

编者按 机器人手术系统是目前微创外科领域最先进的技术，近年来已在泌尿外科、普外科、妇产科、心脏外科等学科中取得快速发展。机器人手术系统器械精细、手术精准，具有创伤小、出血少、恢复快、并发症少等特点。和成人相比，小儿的组织器官更小、更脆弱，血管及管道更细，操作空间更小，对手术的精确性和精细程度要求更高。理论上讲，小儿外科更适合开展机器人手术。但目前的机器人手术系统是基于成人开发的，在小儿外科中的应用十分受限。如何克服当前机器人手术系统的缺陷，未来如何改良机器人手术系统和手术器械使其更适用于小儿外科，使更多患儿受益，是当下小儿外科医生急需探索和解决的问题。

华中科技大学同济医学院附属协和医院小儿外科是国内最早开展小儿机器人手术的医疗机构之一，积累了大量宝贵经验。为共同探索机器人手术系统在小儿外科的应用现状、新技术及应用前景等，本刊与其共同策划了“小儿外科机器人手术专栏”，将分两期较全面地探讨机器人手术系统在小儿泌尿外科、普外科、胸外科以及护理配合等方面的经验。同时欢迎广大从事小儿外科诊疗工作的同仁不吝赐稿，积极交流，共同推动机器人手术系统在小儿外科的应用和发展。

机器人手术在小儿外科中的发展现状及展望

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 2000年达芬奇机器人手术系统通过美国食品药品监督管理局认证，并作为现阶段微创外科领域最先进的技术逐渐应用在普外科、泌尿外科、胸心外科、妇科、小儿外科等领域。目前，小儿外科机器人手术的临床应用还处于学习成长阶段，存在很多的挑战及障碍。本文通过对国内外相关文献进行综合及分析，介绍了小儿机器人手术的发展现状及争议，并进一步展望机器人手术系统在小儿外科的发展前景。

关键词 机器人手术系统；小儿外科；微创手术

中图分类号 R608 R726 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2021)04-0241-07

收稿日期：2021-03-12 录用日期：2021-05-10

Received Date: 2021-03-12 Accepted Date: 2021-05-10

基金项目：国家自然科学基金《NRG1基因rs2439302C>G通过ErbB3/SOX10信号通路修饰RET基因参与先天性巨结肠症发病机制的研究》(81873848)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China: NRG1 gene rs2439302C > G modifies RET gene through ErbB3/SOX10 signal pathway to participate in the pathogenesis of Hirschsprung's disease (81873848)

通讯作者：汤绍涛，Email: tshaotao83@126.com

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

引用格式：汤绍涛. 机器人手术在小儿外科中的发展现状及展望 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2021, 2(4): 241-247.

Citation: TANG S T. Robot-assisted surgery in children: current status and prospects [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(4):241-247.

Robot-assisted surgery in children: current status and prospects

TANG Shaotao

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

Abstract In 2000, Da Vinci robotic surgery system was certified by the FDA. As the most advanced technology in the field of minimally invasive surgery, it is gradually applied in general surgery, urology surgery, cardiothoracic surgery, gynecology surgery, pediatric surgery and other fields. The clinical application of robotic surgery in pediatrics is still on its early stage and facing challenges and obstacles. By collecting and analyzing the relevant literatures at home and abroad, the current situation, controversy of robotic surgery in pediatrics were introduced and prospects were made in this paper.

Key words Robotic surgery system; Pediatric surgery; Minimally invasive surgery

以腹腔镜为代表的微创手术正迅速发展,在部分外科领域中已经取代开放手术成为金标准。尽管腹腔镜手术恢复快且手术瘢痕美观,但由于术者受到腹腔镜设备操作精度、灵活性及2D手术场景的限制,腹腔镜手术并没有在复杂器官重建手术中得到广泛应用。尤其是对于小儿患者,脆嫩的组织和有限的手术操作空间对微创手术提出了更大的挑战。机器人手术系统克服了腹腔镜中遇到的诸多问题,代表着当今外科手术机器人的最高水平,并融合众多新兴学科,实现了外科手术微创化、精准化及智能化发展^[1]。2001年,德国医生报道了达芬奇机器人应用于胃底折叠术、肾上腺良性肿瘤切除术、腹腔入路输卵管囊肿切除术的研究,患者平均年龄为12岁^[2]。与成人腹腔镜外科比较,小儿腹腔镜手术对患者和医生的要求更加苛刻,因而受到的限制也更多。传统腹腔镜技术向机器人腹腔镜技术的推进使得小儿腹腔镜技术获益更多,这进一步拓宽了手术的适应证范围。然而,近20年内众多医生一直在探索机器人手术在小儿

外科中的应用途径和方法,但这一过程非常艰辛,因为达芬奇机器人手术除了优势外,也有明显的劣势,如装机政策导向、机械臂体积与患儿体腔相比过大、手术费用高、手术时间长等。本研究对机器人手术系统在小儿外科的应用及进展进行回顾分析,并对小儿机器人手术的未来进行展望。

1 小儿机器人手术发展历史及现状分析

达芬奇机器人于1999年由Intuitive Surgical公司发明,2000年由美国食品药品监督管理局(FDA)批准应用于临床,第1代设备没有进入中国市场。2006年Intuitive Surgical公司发布达芬奇S手术系统(第2代),包括4个机器臂;2009年发布达芬奇Si手术系统(第3代),其升级为双控制台,整体设备更加小巧和高效;2014年发布达芬奇Xi机器人手术系统(第4代),其应用悬吊式安装与移动平台,可满足手术机械到达各个方向的手术区域,手术臂较前更小、更

薄；2018年发布达芬奇 SP[®] 系统（单孔），但是暂未在中国注册，其采用8.5mm的预弯型器械，但仍存在“筷子效应”，且手术适应证相对窄^[3]。达芬奇手术系统的技术优势：①清晰：具有高分辨率，可提供放大10~15倍的高清立体图像；②自控：无需助手扶持镜臂，可根据术者意愿自己调节镜头的方向；③灵活：机械臂有7个自由度（人手是5个），可360°顺、逆时针自由旋转；④眼手协调性好：具有全景三维视野，可以很好地配合医生手的精细动作；⑤精准：可以过滤人手的自然抖动，并进行精细操作；⑥轻松：术者无需清洁洗手，能以舒适的坐姿进行手术操作^[4-5]。因此机器人手术系统比常规腹腔镜系统看得更清楚（可见性，Visibility），操作更灵活（灵活性，Dexterity），且医生更舒服（人体工程学，Ergonomics），满意度高。

2000年7月德国医生 Meininger D D等^[6]为1例10岁的女孩完成了世界首例达芬奇机器人小儿胃底折叠术，并于2001年4月首次报道，该手术开创了机器人手术在小儿外科应用的先河。之后，机器人手术系统逐渐发展并应用于小儿普通外科、泌尿外科及胸心外科等。2002年 Gettman M T等^[7]首次报道了4例关于达芬奇机器人手术系统在小儿肾盂积水中应用的病例，2002年 Le Bret E等^[8]报道了机器人辅助下小儿胸腔镜手术，2004年 Peters C A^[9]报道了机器人小儿输尿管膀胱再植术，2006年 Woo R等^[10]报道了机器人小儿胆总管囊肿手术。此后每隔1年或2年都有一种或多种不同小儿疾病中应用达芬奇机器人进行手术的报道。2013年 Cundy T P等^[11]在 *J Pediatr Surg* 杂志上发表了一篇关于小儿外科机器人手术在第1个十年应用情况的报道。2001年4月~2012年12月共发表文献137篇，完成手术2393例，79%来自美国，14%来自欧洲，4%来自中东，3%来自亚洲；其中泌尿外科手

术1434例，胃肠外科手术882例，胸外科手术77例；排行前四的手术分别是肾盂成形术（672例）、输尿管再植术（479例）、胃底折叠术（424例）、肺叶切除术（18例）。近十年小儿机器人外科手术的发展明显加速，并正在向婴幼儿、新生儿外科迈进。

中国小儿机器人手术起步较晚。香港大学玛丽医院于2007年开始探索达芬奇 S 机器人手术在小儿外科中的应用，并分别于2007年和2008年完成中国首例小儿达芬奇机器人胃底折叠术和小儿肾盂成形术^[12]。大陆地区最先拥有达芬奇机器人手术系统的机构是大型部队医院和综合性三甲医院，2006年解放军总医院引进了第1台达芬奇 S 系统，开启了中国大陆开展机器人手术的历史，并完成了数十例大龄儿童心脏机器人手术^[13]。2015年武汉协和医院完成中国首例机器人先天性巨结肠症和胆总管囊肿手术，2016年完成机器人先天性肛门闭锁矫正术^[14-16]，目前已经完成先天性巨结肠手术160余例，先天性胆总管囊肿手术80余例。2017年和2018年北京军区总医院附属八一儿童医院完成中国首例机器人小儿膀胱阑尾输出道重建术和小儿肾母细胞瘤手术^[17]，同时完成了千余例的小儿肾盂成形术，患儿最小年龄是7d。2020年5月、11月和12月，浙江儿童医院、武汉儿童医院和北京儿童医院相继装机，浙江儿童医院已经完成了近百例的胸部手术。截至2020年10月，全球共安装达芬奇手术机器人系统共5764台，北美地区最多，并已成功完成前列腺切除、心脏外科手术、小儿胆总管囊肿切除等各种手术超过700余万例。中国大陆已装机近180台，共有1700余名医生具有达芬奇手术机器人系统操作资格，其中能够从事小儿外科手术的医院有二十余家，积累的病例数位于世界的前列。世界范围内小儿机器人手术起步并不

晚,但因受到诸多因素的影响,其发展落后于成人外科,最大障碍是机器成本与社会效益、器械直径与儿童体腔空间小、学习曲线与技术难度的矛盾等。达芬奇手术机器人的制造商建议每个端口之间的距离为8cm,这在新生儿病例中是不可能实现的。尽管如此,小儿外科医生们发挥智慧共同克服了这一技术难点,在每个Trocar之间使用5cm甚至更短的间隔,并已经在小婴儿甚至新生儿身上进行了多种手术,没有遇到明显的问题^[11]。

如同成人外科一样,小儿泌尿外科是机器人手术应用最多的领域,其中肾盂成形术是最常见的小儿机器人泌尿外科手术^[18-19],其次是输尿管再植术、阑尾膀胱造口术及膀胱扩大术等重建手术^[20-24]。机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(RALP)是迄今为止在儿科人群中最常见的手术,也是唯一一种结果至少可以与开腹或腹腔镜技术相媲美的手术,并已在体重小于10kg的婴儿中成功开展^[18, 25-26]。美国过去20年的趋势表明,肾盂成形术是小儿外科机器人手术中应用最多的重建泌尿外科手术,并且已超过开放手术成为首选方法。中国临床病例资料多,应重点关注多中心前瞻性随机对照研究(Randomized control trial, RCT),以便形成自己的证据。小儿机器人消化道外科手术是最先开展的领域,从胃底折叠术到胆总管囊肿和胆道闭锁Kasai手术^[6, 10, 27-29],再到巨结肠、肛门闭锁手术等^[30-33],机器人手术使胆道和肠道吻合变得更加容易,盆底直肠解剖更精准,术中和术后并发症更少,主刀医生的操作体验明显提升。但这些都是基于小样本回顾性研究得出的结果,未来需要多中心、大样本对比研究证实这些优势。小儿心胸外科的机器人手术开展相对较晚,包括肺叶切除术、支气管囊肿切除术、膈疝修补术、膈肌折叠术、食管闭锁矫正术、动脉导管未闭(Patent ductus arteriosus, PDA)手术等^[34-35]。机器人手

术系统在大龄儿童肺部、心脏、膈肌等方面的手术中具备优势,但对于小儿肋间隙和胸腔而言,12mm或8mm机器人Trocar过大,限制了机器人手术系统在小儿心胸外科手术中的应用,尤其是对于<1岁的婴儿^[34]。目前单孔达芬奇(SP)及5mm达芬奇设备均已在海外投入应用,期待更小的机器人系统和机械的诞生。达芬奇机器人在成人恶性肿瘤中的应用安全、可行、有效,与腹腔镜及开腹手术具有类似的肿瘤学结果。而小儿肿瘤的机器人手术刚刚起步,需要积累病例和数据,进而为临床治疗提供参考依据。

2 小儿机器人手术适应证的演变

机器人手术在小儿外科的适应证与小儿腹腔镜和胸腔镜类似,但应用范围受到下列因素的影响:①机器人升级换代:如第1代、第2代机器人对较复杂的手术操作非常困难,如胆总管囊肿切除术和食管手术等,故不主张应用机器人手术系统^[12];②费用因素:如小儿腹股沟斜疝、阑尾切除术,虽然机器人操作将更加完美,但“疾病-费用比”差距太大,故不适合机器人手术;③年龄因素:基于成年人开发的设备和器械在大龄患儿中的应用无障碍,但在婴幼儿特别是新生儿中应用存在争议^[36],目前国外多数专家认为体重>15kg、年龄>2岁患儿实施机器人手术是安全的^[37];④未来小儿专用机器人的诞生:这将使得其适应证更加广泛。总之,小儿外科机器人手术的适应证是一个不断变化、发展的过程,选择机器人手术需要综合考虑手术效果与经济成本,即卫生经济学价值^[11, 38]。

3 机器人手术系统的劣势及其改进意见

目前,达芬奇机器人手术系统仍有很多

问题亟待解决：①最明显的缺点是缺少触觉反馈：医生初始打结易断线，夹持组织易损伤，这需要不断地学习，可通过手感经验和视觉反馈弥补；②机器准备和连接时间长：初始时间为30~60min，反复磨合后可降至15~20min；③费用高：包括将维修费折算成的开机费1万人民币左右、一次性机器臂套费用和有次数限制使用的器械费用；④缺乏儿童专用的机器人手术系统和器械。这些是未来机器人改进和研发需要解决的主要问题。机器人手术时间长，麻醉医师与患儿接触受到限制，使小儿手术麻醉风险更大^[39]；另外气腹对小儿的呼吸力学和血流动力学的影响更明显^[40]，若临床经验不足，则机器人手术时间会更长，可进一步加重CO₂的负面生理影响^[41]，期待未来设计的临床研究可综合量化评估机器人手术的优势及麻醉手术时间长、手术费用高等劣势。有关培训问题，目前我国仅有香港中文大学威尔士亲王医院、上海长海医院和北京解放军总医院三家达芬奇手术机器人培训中心，未来可能需要建立更多的培训基地，以帮助外科医生更快、更好地掌握这一技能。

4 机器人小儿外科手术的未來预期

达芬奇机器人手术的优势之一是在较小空间内完成精细、高难度操作。小儿组织脆嫩，体腔狭小，客观上要求手术操作更精准、更轻柔。因此，早在2004年美国医生Kant A J等^[42]撰文指出，最有前景的机器人手术是小儿外科手术。基于目前的机器人手术平台，2007年香港医生Yeung等通过模拟技术研究发现，随着操作空间的减小，机器人手术操作受限越明显。然而基于患者的临床研究并不支持这一观点，2014年法国临床研究显示，15kg体重以上患儿和15kg

体重以下患儿的机器人手术效果无差异，故体重并不影响手术疗效，但需要手术者设计好患者的体位和腹腔穿刺器位置^[43]。目前标准化的机器人手术平台及手术器械依据成人进行研发，并不适合于新生儿手术。虽然从世界范围来看，新生儿手术在泌外科、普外科、胸外科等均有报道，但我们绝不能认为手术患儿年龄（或体重）越小，所需操作水平越高。随着研发的进一步深入，儿外科医生应积极参与机器人智能学习、数据控制和更小手术机械的开发。谷歌与强生公司联手创办Verb Surgical，旨在建立一个基于手术机器人和手术耗材等方面的综合外科手术平台，让外科医生能够自由开展微创手术。美国密歇根大学研发的FlexDex手术机器臂是一种由外科医生手持操作的简化版机器臂，它保持了外科手术机器人操作便捷的功能，并明显降低了成本。目前，国产外科手术机器人项目的研发及产业化已被纳入《中国制造2025》规划。其中，由科研机构领军研发的项目，包括天津大学与中南大学等联合研发的妙手手术机器人、由北京天智航医疗科技股份有限公司生产的天玑骨科手术机器人，为科研成果的杰出代表。未来小儿专用机器人和器械的出现是确保婴幼儿及新生儿手术安全、高效完成的关键。正如腹腔镜的发展一样，小儿机器人也必将迎来自己的黄金时代。

5 结语

小儿外科达芬奇机器人手术几乎与成人外科同时起步，前十年发展明显落后于成人，近十年，特别是近五年，随着儿童中心装机数量的不断增加，从事小儿机器人手术的医生和接受机器人手术的患儿明显增多，并涉及到小儿外科的各个亚专科，患儿的手术年龄也从大龄

儿童到刚出生的新生儿。由于目前达芬奇机器人手术系统是基于成人开发的，机器人手术不能完全取代腹腔镜，故期待小儿专用机器人的诞生，同时也期待更多的临床研究为小儿机器人手术的开展提供可靠的临床证据。

参考文献

- [1] 张乔治. 达芬奇手术机器人系统及其应用[J]. 医疗装备, 2016, 29(9): 197-198.
- [2] Gutt C N, Markus B, Kim Z G, et al. Early experiences of robotic surgery in children[J]. *Surg Endosc*, 2002, 16(7): 1083-1086.
- [3] Fard M J, Pandya A K, Chinnam R B, et al. Distance-based time series classification approach for task recognition with application in surgical robot autonomy[J]. *Int J Med Robot*, 2017. DOI: 10.1002/rcs.1766.
- [4] Najarian S, Fallahnezhad M, Afshari E. Advances in medical robotic systems with specific applications in surgery-a review[J]. *J Med Eng Technol*, 2011, 35(1): 19-33.
- [5] Ruurda J P, Broeders I A, Pulles B, et al. Manual robot assisted endoscopic suturing: time-action analysis in an experimental model[J]. *Surg Endosc*, 2004, 18(8): 1249-1252.
- [6] Meininger D D, Byhahn C, Heller K, et al. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child[J]. *Surg Endosc*, 2001, 15(11): 1360.
- [7] Gettman M T, Neururer R, Bartsch G, et al. Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty performed using the da Vinci robotic system[J]. *Urology*, 2002, 60(3): 509-513.
- [8] Le Bret E, Papadatos S, Folliguet T, et al. Interruption of patent ductus arteriosus in children: robotically assisted versus videothoracoscopic surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002, 123(5): 973-976.
- [9] Peters C A. Pediatric robotic-assisted surgery: too early an assessment?[J]. *Pediatrics*, 2009, 124(6): 1680-1681.
- [10] Woo R, Le D, Albanese C T, et al. Robot-assisted laparoscopic resection of a type I choledochal cyst in a child[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2006, 16(2): 179-183.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 杨明, 高长青. 机器人微创心脏手术的应用现状[J]. *国际外科学杂志*, 2011, 38(12): 825-828.
- [14] 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.
- [15] 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*, 2016, 15(2): 137-139.
- [16] 常晓盼, 汤绍涛, 曹国庆, 等. 机器人辅助肛门成形术治疗先天性肛门闭锁9例[J]. *中国微创外科杂志*, 2018, 18(6): 549-553.
- [17] 周辉霞, 曹华林. 机器人辅助腹腔镜手术在小儿泌尿外科的应用与现状[J]. *中华腔镜外科杂志(电子版)*, 2018, 11(2): 72-76.
- [18] Avery D I, Herbst K W, Lendvay T S, et al. Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty: Multi-institutional experience in infants[J]. *J Pediatr Urol*, 2015, 11(3): 131-139.
- [19] Khoder W Y, Waidelich R, Ghamdi A, et al. A prospective randomised comparison between the transperitoneal and retroperitoneoscopic approaches for robotic-assisted pyeloplasty in a single surgeon, single centre study[J]. *J Robot Surg*, 2018, 12(1): 131-137.
- [20] Grimsby G M, Dwyer M E, Jacobs M A, et al. Multi-institutional review of outcomes of robot-assisted laparoscopic extravesical ureteral reimplantation[J]. *J Urol*, 2015, 193(5 Suppl): 1791-1795.
- [21] Herz D, Fuchs M, Todd A, et al. Robot-assisted laparoscopic extravesical ureteral reimplant: a critical look at surgical outcomes[J]. *J Pediatr Urol*, 2016, 12(6): 401-402.
- [22] Pedraza R, Weiser A, Franco I. Laparoscopic appendicovesicostomy (Mitrofanoff procedure) in a child using the da Vinci robotic system[J]. *J Urol*, 2004, 171(4): 1652-1653.
- [23] Gundeti M S, Eng M K, Reynolds W S, et al. Pediatric robotic-assisted laparoscopic augmentation

- ileocystoplasty and Mitrofanoff appendicovesicostomy: complete intracorporeal-initial case report[J]. *Urology*, 2008, 72(5): 1144–1147.
- [24] Murthy P, Cohn J A, Selig R B, et al. Robot-assisted laparoscopic augmentation ileocystoplasty and Mitrofanoff appendicovesicostomy in children: updated interim results[J]. *Eur Urol*, 2015, 68(6): 1069–1075.
- [25] Cundy T P, Harling L, Hughes-Hallett A, et al. Meta-analysis of robot-assisted vs conventional laparoscopic and open pyeloplasty in children[J]. *BJU Int*, 2014, 114(4): 582–594.
- [26] Subramaniam R. Current use of and indications for robot-assisted surgery in paediatric urology[J]. *Eur Urol Focus*, 2018, 4(5): 662–664.
- [27] XIE X, LI K, WANG J, et al. Comparison of pediatric choledochal cyst excisions with open procedures, laparoscopic procedures and robot-assisted procedures: a retrospective study[J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(7): 3223–3231.
- [28] CHI S Q, CAO G Q, LI S, et al. Outcomes in robotic versus laparoscopic-assisted choledochal cyst excision and hepaticojejunostomy in children[J]. *Surg Endosc*, 2020.DOI: 10.1007/s00464-020-07981-y.
- [29] Esteves E, Clemente N E, Ottaiano N M, et al. Laparoscopic Kasai portoenterostomy for biliary atresia[J]. *Pediatr Surg Int*, 2002, 18(8): 737–740.
- [30] Hebra A, Smith V A, Leshner A P. Robotic Swenson pull-through for Hirschsprung's disease in infants[J]. *Am Surg*, 2011, 77(7): 937–941.
- [31] Pini P A, Arnoldi R, Dusio M P, et al. Totally robotic soave pull-through procedure for Hirschsprung's disease: lessons learned from 11 consecutive pediatric patients[J]. *Pediatr Surg Int*, 2020, 36(2): 209–218.
- [32] Albassam A, Gado A, Mallick M S, et al. Robotic-assisted anorectal pull-through for anorectal malformations[J]. *J Pediatr Surg*, 2011, 46(9): 1794–1797.
- [33] Ruiz M R, Kalfa N, Allal H. Advantages of robot-assisted surgery in anorectal malformations: report of a case[J]. *J Minim Access Surg*, 2016, 12(2): 176–178.
- [34] Ballouhey Q, Villemagne T, Cros J, et al. Assessment of paediatric thoracic robotic surgery[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2015, 20(3): 300–303.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Esposito C, Masieri L, Castagnetti M, et al. Current status of pediatric robot-assisted surgery in Italy: epidemiologic National Survey and Future Directions[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2020.DOI: 10.1089/lap.2019.0516.
- [38] Blatnik J A, Ponsky T A. Advances in minimally invasive surgery in pediatrics[J]. *Curr Gastroenterol Rep*, 2010, 12(3): 211–214.
- [39] Molinaro F, Krasniqi P, Scolletta S, et al. Considerations regarding pain management and anesthesiological aspects in pediatric patients undergoing minimally invasive surgery: robotic vs laparoscopic-thoracoscopic approach[J]. *J Robot Surg*, 2020, 14(3): 423–430.
- [40] Villanueva J, Killian M, Chaudhry R. Robotic urologic surgery in the infant: a review[J]. *Curr Urol Rep*, 2019, 20(7): 35.
- [41] Mariano E R, Furukawa L, Woo R K, et al. Anesthetic concerns for robot-assisted laparoscopy in an infant[J]. *Anesth Analg*, 2004, 99(6): 1665–1667.
- [42] Kant A J, Klein M D, Langenburg S E. Robotics in pediatric surgery: perspectives for imaging[J]. *Pediatr Radiol*, 2004, 34(6): 454–461.
- [43] Ballouhey Q, Villemagne T, Cros J, et al. A comparison of robotic surgery in children weighing above and below 15.0 kg: size does not affect surgery success[J]. *Surg Endosc*, 2015, 29(9): 2643–2650.