

机器人手术系统在小儿胸外科的应用及展望

李 帅, 汤绍涛

(华中科技大学同济医学院附属协和医院小儿外科 湖北 武汉 430022)

摘 要 达芬奇机器人手术系统已在世界范围内很多学科中得到应用。小儿胸外科机器人手术较之成人胸外科机器人手术有着明显的区别, 而与小儿普外科、泌尿外科机器人手术相比亦有显著不同。本文通过系统综述目前达芬奇机器人手术系统在小儿胸外科的应用现状, 对小儿胸外科机器人手术的特点和优势及达芬奇机器人手术系统应用于小儿胸外科手术的技巧进行总结。

关键词 机器人手术系统; 小儿外科; 小儿胸外科

中图分类号 R726.1 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2021) 04-0272-05

Application status and prospects of robotic surgery system in pediatric thoracic surgery

LI Shuai, TANG Shaotao

(Department of Pediatric Surgery, Union Hospital affiliated to Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, China)

Abstract Da Vinci robotic surgery system has been applied to many disciplines all over the world. Robot-assisted thoracic surgery in children is different from adult thoracic surgery, So does pediatric general and urology surgery. This paper aims to systematically summarize the characteristics and techniques of Da Vinci robotic surgery system in pediatric thoracic surgery by reviewing the application status of Da Vinci surgical system in pediatric thoracic surgery.

Key words Robotic surgery system; Pediatric surgery; Pediatric thoracic surgery

达芬奇机器人手术系统于 2000 年被美国 FDA 批准在普通外科手术中使用。之后, 其应用范围逐渐扩展到妇产科、泌尿外科、普外科、心外科及胸外科等专科。2001 年 3 月 5 日, 美

收稿日期: 2021-02-05 录用日期: 2021-04-25

Received Date: 2021-02-05 Accepted Date: 2021-04-25

基金项目: 国家自然科学基金 (201402007)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (201402007)

通讯作者: 汤绍涛, Email: tshaotao83@126.com

Corresponding Author: TANG Shaotao, Email: tshaotao83@126.com

引用格式: 李帅, 汤绍涛. 机器人手术系统在小儿胸外科的应用及展望 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2021, 2 (4): 272-276.

Citation: LI S, TANG S T. Application status and prospects of robotic surgery system in pediatric thoracic surgery [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2 (4): 272-276.

国 FDA 正式批准达芬奇机器人手术系统应用于胸外科。2001 年，法国医生 Emmanuel Le Bret 开展了世界首例机器人动脉导管未闭手术^[1]。2003 年，Morgan 和 Ashton 分别在美国和欧洲开展了普胸外科领域具有标志意义的机器人肺叶切除术^[2-3]。截至 2015 年，世界范围内已报道了 8 600 余例相关手术^[4]。

在国内，机器人手术在成人胸外科率先开展。2006 年，由中国人民解放军总医院首先引入达芬奇机器人手术系统，主要应用于心外科、泌尿外科、普外科、肝胆外科手术及胸外科。2006~2013 年，国内成人普胸外科应用达芬奇机器人手术系统已经完成的手术术式包括：前、后纵隔肿瘤切除术（囊性及实性肿瘤）、全胸腺切除及前纵隔脂肪清除术、膈肌裂孔修补术、贲门肌层切开术、食管壁内囊肿切除及食管黏膜缝合修补术、食管癌根治术、肺大泡切除术、肺段切除术、肺内病变行病灶楔形切除术或肺癌肺叶切除及淋巴结清除术等。共完成普胸外科疾病相关手术 607 例，占有学科达芬奇机器人手术量的 9%^[5-6]。香港大学玛丽医院黄格元教授于 2007 年开始开展小儿外科机器人手术。在大陆，小儿胸外科机器人手术的开展相对滞后，直到 2015 年，在华中科技大学汤绍涛教授团队的探索下才逐渐开展^[7-8]。小儿胸外科机器人手术较成人手术有着明显的区别，而与小儿普外、泌尿外科机器人手术相比亦有显著不同。

1 小儿普胸外科机器人手术的特点

进入胸腔的孔道往往要在肋间，小儿肋间隙窄，而第 4 代以前的机器人系统镜头操作通道为 12mm，即使是达芬奇 Xi 系统，其镜头 Trocar 也需 8mm，一定程度上限制了其在小

儿患者中的应用。如果粗暴地建立操作通道，可能会导致肋骨骨折、胸廓畸形等严重并发症^[9]。本单位采取了序贯扩张法（Step）建立体重 <10kg 小儿胸外科机器人手术操作通道，使操作更加精准，安全^[10]。

胸腔空间受肋弓局限，不如腹腔有延展性，建立气腹后可以明显增大。有研究认为，操作器械伸入胸腔空间 <5.61cm，体重 <3kg，手术则因器械活动度不够或难以避免的机械臂碰撞，致手术无法完成^[9]。对于体腔过小不能满足机器人器械进入基本长度要求的病例，Meehan 采用后退 Trocar 1.5~2cm 的办法来完成手术。本单位的经验是，通过非对称的排列，减少非主操作钳的活动，既可以减少碰撞，又可以增加主操作钳的活动度及灵活性。这使得我们在面对体重 2kg 的患者时也可以完成食管闭锁这种复杂的重建性手术。

良性疾病应用小儿胸外科机器人手术居多。小儿组织结构细小稚嫩（比如成人肺动脉干宽度可达 2.5cm，3 个月小儿仅有 0.8cm），因此解剖需轻柔，并减少牵拉。机器人呈现的是放大 10~15 倍的 3D 影像，且操作器械灵活，有 7 个自由度，可以更加精准地游离解剖，减少对周围组织的损伤，这是其优势；但与腔镜手术相比，机器人系统触觉反馈较差，需要积累一定经验后，通过“视觉反馈”弥补触觉反馈^[11]。

胸腔内心脏、大血管出血将会是灾难性的，机器人系统安装、拆卸需要一定时间，对于手术意外的抢救是不利的^[12]。因此，这对外科技术提出了更高的要求，术者及助手都要有应急处理的准备及能力。小儿胸外科机器人手术初期开展应多选择出血风险较小的病例，待病例数量及团队经验积累足够后再逐步开展复杂的切除性手术，甚至更为复杂的重建性手术。

2 小儿胸外科机器人手术的现状

世界范围内来看,专注于小儿普胸外科疾病的机器人手术的报道并不多^[13-15],截至2020年3月不到10篇,其中还有数篇个案报道。2008年,作为小儿外科机器人手术的先驱,美国Iowa儿童医院的Meehan教授报道了机器人小儿纵隔肿物及肺叶切除术,并总结了该中心100例机器人手术的经验。共涉及24种手术操作,病种有后纵隔肿瘤、先天性肺气道畸形、叶内型隔离肺、膈疝、气管源性囊肿等,年龄最小1d,体重最低2.2kg,其中11例普胸外科的疾病,2例被迫中转。该中心的经验显示,机器人手术用于完成复杂的小儿胸外科手术是安全可行的^[14]。2013年,英国的Thomas P. Cundy等总结了2001~2012年世界范围内小儿外科机器人开展现状,共报道了1 840个病例的2 393种手术,其中77例胸外科手术,术式包括肺叶/肺段切除、胸腺切除、膈疝修补、膈肌折叠、肿块/囊肿切除及交感神经离断等。他认为,目前的机器人系统的视觉系统和手术器械的自由度都已展示出其潜在优势,但对于小儿外科来讲,仍需改进,包括图像、制导、小型化、集成传感和人机交互等领域^[16]。

国内小儿外科学界接触机器人手术系统较早,但真正用于手术操作较晚。香港大学玛丽医院黄格元教授团队于2013年报道了20例手术的经验,其中包括2例食管部分切除术^[17-18]。继华中科技大学同济医学院附属协和医院引进达芬奇系统,汤绍涛教授带领的团队在国内率先开展了小儿普胸外科的多种手术,包括纵隔肿瘤(2015年)、膈膨升(2016年)、膈疝(2016年)、前肠囊肿(2017)、肺叶切除(2018年)及食管狭窄(2019年)等,开启了大陆小儿机器人

普胸外科手术的新纪元。最近(2020年)浙江大学儿童医院、武汉儿童医院及北京儿童医院等儿童中心相继引入机器人手术系统,小儿普胸疾病机器人手术量逐渐增多。

针对单病种的小儿机器人胸外科手术的总结报道不多,现仅对纵隔肿瘤切除、肺叶切除及膈疝修补3种相对较多的术式予以初步总结。

2.1 纵隔肿瘤切除术

纵隔肿瘤或肿物,是早期较为推崇进行机器人操作的小儿外科疾病,为尝试机器人小儿普胸手术的首选病种。早在2003年,山东大学省立医院小儿外科吴荣德教授在Aesop机器臂辅助下完成了2例胸腔镜手术^[19]。而真正的机器人手术始于2008年,美国Iowa儿童医院的Meehan教授报道了机器人小儿纵隔肿物切除术,并认为机器人的转弯器械特别适合纵隔实性肿瘤的切除^[20]。2014年,法国的Quentin Ballouhey等针对其单位开展的小儿普胸外科机器人手术做了一篇比较研究,该研究共11例患儿,3例为新生儿,最低体重3kg,该中心的实践表明,既往报道机器人Trocar之间距离至少8cm并非必需的,对于Si系统,5~6cm是可以完成手术的^[15]。新生儿胸腔体积太小不利于目前机器人手术器械的展开,且8mm的Trocar很难进入并穿过新生儿的肋间隙。通过与开放手术、传统胸腔镜手术对比手术时间、中转率及住院时间,结果认为机器人在>20kg患儿的纵隔囊性肿物切除中有一定优势。另外还有胸骨后甲状腺肿、食管囊肿和气管囊肿行小儿机器人手术的报道^[21-23]。2015年,华中科技大学协和医院小儿外科王勇、汤绍涛团队成功开展了大陆第1例小儿普胸外科机器人手术,为后纵隔神经源性肿瘤切除^[24],术中的清晰画面及器械的灵活稳定性给手术团队留下了深刻印象。

2.2 肺叶切除术

2008年,作为小儿外科机器人手术的先驱,Meehan教授最先报道了机器人小儿肺叶切除术,但其第1例因解剖结构不确定导致中转。他紧接着报道了4例机器人肺叶切除(1例中转),2例肺段切除,术中机器人的Gyrus P K及非机器人的LigaSure被用于解剖肺实质和止血,支气管残端采用缝合的办法闭合^[25]。2013年,Cundy的小儿机器人手术10年综述中包含了18例肺叶切除和3例肺段切除。2018年,华中科技大学协和医院小儿外科李帅、汤绍涛团队成功开展了大陆第1例机器人小儿肺叶切除手术,并于2020年将初步经验发表于《临床小儿外科杂志》^[26]。本中心的经验认为,机器人清晰稳定的视野利于精细解剖、器械的灵活性明显减少牵拉损伤,但是因缺乏触觉反馈,初期病例应缓慢操作,以避免组织渗血影响视野。

2.3 膈疝修补术

2005年,密歇根儿童医院的Knight医生报道了2例胸骨后疝(Morgagni疝)的机器人手术^[27]。2007年,Meehan教授报道了机器人小儿胸腹裂孔疝(Bochdalek疝)修补术,因小儿体重过低、空间限制原因,改为腹腔入路完成^[9]。2018年,Lima介绍了1例迟发性Bochdalek疝的机器人手术^[28]。2016年,华中科技大学协和医院小儿外科汤绍涛团队成功开展了机器人辅助胸腔镜的新生儿Bochdalek疝修补术。机器人多自由度的机械臂在缝合操作优势明显^[29],但达芬奇Si及Xi系统的镜头及操作器械对新生儿来说明显偏大^[30]。本中心采用序贯扩张法,很好地解决了12mm Trocar进入新生儿胸腔的难题^[10]。

3 展望

2019年1月,华中科技大学同济医学院附属协和医院小儿外科举办了首届小儿外科

机器人手术学术会议,介绍了国内外小儿外科机器人手术的开展现状,探讨了机器人手术的优势及技术经验,会议充分利用当代信息技术,首次采用了微信网络直播的方式向未能参会的全国同行同步直播,使很多对机器人手术存在偏见的小儿外科医生转变了观念,为机器人手术的进一步普及奠定了坚实的基础。

通常,外科新技术创新变革被划分为4个阶段^[31]:1.创新;2a.发展,2b.探索、改进;3.评估;4.远期评价。国内小儿外科机器人手术尚于2b期,重点应该关注手术安全性及有效性,研究报道提供的证据都处于4级甚至更低。小儿外科机器人手术,特别是新生儿机器人手术仍存在一定争议,亟需多中心前瞻性随机对照研究提供更具说服力的证据,评价患者的真正获益、手术操作的优劣,从而度过2b期;继而通过持续改进,使机器人手术更适应小儿外科。鉴于目前手术机器人的上述不足,未来机器人的改进必定包括操作器械微型化、单臂多操作器械、柔性器械等方向^[32-33]。不久的将来,人工智能、5G技术及大数据的综合应用,将使手术机器人增加人机交互功能、学习功能,其优势将进一步发挥,使广大患儿受益。

参考文献

- [1] 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): 973-976.
- [2] Morgan J A, Ginsburg M E, Sonett J R, et al. Advanced thoracoscopic procedures are facilitated by computer-aided robotic technology[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2003, 23(6): 883-887.
- [3] Ashton R C Jr, Connery C P, Swistel D G, et al. Robot-assisted lobectomy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2003, DOI: 10.1016/S0022-5223(03)00201-0.
- [4] Linsky P, Wei B. Robotic lobectomy[J]. *J Vis Surg*,

2017. DOI: 10.21037/jovs.2017.08.12.
- [5] 王述民. 达芬奇机器人在肺癌根治术中的应用现状及展望[J]. 中国肿瘤, 2014, 23(4): 736-742.
- [6] 罗清泉, 林皓, 黄佳, 等. 机器人辅助胸腔镜肺叶切除 12 例临床分析[J]. 中国心胸血管外科杂志, 2013, 21(2): 25-28.
- [7] 张茜, 曹国庆, 汤绍涛, 等. da Vinci 机器人腹腔镜治疗小儿先天性胆总管囊肿[J]. 临床小儿外科杂志, 2017, 15(2): 137-139.
- [8] 张茜, 汤绍涛, 曹国庆, 等. da Vinci 机器人辅助腹腔镜 Soave 拖出术治疗先天性巨结肠症[J]. 中国微创外科杂志, 2016, 16(2): 165-167, 184.
- [9] Meehan J J. Robotic surgery in small children: is there room for this? [J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2009, 19(5): 707-712.
- [10] 曹国庆, 张茜, 周莹, 等. 机器人胸腔镜手术治疗食管闭锁: 国内首例报道[J]. 中国微创外科杂志, 2020, 1(11): 1026-1028.
- [11] Vitiello V, Lee S L, Cundy T P, et al. Emerging robotic platforms for minimally invasive surgery[J]. IEEE Rev Biomed Eng, 2013. DOI: 10.1109/RBME.2012.2236311.
- [12] Mazzon G, Sridhar A, Busuttill G, et al. Learning curves for robotic surgery: a review of the recent literature[J]. Curr Urol Rep, 2017, 18(11): 89.
- [13] Navarrete Arellano M, Garibay González F. Robot-assisted laparoscopic and thoracoscopic surgery: prospective series of 186 pediatric surgeries[J]. Front Pediatr, 2019. DOI: 10.3389/fped.2019.00200.
- [14] Meehan J J, Sandler A. Pediatric robotic surgery: a single-institutional review of the first 100 consecutive cases[J]. Surg Endosc, 2008, 22(1): 177-182.
- [15] Ballouhey Q, Villemagne T, Cros J, et al. Assessment of paediatric thoracic robotic surgery[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2015, 20(3): 300-303.
- [16] Cundy T P, Shetty K, Clark J, et al. The first decade of robotic surgery in children[J]. J Pediatr Surg, 2013, 48(4): 858-865.
- [17] 黄格元, 蓝传亮, 刘雪来, 等. 达芬奇机器人在小儿外科手术中的应用(附 20 例报告)[J]. 中国微创外科杂志, 2013, 13(1): 4-8.
- [18] 杨振, 黄格元. 机器人在小儿外科手术中的应用及争议[J]. 临床小儿外科杂志, 2016, 15(4): 317-321.
- [19] 吴荣德, 于启海, 王刚, 等. 机器手辅助下腔镜手术在小儿外科的应用[J]. 中华小儿外科杂志, 2003, 24(5): 391-393.
- [20] Meehan J J, Sandler A D. Robotic resection of mediastinal masses in children[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2008, 18(1): 114-119.
- [21] Hartwich J, Tyagi S, Margaron F, et al. Robot-assisted thoracoscopic thymectomy for treating myasthenia gravis in children[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2012, 22(9): 925-929.
- [22] Obasi P C, Hebra A, Varela J C. Excision of esophageal duplication cysts with robotic-assisted thoracoscopic surgery[J]. Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons, 2011, 15(2): 244-247.
- [23] Asaf B B, Kumar A, Vijay C L. Robotic excision of paraesophageal bronchogenic cyst in a 9-year-old child[J]. J Indian Assoc Pediatr Surg, 2015, 20(4): 191-193.
- [24] 王勇, 汤绍涛. 达芬奇手术机器人辅助胸腔镜手术治疗小儿纵膈肿瘤 1 例[J]. 临床小儿外科杂志, 2017, 16(5): 518-519.
- [25] Meehan J J, Phearman L, Sandler A. Robotic pulmonary resections in children: series report and introduction of a new robotic instrument[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2008, 18(2): 293-295.
- [26] 李帅, 汤绍涛, 曹国庆, 等. da Vinci 机器人辅助胸腔镜下小儿肺叶切除术的初步经验[J]. 临床小儿外科杂志, 2020, 19(7): 619-621, 647.
- [27] Knight C G, Gidell K M, Lanning D, et al. Laparoscopic Morgagni hernia repair in children using robotic instruments[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2005, 15(5): 482-486.
- [28] Lima M, Di Salvo N, Ugolini S, et al. Robot-assisted thoracoscopic repair of a late-onset Bochdalek hernia: case report[J]. Pediatr Med Chir, 2018. DOI: 10.4081/pmc.2018.173.
- [29] Takazawa S, Ishimaru T, Harada K, et al. Evaluation of surgical devices using an artificial pediatric thoracic model: a comparison between robot-assisted thoracoscopic suturing versus conventional video-assisted thoracoscopic suturing[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2018, 28(5): 622-627.
- [30] Molinaro F, Angotti R, Bindi E, et al. Low weight child: can it be considered a limit of robotic surgery? experience of two centers[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2019, 29(5): 698-702.
- [31] Barkun J S, Aronson J K, Feldman L S, et al. Evaluation and stages of surgical innovations[J]. Lancet, 2009, 374(9695): 1089-1096.
- [32] Alqahtani A, Albassam A, Zamakhshary M, et al. Robot-assisted pediatric surgery: how far can we go? [J]. World J Surg, 2010, 34(5): 975-978.
- [33] van Haasteren G, Levine S, Hayes W. Pediatric robotic surgery: early assessment[J]. Pediatrics, 2009, 123(6): 1642-1649.