

·述评·

机器人手术在小儿外科领域的应用现状

张书豪 高志刚 钊金法 王金湖 应力阳
谭 征 陈光杰 陶 畅 舒 强



全文二维码



开放科学码

【摘要】 腹腔镜手术和胸腔镜手术在小儿外科领域发展迅速,部分情况下甚至已经取代开腹手术和开胸手术。尽管腔镜手术后康复快且伤口瘢痕小,但受到腔镜设备操作精度、灵活性以及二维手术视野的限制,腔镜手术并没有在复杂的器官重建手术中得到广泛应用。儿童患者组织脆弱和有限的手术操作空间对微创手术提出了更大的挑战。2001 年,儿童机器人手术首次被报道,其仿真手腕机械臂、3D 手术视野、7 个自由度旋转以及震颤过滤弥补了腔镜手术的不足。之后二十年间,机器人手术在小儿外科领域得到了广泛应用。本文阐述机器人手术在小儿普外科、泌尿外科以及心胸外科的应用现状及其较传统手术方式的优劣。

【关键词】 机器人手术;腹腔镜检查;胸腔镜检查;泌尿外科手术;胸外科手术;外科手术/普通外科学

【中图分类号】 R726 R726.1

Current applications of robotic procedures in pediatric surgery. Zhang Shuhao, Gao Zhigang, Tou Jinfa, Wang Jinhu, Ying Liyang, Tan Zheng, Chen Guangjie, Tao Chang, Shu Qiang. Affiliated Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, National Clinical Research Center for Children's Health, Hangzhou 310058, China. Corresponding author: Shu Qiang, Email: shuqiang@zju.edu.cn

【Abstract】 Laparoscopy and thoracoscopy have developed so rapidly within the field of pediatric surgery as to even replace open surgery in some situations. Although mini-invasive surgery offers minimal surgical scars and shorter hospital stays, widespread use in complex organic reconstruction is hindered due to the drawbacks of device accuracy, poor dexterity with laparoscopic instruments and two-dimensional vision. Especially in children, fragile tissues and limited operating space pose huge challenges to mini-invasive surgery. First reported in 2001, pediatric robotic surgery has overcome many obstacles of mini-invasive surgery with its 4th arm for retraction, 3-D visualization, 7-degree range of motion and tremor elimination. During the ensuing two decades, robotic surgery developed rapidly. This review summarized current applications and its superiorities of pediatric robotic surgery in general surgery, urology and cardiothoracic surgery.

【Key words】 Robotic Surgical Procedures; Laparoscopy; Thoracoscopy; Urologic Surgical Procedures; Thoracic Surgical Procedures; Surgical Procedures; Operative/General Surgery

与传统腔镜手术一样,机器人手术有术后疼痛轻、住院时间短、恢复快且伤口小的优势。此外,机器人具备仿真手腕机械臂、3D 手术视野、7 个自由度旋转以及震颤过滤等特点,能够帮助外科医生完成更精细的缝合和更精准的切除手术。因此,机器人应用于复杂重建性手术具有独特的优势,如泌尿外科的肾盂成形术、输尿管再植术、膀胱扩大成形术、可控性尿流改道术;胃肠及肝胆外科的改良胃底折叠术、食管裂孔疝修补术以及胆肠循环改造手术;胸外科的纵隔肿瘤切除术、隔离肺切除术等。而在传统腔镜下完成这些复杂手术,即使对于腔镜手术经验丰富的医生来说仍然极具挑战。

二十多年前,微创外科技术被初步引入小儿外科时遭受了众多质疑,原因包括:在狭窄空间内操作的困难、微创器械与儿童体积小的矛盾以及较传统开放手术费用昂贵等。如今,机器人手术正在经历同样的质

DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.08.001

基金项目:浙江省腹腔镜脏器微创诊治临床医学研究(编号:01492-02)

作者单位:浙江大学医学院附属儿童医院(浙江省杭州市,310000)

通信作者:舒强,Email:shuqiang@zju.edu.cn

疑。近年来,随着机器人手术器械的不断改进以及对儿童复杂先天畸形认识的深入,机器人在复杂重建性手术中的应用(如胆总管囊肿根治术、输尿管再植术等)逐渐受到越来越多外科医生的青睐以及患者家属的欢迎。现就机器人在小儿普外科、泌尿外科以及心胸外科手术中的应用现状及其优劣势进行评述。

一、机器人在小儿泌尿外科手术中的应用

机器人应用于儿童泌尿外科手术主要包括:肾盂成形术、输尿管再植术、完全和部分肾切除术以及膀胱扩大术等。Cundy^[1]对2003—2016年施行的3 688例泌尿外科机器人手术进行分类,其中肾盂成形术最为常见($n=1\,923$),其后依次为输尿管再植术($n=1\,120$)、半肾切除术($n=136$)、肾切除术或肾输尿管切除术($n=117$)。

小儿外科领域开展的第一例机器人手术为2002年报道的机器人辅助肾盂成形术(robot-assisted laparoscopic pyeloplasty, RALP)^[2]。此后RALP在小儿外科得到广泛开展,其不但具备腔镜手术的所有优势,且学习曲线短,既往文献报道RALP的成功率为78%~100%,其中绝大多数文献报道成功率在90%以上^[3]。Avery^[4]报道在60例小于12月龄患者中行RALP的成功率为91%,术后并发症发生率为11%。与腹腔镜肾盂成形术(laparoscopic pyeloplasty, LP)相比,RALP的并发症发生率更低($OR=0.56, 95\% CI: 0.37 \sim 0.84, P=0.005$),手术成功率更高($OR=2.76, 95\% CI: 1.30 \sim 5.88, P=0.008$),手术时间更短($P=0.003$),住院时间也缩短了1.2 d($P=0.003$)^[5]。谢华等^[6]对15例RALP和24例LP进行了比较研究,发现RALP虽未明显缩短手术时间和术后住院时间,但是显著缩短了术中缝合时间,同时在游离、修裁肾盂输尿管连接部组织及留置DJ管上有较大优势。同年,北京八一儿童医院刘德鸿^[7]总结了31例RALP的经验,发现机器人手术出血量更少,机械臂动作精细、稳定,大大降低了腔内操作的难度。但是对于年龄 ≤ 2 个月的患者,尤其是新生儿,应严格把握机器人手术的适应证,综合考虑手术医生的技术能力以及麻醉、监护和管理因素。诸多研究证明了儿童RALP的可行性、安全性和有效性,是目前已有直接证据表明可与开腹或腹腔镜手术相媲美的儿童机器人手术,也是迄今为止开展例数最多的儿童机器人手术。

机器人辅助输尿管再植术(robot-assisted laparoscopic ureteral reimplantation, RALUR)的手术量也在逐年上升,其比例从2000—2012年不足1%上升到2016年的6%^[8]。目前该手术的并发症发生率为0%~12.5%^[8];文献报道RALUR总成功率为77%~98%,其中单侧成功率为92%~100%,双侧成功率为72%~88%^[9]。黄轶晨^[9]报道了11例机器人辅助下Lich-Gregoir手术,无一例中转开腹手术,单侧手术平均时间为152(132~175) min,双侧手术平均时间为257(249~264) min,仅1例术后出现短期尿潴留,在手术时间、手术成功率以及并发症的控制上均达到国际水平。周辉霞^[10]报道21例RALUR治疗儿童梗阻性巨输尿管,术中及术后均无严重并发症,手术成功率100%,作者认为机器人手术对于输尿管的分离、裁剪与缝合更加精确,能避免输尿管、周围血管及神经丛的损伤,从而减少术后尿潴留等并发症的发生。尽管RALUR已经在泌尿外科领域得到了广泛应用,但是较传统开放手术,RALUR的远期疗效仍需要多中心、长时间的随访研究来证实。

2019年,美国一项研究统计了既往10年间569例肾切除术,结果显示在其15.8%的微创手术中,5.8%为机器人手术,微创手术比例从2006年的8%增加到了2015年的29%^[11]。目前已报道1例11月龄、体重10.7 kg的患者接受机器人辅助肾切除术。辛辛那提儿童医学中心在2014年将8例腹腔镜辅助和24例机器人辅助的肾输尿管切除术进行对比研究,发现机器人手术时间更长[227(111~362) min vs. 174(74~288) min, $P=0.028$],但机器人手术的术后并发症发生率(8.3%)低于腹腔镜手术(12.5%)^[12]。2019年,辛辛那提儿童医学中心联合阿萨夫哈罗菲医疗中心再次比较了腹腔镜和机器人辅助肾切除术,发现尽管机器人手术术后恢复更快、引流管留置时间更短,但是相较于腹腔镜手术,手术时间[190(159~355) min vs. 256(163~458) min]^[13]依然更长。总的来看,泌尿外科机器人手术在手术时间上虽未明显优于腹腔镜手术,但是在控制术后并发症以及手术成功率上有一定的优势;并且,得益于机器人放大的3D手术视野和灵活的机械臂,术中主刀医师对于需要精细解剖和缝合的复杂重建性手术将更加得心应手。

二、机器人在小儿普外科手术中的应用

机器人手术在小儿普外科并没有达到其在小儿泌尿外科的应用规模。目前开展的儿童普外科领域机器人手术包括肝切除术、胆总管囊肿切除术、胃底折叠术、巨结肠根治术、肛门闭锁矫治术等。其中,胃底折

叠术是开展数量较多的儿童普外科机器人手术。

第一例儿童机器人胃底折叠术(robot-assisted fundoplication, RAF)由 Meiningner^[14]于2000年7月完成,此后该手术得到迅速发展。2013年,一项比较RAF和腹腔镜胃底折叠术(laparoscopy-assisted fundoplication, LAF)的研究发现,两种术式在手术时间、住院时间以及中转开腹手术的比例上无明显差异,且术中及术后并发症发生率也没有差异^[15]。次年,黄格元^[16]报道了9例行RAF的患者,尽管该术式在手术时间和疗效方面没有显著优势,但是RAF对于胃食管连接处组织的分离、解剖和缝合更加精细。总的看来,儿童机器人胃底折叠术是安全可行的,与腹腔镜手术效果相当。然而,由于昂贵的手术费用,机器人在胃底折叠术中应用的合理性仍然受到质疑。机器人手术对有胃造口史、既往腹部手术导致粘连或初次胃底折叠术失败的患者,尤其是合并神经功能损伤的患者具有显著优势^[17]。既往胃造口术使得胃固定并远离膈肌,这在一定程度上限制了胃底的活动,无法完成360°Nissen折叠,并导致胃造口部位紧张而引起脱位。借助机器人则可以完成高质量的缝合修复、食管固定、食管精细切除以及膈食管韧带的保护,从而获得充分折叠而不影响胃造口^[18]。这对患有神经功能损伤的儿童尤为重要,因为这部分患者有较高的包绕失败率和其他胃底折叠术后并发症发生率,包括气胸、肝静脉撕裂、胃出口梗阻、空肠穿孔、脓毒症、水电解质失衡、误吸和小肠梗阻^[19]。

第一例机器人胆总管囊肿根治术(robot-assisted surgery for choledochal cysts, RACC)由Woo^[20]于2006年报道。之后,陆续有文献报道RACC的系列研究。Chang^[21]于2012年报道14例RACC,患者最小体重仅7 kg,第1例术中中转开腹手术,第2例和第3例出现并发症,经过3例的学习曲线后,其余患者均顺利完成手术。随后,Alizai^[22]于2014年报道了27例RACC,其中5例中转开腹手术,1例出现大网膜疝、吻合口狭窄以及胆瘘,但患者住院时间显著缩短。Kim^[23]对机器人手术和传统开腹手术治疗胆总管囊肿进行对比研究,发现尽管机器人手术时间更长,但机器人手术对并发症的控制已经与开腹手术相差无几,手术时间延长是由于机器人需要一定的装机时间。机器人手术系统能够将三维手术视野放大10~15倍,还能过滤震动而获得稳定的操作视野。对于胆总管囊肿根治术这类需要精细解剖,并且要在狭窄的解剖空间内进行大量缝合的手术而言,其优势更为明显,主刀医生对于囊肿剥离和胆肠吻合的满意度得到了明显提高。从目前的经验来看,机器人系统对于囊肿炎症导致组织粘连严重、吻合口直径较小、囊肿后壁坏疽穿孔或者梭形胆总管囊肿具有一定的优势,精细的解剖和缝合可减少术中出血量,降低术后吻合口狭窄的风险。近两年来,国内外均有关于机器人手术治疗胆总管囊肿的大样本病例报道,在手术并发症发生率及术后恢复时间上均明显优于传统腹腔镜手术(表1)。总之,机器人手术治疗胆总管囊肿对囊肿剥离创面的损伤小,术后腹腔引流液少,术后进食时间和出院时间均更早,机器人手术使得胆肠吻合变得更加容易,是一种有效治疗胆总管囊肿的手术方式。

表1 2019—2020年机器人手术治疗先天性胆总管囊肿的病例报道

Table 1 Previously reported robotic surgery for congenital choledochal cysts from 2019 to 2020

第一作者	年份	国家	术式	型号	病例数	年龄(月)	手术时间(min)	住院时间(d)	并发症发生率(%)
Pham HD ^[42]	2019	Vietnam	机器人	Da Vinci Si	39	40.2(5~108)	192.7(15~330)	5(4~7)	0.00
Chi S ^[43]	2020	China	机器人	Da Vinci Si	70	34.0±27.71	229.5(198.0~251.0)	6.94±1.21	4.30
			腹腔镜		70	36.21±32.80	172.0(157.3~186.8)	7.91±1.47	30.00
Nazki S ^[44]	2020	India	机器人	Da Vinci Si	19	84(30~168)	170±40	-	-
Koga H ^[45]	2019	Japan	机器人	Da Vinci Si	10	67.2±40.8	618±96	7.4±1.0	0.00
			腹腔镜		27	5.2±3.8	654±150	11.0±2.4	3.70
Xie XL ^[46]	2020	China	机器人	Da Vinci Si	41	48.0(30.5~77.5)	180.61±14.07	7.55±1.00	4.88
			腹腔镜		104	28.00(8.75~53.00)	212.79±34.94	7.56±1.08	8.65
Xie XL ^[47]	2020	China	机器人	Da Vinci Si	10	69.50(62.25~84.50)	218.70±11.85	7.92±1.14	0.00

机器人 Kasai 手术治疗胆道闭锁的报道相对较少。Meehan^[24]在 2007 年曾报道 2 例机器人 Kasai 手术,患者年龄均为 6 周,体重分别为 4.6 kg 和 4.1 kg。虽然机器人 Kasai 手术的胆肠吻合更加精细,但是手术时间明显延长(超过 6 h)。同年,Dutta^[25]比较了 3 例机器人 Kasai 手术和 8 例腹腔镜 Kasai 手术,虽然在胆肠吻合上机器人器械的灵活性显著优于腹腔镜,但是手术疗效主要还是由胆道闭锁的类型以及肝硬化的程度决定。此后,国内外均没有关于机器人手术治疗胆道闭锁的报道。因此,尽管机器人在纤维块剥除和胆肠吻合方面表现出明显的优势,但推荐机器人 Kasai 手术仍有待商榷,需要更多的对比研究。儿童机器人肝切除手术鲜有报道,中国人民解放军总医院 Chen D^[26]曾报道 1 例机器人辅助下保留胆囊的肝母细胞瘤 S5 段肝叶切除术,但这类手术仅限于特定的患者,该例患者肿块大小仅 46 mm × 26 mm × 58 mm,且局限于肝脏 S5 段。机器人手术比传统内窥镜手术更清晰灵活,操作更准确,造成的损伤更小,在处理肝脏大血管以及组织精细解剖上具有显著优势。随着技术的不断进步和外科医生经验的积累,机器人手术在复杂肝胆手术上的适应证将越来越广。

2011 年,Hebra^[27]首次报道了 12 例机器人辅助下先天性巨结肠根治术(Swenson 术式),仅 2 例出现小肠结肠炎。机器人辅助下行先天性巨结肠 Soave 根治术由 Mattioli^[28]于 2017 年第一次报道,该研究中 3 例术后均未出现便秘及小肠结肠炎。2019 年,Prato^[29]再次报道了 11 例机器人辅助下先天性巨结肠 Soave 根治术,术后 1 例出现吻合口狭窄,1 例出现小肠结肠炎。目前来看,机器人辅助下行巨结肠根治术是安全有效的,这得益于机器人的 3D 手术视野以及灵活的机械臂,术中可以进行广泛精确的浆肌层切除,尤其适用于合并肠造瘘患者,因为肠造口显著增加了术中黏膜撕裂的风险。当然,机器人系统也适用于需要二次手术且腹腔粘连较严重的患者。除应用于先天性巨结肠外,2010 年也有过关于机器人手术治疗先天性肛门闭锁的报道,Alqahtani^[30]完成了 4 例经肛门直肠拖出术治疗先天性肛门闭锁,术中主刀医生对于瘻管解剖、手术视野以及结扎缝合的满意度明显高于传统腹腔镜手术。无论是先天性巨结肠还是肛门闭锁,未来均需要对患者的远期肠道功能进行随访,以明确机器人手术的有效性、安全性和可重复性。

三、机器人在小儿心胸外科手术中的应用

儿童心胸外科常见疾病包括先天性肺囊腺瘤样畸形、隔离肺、动脉导管未闭、食管闭锁等。开胸手术治疗上述疾病的并发症多,包括脊柱侧凸、肩部肌肉无力以及胸壁畸形等^[31]。而微创手术(胸腔镜手术、机器人辅助胸腔镜手术)具有疼痛轻、恢复快且瘢痕小等优点,是心胸外科手术发展的必然趋势。

2010 年,Durand^[32]对 7 例行机器人辅助肺叶切除术(robotic-assisted thoracic surgery, RATS)以及 11 例行胸腔镜辅助肺叶切除术(video-assisted thoracic surgery, VATS)的患者进行对比研究,发现 RATS 组手术时间明显延长,但是 VATS 组开胸率明显高于 RATS 组。此后,Arellano^[33]于 2019 年报道了 6 例机器人辅助胸腔手术,包括 3 例膈肌折叠术、2 例肺叶切除术以及 1 例支气管囊肿切除术,仅 1 例中转开胸手术。国内机器人肺叶切除术最早由李帅^[34]于 2020 年报道,由于缺乏触觉使术中牵拉肺力量过大,导致出血量较普通胸腔镜手术多,但是术中主刀医生对于肺动脉、肺静脉及支气管的游离更加容易。近年来,国内尚无机器人手术治疗儿童动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)的相关报道。Bret^[35]最早于 2001 年对 28 例胸腔镜手术和 28 例机器人手术治疗儿童 PDA 的疗效进行了比较,发现两者在住院时间和并发症发生率上没有差异,但是机器人手术时间明显延长。此后,Suematsu^[36]在 2005 年再次报道了机器人手术治疗儿童 PDA,手术时间依然延长,但是术者认为机器人能较容易且安全地对主动脉、锁骨下动脉、动脉导管或者韧带进行解剖,术中无喉返神经损伤或出血发生。总之,机器人手术在技术和安全性上具有优势,术中对于肺部和心脏组织以及大血管的解剖更加精细,是复杂心胸外科手术的选择之一。

机器人手术治疗食管闭锁鲜有报道,最早可追溯至二十一世纪初。2002 年^[37]、2003 年^[38]和 2004 年^[39]分别有学者报道了在新生仔猪上使用机器人治疗食管闭锁,尽管手术过程顺利,但仅限于动物实验。此后,Ballouhey^[40]于 2014 年报道了 3 例机器人手术治疗食管闭锁,3 例平均体重 3.1 kg,其中 2 例转行开胸手术,仅 1 例完成机器人手术,手术时间 195 min。在新生儿中行机器人手术,操作空间狭小,且在新生儿肋间隙置入 8 mm Trocar 相对困难是中转开胸手术的主要原因。国内最早报道机器人手术治疗食管闭锁是在 2020 年 5 月,汤绍涛^[41]完成了国内首例机器人 I 型食管闭锁矫治术,术后随访 3 个月,患者恢复良好。目前,国内外均没有机器人手术治疗新生儿食管闭锁的大样本病例报道,与肺部手术一样,胸腔狭小是其最大的限制。

首先,机器人手术器械大,8 mm直径的 Trocar 对于儿童肋间隙和胸腔而言体积过大,尤其是对于<1 岁的婴儿;其次,机器人使用说明中推荐 2 个 Trocar 之间距离至少要超过 5 cm 以避免机械臂碰撞,但是较小的胸腔同时容纳镜头、Trocar 以及机械臂后,很难保证不发生碰撞。上述问题限制了机器人在新生儿心胸外科手术中的广泛应用。

总之,机器人手术在儿童普外科、泌尿外科和心胸外科领域是一项安全可行且值得期许的新技术,对于复杂的胃肠道手术和器官重建手术,机器人手术有着显著的优势。但是,在机器人手术常规应用于小儿外科甚至新生儿外科之前,这项技术仍存在很多缺点,包括高额的费用、缺乏触觉反馈以及相对儿童来说手术器械体积较大等。随着技术的不断改进和优化以及人工智能与信息传输技术的进步,机器人手术的优势将会越来越明显。目前新一代机器人较上一代机器人装机速度显著提升,加上单孔达芬奇和 5 mm Trocar 的应用,机器人手术在小儿外科的应用将越来越广泛。

参考文献

- 1 Cundy TP,Harley SJD,Marcus HJ,et al. Global trends in paediatric robot-assisted urological surgery:a bibliometric and Progressive Scholarly Acceptance analysis[J]. Journal of Robotic Surgery,2017,12(10049):1-7. DOI:10.1007/s11701-017-0703-3.
- 2 Gundeti M,Kearns J. Pediatric robotic urologic surgery-2014[J]. Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons,2014,19(3):123. DOI:10.4103/0971-9261.136456.
- 3 Morales-López RA,Pérez-Marchán M,Pérez Brayfield M. Current concepts in pediatric robotic assisted pyeloplasty[J]. Frontiers in Pediatrics,2019,7:4. DOI:10.3389/fped.2019.00004.
- 4 Avery DI,Herbst KW,Lendvay TS,et al. Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty:Multi-institutional experience in infants[J]. J Pediatr Urol,2015,11(3):139. e1-e5. DOI:10.1016/j.jpuro.2014.11.025.
- 5 Light A,Karthikeyan S,Maruthan S,et al. Peri-operative outcomes and complications after laparoscopic vs robot-assisted dismembered pyeloplasty:a systematic review and meta-analysis[J]. BJU Int,2018,122(2):181-194. DOI:10.1111/bju.14170.
- 6 吕逸清,谢华,黄轶晨,等. 传统腹腔镜与机器人辅助腹腔镜技术在儿童肾盂成形术中的临床应用对比[J]. 中华小儿外科杂志,2019,40(1):41-44. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2019.01.009.
Lü YQ,Xie H,Huang YC,et al. Clinical analysis of conventional laparoscopic versus robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty in children[J]. Chin J Pediatr Surg,2019,40(1):41-44. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2019.01.009.
- 7 刘德鸿,周辉霞,马立飞,等. 机器人辅助腹腔镜肾盂成形术治疗小婴儿肾积水的初步经验[J]. 中华泌尿外科杂志,2019,40(1):2-7. DOI:10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2019.01.001.
Liu DH,Zhou HX,Ma LF,et al. Initial experience of robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty in the treatment of infants with ureteropelvic junction obstruction[J]. Chinese Journal of Urology,2019,40(1):2-7. DOI:10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2019.01.001.
- 8 Mink B,Koh CJ. Lessons learned over a decade of pediatric robotic ureteral reimplantation[J]. Investigative & Clinical Urology,2017,58(1):3-11. DOI:10.4111/icu.2017.58.1.3.
- 9 黄轶晨,谢华,吕逸清,等. 机器人辅助腹腔镜下 Lich-Gregoir 手术治疗儿童原发性膀胱输尿管反流[J]. 临床小儿外科杂志,2020,19(2):150-154. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.02.012.
Huang YC,Xie H,Lü YQ,et al. Preliminary experience of Lich-Gregoir robotic assisted laparoscopic ureteral reimplantation in children with primary vesicoureteral reflux[J]. J Clin Ped Sur,2020,19(2):150-154. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.02.012.
- 10 曹华林,周辉霞,马立飞,等. 机器人辅助腹腔镜输尿管再植术治疗小儿梗阻性巨输尿管的疗效[J]. 中华泌尿外科杂志,2019,40(11):801-805. DOI:10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2019.11.001.
Cao HL,Zhou HX,Ma LF,et al. Efficacy of robot-assisted laparoscopic ureteral reimplantation for primary obstructive megaureter in children[J]. Chinese Journal of Urology,2019,40(11):801-805. DOI:10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2019.11.001.
- 11 Brown CT,Sebastião YV,McLeod DJ,et al. Trends in surgical management of multicystic dysplastic kidney at USA children's hospitals[J]. J Pediatr Urol,2019,15(4):368-373. DOI:10.1016/j.jpuro.2019.04.024.
- 12 Bansal D,Cost NG,Bean CM,et al. Comparison of Pediatric robotic-assisted laparoscopic nephroureterectomy and laparoendoscopic single-site nephroureterectomy[J]. Urology,2014,83(2):438-442. DOI:10.1016/j.urology.2013.08.066.

- 13 Neheman A, Kord E, Strine AC, et al. Pediatric partial nephrectomy for upper urinary tract duplication anomalies: a comparison between different surgical approaches and techniques[J]. *Urology*, 2019, 125: 196–201. DOI: 10.1016/j.urology.2018.11.026.
- 14 Meininger DD, Byhahn C, Heller K, et al. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robot system in a child[J]. *Surgical Endoscopy*, 2001, 15(11): 1360. DOI: 10.1007/s001010051001.
- 15 Hambræus M, Arnbj Rnsson E, Anderberg M. A literature review of the outcomes after robot-assisted laparoscopic and conventional laparoscopic Nissen fundoplication for gastro-esophageal reflux disease in children[J]. *Int J Med Robot*, 2013, 9(4): 428–432. DOI: 10.1002/rcs.1517.
- 16 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. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2013.01.002.
Huang GY, Lan CL, Liu XL, et al. Da Vinci Robotic system for pediatric surgery: a report of 20 cases[J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2013, 13(1): 4–8. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2013.01.002.
- 17 Chaussy Y, Becmeur F, Lardy H, et al. Robot-assisted surgery: current status evaluation in abdominal and urological pediatric surgery[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2013, 23(6): 530–538. DOI: 10.1089/lap.2012.0192.
- 18 Margaron FC, Oiticica C, Lanning DA. Robotic-assisted laparoscopic Nissen fundoplication with gastrostomy preservation in neurologically impaired children[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2010, 20(5): 489–492. DOI: 10.1089/lap.2009.0367.
- 19 Anvari M, Allen C. Laparoscopic Nissen fundoplication: two-year comprehensive follow-up of a technique of minimal paraesophageal dissection[J]. *Annals of Surgery*, 1998, 227(1): 25. DOI: 10.1097/0000658-199801000-00004.
- 20 Woo R, Le D, Albanese CT, 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. DOI: 10.1089/lap.2006.16.179.
- 21 Chang EY, Hong YJ, Chang HK, et al. Lessons and tips from the experience of pediatric robotic choledochal cyst resection[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2012, 22(6): 609–614. DOI: 10.1089/lap.2011.0503.
- 22 Alizai NK, Dawrant MJ, Najmaldin AS. Robot-assisted resection of choledochal cysts and hepaticojunostomy in children[J]. *Pediatr Surg Int*, 2014, 30(3): 291–294. DOI: 10.1007/s00383-013-3459-5.
- 23 Kim NY, Chang EY, Hong YJ, et al. Retrospective assessment of the validity of robotic surgery in comparison to open surgery for pediatric choledochal cyst[J]. *Yonsei Med J*, 2015, 56(3): 737–743. DOI: 10.3349/ymj.2015.56.3.737.
- 24 Meehan JJ, Elliott S, Sandler A. The robotic approach to complex hepatobiliary anomalies in children: preliminary report[J]. *Journal of Pediatric Surgery*, 2007, 42(12): 2110–2114. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2007.08.040.
- 25 Dutta S, Woo R, Albanese CT. Minimal access portoenterostomy: advantages and disadvantages of standard laparoscopic and robotic techniques[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2007, 17(2): 258–264. DOI: 10.1089/lap.2006.0112.
- 26 Chen D, Wang S, Jiang Y, et al. Robot-assisted gallbladder-preserving hepatectomy for treating S5 hepatoblastoma in a child: A case report and review of the literature[J]. *World Journal of Clinical Cases*, 2019, 7(7): 872–880. DOI: 10.12998/wjcc.v7.i7.872.
- 27 Hebra A, Smith VA, Leshner AP. Robotic Swenson pull-through for Hirschsprung's disease in infants[J]. *Am Surg*, 2011, 77(7): 937–941.
- 28 Mattioli G, Pio L, Leonelli L, et al. A Provisional experience with robot-assisted soave procedure for older children with Hirschsprung disease: back to the future? [J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2017, 27(5): 546–549. DOI: 10.1089/lap.2016.0337.
- 29 Pini Prato A, Arnoldi R, Dusio MP, et al. Totally robotic soave pull-through procedure for Hirschsprung's disease: lessons learned from 11 consecutive pediatric patients[J]. *Pediatric Surgery International*, 2020, 36(2): 209–218. DOI: 10.1007/s00383-019-04593-z.
- 30 Alqahtani A, Albassam A, Zamakhshary M, et al. Robot-assisted pediatric surgery: how far can we go? [J]. *World Journal of Surgery*, 2010, 34(5): 975–978. DOI: 10.1007/s00268-010-0431-6.
- 31 Rothenberg SS. Experience with thoracoscopic lobectomy in infants and children[J]. *J Pediatr Surg*, 2003, 38(1): 102–104. DOI: 10.1089/lap.2009.0093.
- 32 Durand M, Musleh L, Vatta F, et al. Robotic lobectomy in children with severe bronchiectasis: A worthwhile new technology[J]. *J Pediatr Surg*, 2020, S0022-3468(20)30838-1. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2020.11.009.
- 33 Navarrete Arellano M, Garibay González F. Robot-assisted laparoscopic and thoracoscopic surgery: prospective series of 186 pediatric surgeries[J]. *Front Pediatr*, 2019, 7: 200. DOI: 10.3389/fped.2019.00200.
- 34 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手术的初步经验[J]. *临床小儿外科杂志*, 2020, 19

- (7):619-621,647. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.07.011.
- Li S,Tang ST,Cao GQ,et al. Preliminary experience of thoracoscopic pulmonary lobectomy using da Vinci robotic system in children[J]. J Clin Ped Sur,2020,19(7):619-621,647. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.07.011.
- 35 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. DOI:10.1067/mtc.2002.121049.
- 36 Suematsu Y,Mora BN,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):2309-2313. DOI:10.1016/j.athoracsur.2005.05.078.
- 37 Hollands CM,Dixey LN. Robotic-assisted esophagoesophagostomy[J]. J Pediatr Surg,2002,37(7):983-985. DOI:10.1053/jpsu.2002.33823.
- 38 Lorincz A,Langenburg S,Klein MD. Robotics and the pediatric surgeon[J]. Current Opinion in Pediatrics,2003,15(3):262-266. DOI:10.1097/00008480-200306000-00006.
- 39 Lorincz A,Langenburg SE,Knight CG,et al. Robotically assisted esophago-esophagostomy in newborn pigs[J]. J Pediatr Surg,2004,39(9):1386-1389. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2004.05.015.
- 40 Ballouhey Q,Villemagne T,Cros J,et al. Assessment of paediatric thoracic robotic surgery[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg,2015,20(3):300-303. DOI:10.1093/icvts/ivu406.
- 41 曹国庆,张茜,周莹,等. 机器人胸腔镜手术治疗食管闭锁:国内首例报告[J]. 中国微创外科杂志,2020,20(11):1026-1028. DOI:10.3969/j.issn.1009-6604.2020.11.016.
- Cao GQ,Zhang Q,Zhou Y,etal. Robotic surgery for esophageal atresia;the first case in China[J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery,2020,20(11):1026-1028. DOI:10.3969/j.issn.1009-6604.2020.11.016.
- 42 Pham HD,Okata Y,Vu HM,et al. Robotic-assisted surgery for choledochal cyst in children:early experience at Vietnam National Children's Hospital[J]. Pediatric Surgery International,2019,35(11):1211-1216. DOI:10.1007/s00383-019-04518-w.
- 43 Chi S,Cao G,Li S,et al. Outcomes in robotic versus laparoscopic-assisted choledochal cyst excision and hepaticojunostomy in children[J]. Surg Endosc,2020. DOI:10.1007/s00464-020-07981-y.
- 44 Nazki S,Kanojia RP,Bawa M,et al. Robotic excision of choledochal cyst with hepaticoduodenostomy (HD):report of HD technique,initial experience,and early outcome[J]. Eur J Pediatr Surg,2021,31(3):286-291. DOI:10.1055/s-0040-1713933.
- 45 Koga H,Murakami H,Ochi T,et al. Comparison of robotic versus laparoscopic hepaticojunostomy for choledochal cyst in children;a first report[J]. Pediatric Surgery International,2019,35(12):1421-1425. DOI:10.1007/s00383-019-04565-3.
- 46 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]. Surgical Endoscopy,2020,34(7):3223-3231. DOI:10.1007/s00464-020-07560-1.
- 47 Xie X,Li Y,Li K,et al. Total robot-assisted choledochal cyst excision using da Vinci surgical system in pediatrics:Report of 10 cases[J]. J Pediatr Surg,2021,56(3):553-558. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2020.07.019.

(收稿日期:2021-04-10)

本文引用格式:张书豪,高志刚,钊金法,等. 机器人手术在小儿外科领域的应用现状[J]. 临床小儿外科杂志,2021,20(8):701-707. DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.08.001.

Citing this article as: Zhang SH,Gao ZG,Tou JF,et al. Current applications of robotic procedures in pediatric surgery[J]. J Clin Ped Sur,2021,20(8):701-707. DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.08.001.

重要提示

近期,有不法分子冒充本刊编辑给作者发送关于稿件录用或者退稿转投的邮件通知,给作者造成极大困扰,也破坏了本刊办刊环境。编辑部特此提示,本刊所有稿件的处理进展,请一律通过本刊官网查看或拨打编辑部电话 0731-85356896 咨询,本刊有且只有唯一官方网址:www.jcps2002.com(http://lcxrwkzz.paperopen.com/)

本刊编辑部