊炎中转常规腹腔镜手术。平均手术时间 108 min,其中机器人安装调试耗时 18 min,胆囊分离耗时 25 min,术中无任何并发症。术后有 1 例疑为并发肺栓塞(有深静脉血栓史)经抗凝处理后恢复好;另 1 例术后呕吐 24 h 后缓解。全组平均住院时间 3 d,与常规手术相近。术后随访 1 个月,1 例术前即有胃反流性疾病,术后症状依旧,1 例诉远离腹壁戳孔处腹壁疼痛,保守治疗后好转,其余 22 例恢复良好。国内周汉新等<sup>[3]</sup>于 2004 年 4 月 26 日成功实施了大陆首例 Zeus 手术机器人胆囊切除术,其后周汉新等<sup>[4]</sup>又对运用 Zeus 手术机器人和运用传统腹腔镜技术行胆囊切除术进行比较,结果表明,机器人手术组的擦镜次数、调整术野时间、解剖动作次数和操作失误率均少于腹腔镜手术组,但前者系统建立时间和手术时间显著长于后者,两组术中出血量和术后住院天数相近,均无术后并发症,各有 1 例中转开腹。作者认为,手术机器人胆囊切除术与腹腔镜手术相比,尽管手术时间长,但术野控制能力好,动作精确性和稳定性更大。甘伟等<sup>[5,6]</sup>则比较了上述两种手术方法对患者免疫功能的影响及体内应激反应的变化,结果两组手术前后 T 细胞亚群、IgA、IgM、IgG 及补体 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 的变化不

万方数据

明显,且两手术组间差异无显著性,另一方面,两组术后的 CRP、IL-1、IL-6 及 TNF 值均较手术前升高,而皮质醇、CRP、IL-1、IL-6 及 TNF 值在两组间差异无显著性。该结果从另一个角度说明,和传统腹腔镜手术一样,利用手术机器人进行手术具有微创的特点。综合上述报道,目前认为和传统的腹腔镜胆囊切除术相比,机器人辅助手术临床疗效相似,术后恢复满意,但手术时间较传统腹腔镜手术延长,而由于手术机器人使用了三维成像系统,所以胆道的解剖更为清晰,从这一点来看,传统的腹腔镜胆囊切除术受制于二维成像和无关节的手术器械,这可能是导致一些胆道损伤发生的原因。当然,手术机器人能否改善这种弊端,还需要更多的随机对照研究来证明。

## 2.2 抗反流手术

有 2 项分别由 Cadier<sup>[7]</sup>和 Melvin<sup>[8]</sup>完成的关于机器人辅助腹腔镜 Nissen 胃底折叠术和传统的利用腹腔镜手术的临床对照研究,手术机器人均为达芬奇系统。结果显示机器人手术未表现出更大的优越性,相反,其手术时间延长,手术费用增加。此外,美国约翰·霍普金斯医院<sup>[9]</sup>对 57 位患者进行机器人辅助下的抗反流手术,结果与上述报道一致。但该研究还显示,该组 18 例具有明显裂孔疝的患者中,使用机器人辅助下的修补术比传统的腹腔镜手术更具有技术上的优势,但这种技术上的优势能否降低术后远期复发率,还有赖于大宗病例的积累和随访。

## 2.3 食管贲门括约肌切开术

治疗贲门失弛缓症所行的 Heller 肌切开术通常在腹腔镜下完成,该手术有一定的精度要求。Ruurda 等<sup>[10]</sup>对 14 例应用 da Vinci 机器人系统进行手术时机器人系统启动时间、手术前后并发症、失血量、操作时间及住院时间进行比较,术后随访食道压力测定和症状评分。结果表明,机器人系统启动时间平均 15 min,平均失血量 10 ml,平均操作时间 90 min,中位住院时间 3 d。术后 30 d 内未发生任何并发症,14 例中的 12 例(86%)吞咽困难得到缓解。术后仅有 2 例(14%)存在烧心感。压力测定显示中位下食管括约肌压力从术前的 2.9 kPa 降低到术后的 1 kPa( $P=0.008$ ),这说明机器人辅助腹腔镜 Heller 术在降低下食管括约肌压力和改善吞咽困难方面是安全和有效的,而使用手术机器人进行精密腹腔镜操作是完全可行性。

## 2.4 治疗肥胖症手术

Horgan 等<sup>[11]</sup>在 2001 年首先报道机器人辅助下的胃分流手术(胃空肠吻合术)。2003 年, Jacobsen 等<sup>[12]</sup>报道 107 例全部使用机器人辅助下胃空肠 Roux-en-Y 吻合术的多中心研究,吻合口均为“手工吻合”。结果表明,术后无吻合口漏,无死亡。1 例术后吻合口狭窄,1 例术中发生机械臂故障,3 例发生戳孔并发症。作者认为,和传统的腹腔镜减肥手术相比,机器人手术有如下的优势:①完成手工胃空肠吻合更为容易;②在机器人辅助下,不使用吻合器是可行的,使用吻合器反而会导致一些副损伤;③不使用吻合器更有利于重建更小的胃囊;④对于肥厚的腹壁,机器人坚硬的手术器械和机械力更有优势。Moser 等<sup>[13]</sup>也报道一组治疗肥胖症手术,包括 110 例行胃空肠 Roux-en-Y 吻合术,32 例行胃囊

带术。结果前组发生 3 例吻合口狭窄,后组发生 1 例吻合口溃疡,两组均无吻合口漏发生。作者认为,传统腹腔镜肥胖治疗手术使用吻合器,有报道称吻合口漏和吻合口狭窄的发生率分别达到 1%~3% 和 9%~31%,机器人辅助下可以较好地完成手工胃空肠 Roux-en-Y 吻合,从而降低上述并发症。不仅如此,对于体重指数(BMI)>60 或肝左叶肥大的患者,机器人手术尤为适用。

## 2.5 胰腺手术

Melvin 等<sup>[14]</sup>于 2003 年首先报道了使用达芬奇手术机器人为一位 46 岁的女性患者切除胰尾部的神经内分泌肿瘤的手术。后来, Melvin<sup>[15]</sup>又对 5 例局限性胰头癌行开腹胰十二指肠切除,应用 da Vinci 机器人行胰管空肠端侧黏膜对黏膜吻合术。除 1 例术后并发胰漏经支持治疗痊愈外,无其他严重并发症,术后平均住院 9 d,胰漏发生率为 20%(1/5)。Giulianotti 等<sup>[16]</sup>也报道了 8 例手术机器人辅助下的胰十二指肠切除术,其中胆空肠吻合和胃空肠吻合均在体内完成,术后有 1 例死亡。但事实也证明,行胰十二指肠切除术需要将门静脉从胰腺背面解剖分离,手术机器人触觉反馈的不足限制了它在该手术中的安全运用。

## 2.6 结直肠手术

最早的 2 例机器人辅助下的结肠手术是在 2001 年完成的<sup>[17]</sup>。后来,先后有手术小组报道了有关使用手术机器人完成结肠手术和利用传统的腹腔镜技术完成结肠手术的对照研究结果。Delaney 等<sup>[18]</sup>对比 2 例右半结肠切除术、3 例乙状结肠切除术和 1 例直结肠固定术,两组的区别仅在于使用机器人组手术时间更长(平均延长 57 min),花费更高(平均增加费用 350 美元)。D'Annibale 等<sup>[19]</sup>的报道则进一步表明,在一项包含 22 例结直肠恶性肿瘤的机器人手术与传统腹腔镜手术的对比研究中,两者手术结果相似,传统手术组和机器人手术组在手术总时间(222 min ± 77 min vs 240 min ± 61 min)、标本切取长度(29 cm ± 11 cm vs 27 cm ± 13 cm)、获取淋巴结的数量(16 ± 9 vs 17 ± 10)方面的差异均无统计学意义。而机器人组的患者和手术室准备时间(24 min ± 12 min)明显长于腹腔镜组(18 min ± 7 min)。腹腔镜组有 3 例改行开腹手术,机器人组有 2 例改行腹腔镜手术,3 例改行手助腹腔镜手术。两组肠道功能恢复时间与术后住院时间上差异无显著性。作者认为,机器人辅助手术与腹腔镜技术治疗结直肠疾病同样安全有效,并且机器人系统对操作的某些特殊阶段特别适用,如结肠脾曲的游离、狭窄盆腔的解剖、神经丛的辨认及人工缝合吻合口等。在另一项对比研究中<sup>[20]</sup>,6 例行机器人辅助下非切除性直结肠固定术,平均手术时间为 127 min(110~142 min),术后的早期疗效(3~6 个月)满意,无手术死亡,无直肠脱垂复发和便秘发生。相比之下,传统的腹腔镜直结肠固定术平均手术时间达 150 min,术后复发率达 10%~25%。目前认为,机器人辅助下的结直肠手术可能对需要进行广泛盆腔分离的患者(尤其是骨盆狭小的男性)比较适用,而对于结直肠恶性肿瘤的机器人手术而言,尽管同样可以在腹腔内完成血管离断结扎、淋巴结清扫和消化道的重建,甚至在某些技术上还优于传统的腹腔镜技术,但该手术对患者的长期生存率、肿瘤复发率等指标有

无影响,有待于进一步证实。

2.7 其他手术

机器人辅助下的脾切除术报道的例数并不多,目前认为其优势在于:机器人显像系统既放大了局部解剖结构而又不失清晰,使手术医生更容易辨认脾脏的血管以及脾脏和胰腺的关系,从而使手术在脾门的操作变得更为精确。同样,机器人辅助下的小肠手术也刚起步,从现有的资料来看,利用机器人有利于医生逐段对全小肠进行探查,这一点对克隆病的手术尤为重要,因为该病变的病灶可呈节段性分布。此外,手术机器人还可用于小肠吻合和小肠营养管的缝合固定。

3 手术机器人的优势与不足

手术机器人从其正式被批准用于临床到现在不过短短的数年时间,在这期间,由机器人完成的各类手术数量不断增加,总计达到了6000例,手术机器人的优点也不断得以体现,如手术成像更为清晰,在狭小的空间进行精细复杂操作时更有优势,可有效消除手术医生不自主的手颤,手术医生可以舒适地坐在控制台遥控手术,甚至可以将手术操作转化为数字信息,利用高速宽带技术进行远程手术。然而在另一方面,手术机器人的不足也和它的优势一样突出,并且束缚了它的发展,其中最主要也是最突出的不足是其昂贵的价格,资料显示<sup>[21]</sup>,达芬奇手术机器人在美国2004年的售价达到了125万美元/套,每年的设备维护费约为10%,而半重复利用的配套设备也价格不菲(可重复使用10次的设备约为2000美元),同时,使用达芬奇机器人进行抗反流手术较之传统腹腔镜手术费用约增加2000美元。其二,手术机器人依然没有很好地解决利用器械手术时缺少触觉反馈的问题,这将影响到手术操作的精确性、安全性和灵活度,从而大大束缚外科医生的能动性。其三,手术机器人的体积仍然偏大,占用了手术室较大的空间,而其本身的教学能力有限,不利于青年医师的培训。此外,在利用手术机器人进行远程腹腔镜手术时,过长的数字信息传输距离会导致实际操作中切口部位的偏移或显示器上动作的迟滞,从而影响手术操作。至于手术时间过长的问题,则可通过手术例数的积累和手术技术的熟练而慢慢得以解决。由于手术机器人的上述不足在短期内不可能克服,而它固有的优势又非常突出,所以有学者建议不要急于用机器人代替所有传统的腹腔镜手术,而仅仅在特别需要时才使用。

4 手术机器人的应用展望

尽管目前的手术机器人还不算完美,但它突出的优势依然牢牢吸引了外科医师的目光,我们有理由相信,达芬奇和宙斯的诞生仅仅是个开始,它们仿佛刚刚学步的婴儿,在科技飞速发展的今天,必将在人们惊喜的目光中展现它们每一次脱胎换骨的变化,手术机器人一定会向着小型化、智能化、经济实用的发展方向不断发展。

参考文献

1 Bodner J, Hoeller E, Wykypiel H, et al. Long-term follow-up after 万方数据

robotic cholecystectomy. *Am Surg* 2005, 71(4): 281-285.

2 Marescaux J, Smith MK, Folscher D, et al. Telerobotic laparoscopic cholecystectomy: initial clinical experience with 25 patients. *Ann Surg* 2001, 234: 1-7.

3 周汉新, 余小舫, 李富荣, 等. 遥控宙斯机器人胆囊切除术的临床应用. *中华医学杂志* 2005, 85(3): 154-157.

4 周汉新, 郭跃华, 余小舫, 等. 手术机器人胆囊切除术与常规腹腔镜胆囊切除术的对比研究. *中华普通外科杂志* 2005, 20(6): 341-343.

5 甘伟, 李富荣, 余小舫, 等. 遥控 Zeus 手术机器人与腹腔镜胆囊切除术后免疫功能的比较. *中国普通外科杂志* 2006, 15(8): 572-575.

6 甘伟, 李富荣, 余小舫, 等. 机器人腹腔镜胆囊切除术后应激反应的变化. *中国微创外科杂志* 2006, 6(12): 917-918.

7 Cadiere GB, Himpens J, Vertruyen M, et al. Evaluation of telesurgical (robotic) Nissen fundoplication. *Surg Endosc* 2001, 15: 918-923.

8 Melvin WS, Needleman BJ, Krause KR, et al. Computer-enhanced vs. standard laparoscopic antireflux surgery. *J Gastrointest Surg* 2002, 6: 11-16.

9 Hanly EJ, Talamini MA. Robotic abdominal surgery. *Am J Surg* 2004, 188(4A Suppl): 19S-26S.

10 Ruurda JP, Gooszen HG, Broeders IA. Early experience in robot-assisted laparoscopic Heller myotomy. *Scand J Gastroenterol Suppl* 2004, 241: 4-8.

11 Horgan S, Vanuno D. Robots in laparoscopic surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2001, 11: 415-419.

12 Jacobsen G, Berger R, Horgan S, et al. The role of robotic surgery in morbid obesity. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2003, 13: 279-283.

13 Moser F, Horgan S. Robotically assisted bariatric surgery. *Am J Surg* 2004, 188(4A Suppl): 38S-44S.

14 Melvin WS, Needleman BJ, Krause KR, et al. Robotic resection of pancreatic neuroendocrine tumor. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2003, 13: 33-36.

15 Melvin WS. Minimally invasive pancreatic surgery. *Am J Surg* 2003, 186: 274-278.

16 Giulianotti PC, Coratti A, Angelini M, et al. Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital. *Arch Surg* 2003, 138: 777-784.

17 Weber PA, Merola S, Wasielewski A, et al. Telerobotic-assisted laparoscopic right and sigmoid colectomies for benign disease. *Dis Colon Rectum* 2002, 45: 1689-1694.

18 Delaney CP, Lynch AC, Senagore AJ, et al. Comparison of robotically performed and traditional laparoscopic colorectal surgery. *Dis Colon Rectum* 2003, 46: 1633-1639.

19 D'Annibale A, Morpurgo E, Fisco V, et al. Robotic and laparoscopic surgery for treatment of colorectal diseases. *Dis Colon Rectum* 2004, 47(12): 2162-2168.

20 Munz Y, Moorthy K, Kudchadkar R, et al. Robotic assisted rectopexy. *Am J Surg* 2004, 187: 88-92.

21 Hanly EJ, Talamini MA. Robotic abdominal surgery. *Am J Surg* 2004, 188(4A Suppl): 9S-26S. (收稿日期 2006-11-16) (修回日期 2007-01-22) (责任编辑 王惠群)