

· 述评 ·

达芬奇机器人在小儿肝胆胰外科领域的应用及展望



全文二维码

胡迪 张书豪 蔡多特 章跃滨 陈青江 高志刚

浙江大学医学院附属儿童医院普外科, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 杭州 310000

通信作者: 高志刚, Email: ebwk@zju.edu.cn

【摘要】 达芬奇机器人手术系统相较传统腹腔镜技术,在软件、硬件方面均上了一个新的台阶,其在成人中的应用不仅限于胃肠外科、泌尿外科、妇科等腹腔镜技术开展良好的传统学科,也在心胸外科、口腔外科中显示出巨大的潜在优势。随着机器人手术器械的设计更加贴合儿童患者,其在小儿外科复杂性疾病治疗中的优势逐渐突显,尤其是在小儿泌尿外科,机器人技术已经在肾盂成形术、输尿管再植术等复杂疾病中得到广泛应用。但是,机器人手术在小儿普外科并没有达到其在泌尿外科的应用规模,尤其是儿童肝胆胰外科领域,这与肝胆胰的复杂解剖分离及消化道重建(特别是胰肠吻合、胆肠吻合的复杂性)有一定的关系。本文系统总结达芬奇机器人在小儿肝胆胰外科领域的应用现状并予展望。

【关键词】 机器人手术; 肝胆病; 胰腺; 外科手术; 儿童

基金项目: 浙江省“领雁”研发攻关计划项目(2023C3029); 浙江省腹腔镜脏器微创诊治临床医学研究(01492-02); 浙江省医药卫生科技计划项目(2017KY441); 浙江省卫生健康科技计划(2022RC201)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203080-001

Current applications and future prospects of da Vinci robot in pediatric hepatobiliary and pancreatic surgery

Hu Di, Zhang Shuhao, Cai Duote, Zhang Yuebin, Chen Qingjiang, Gao Zhigang

Department of General Surgery, Affiliated Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, National Clinical Research Center for Children's Health, Hangzhou 310000, China

Corresponding author: Gao Zhigang, Email: ebwk@zju.edu.cn

【Abstract】 As compared with traditional laparoscopic techniques, both software and hardware of da Vinci robot have upgraded constantly. Its widespread applications in adults are not only limited to gastrointestinal surgery, urology and gynecology, but also shows great promises in cardiothoracic and oral surgery. With the improved suitability of surgical instruments for children, it offers great advantages in the treatment of complex pediatric diseases. Especially in pediatric urology, robotics has been widely applied for pyeloplasty and ureteral re-plantation. However, robotic application in pediatric general surgery has failed to match the popularity of urology and hepatobiliary pancreatic surgery. The latter is closely correlated with complex anatomy and reconstruction of digestive tracts, such as pancreaticoenterostomy and bilioenterostomy. This review summarized current applications and future prospects of da Vinci robot in pediatric hepatobiliary pancreatic surgery.

【Key words】 Robotic Surgical Procedures; Liver System Diseases; Pancreas; Surgical Procedures, Operative; Child

Fund program: Bellwethers Project of Zhejiang Province (2023C3029); Clinical Medical Research on Mini-invasive Diagnosis and Treatment of Abdominal Organs in Zhejiang Province (01492-02); Zhejiang Provincial Medical and Health Science & Technology Program Project (2017KY441); Zhejiang Provincial Health Science & Technology Program (2022RC201)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203080-001

随着手术器械以及外科手术技术的不断改进,目前大多数儿童医疗中心已开展腹腔镜微创手术。相比于传统开腹手术,腹腔镜微创手术在减少围手术期并发症和促进术后康复方面更具优势。与腔镜手术相

比,达芬奇机器人具备仿真手腕机械臂、三维放大手术视野、7 个自由度旋转以及震颤过滤等特点,能够实现更精细的操作、更稳定的控制以及更清晰的深部视野暴露。

近年来,达芬奇机器人手术系统已升级进入 Xi 系统时代,器械设计更加适合儿童,机器人手术技术在处理胆肠吻合、深部胰腺解剖以及肝脏血管解剖上明显优于腹腔镜技术;与此同时腹腔镜小儿肝胆胰手术技术也更加成熟,这为机器人手术在小儿肝胆胰外科领域的应用奠定了基础。本文系统回顾达芬奇机器人在小儿肝胆胰外科领域的应用现状并予展望。

一、机器人手术系统在胆总管囊肿手术中的应用

胆总管囊肿是儿童肝胆胰外科领域较为复杂的手术之一,目前微创手术治疗胆总管囊肿已逐渐取代传统开腹手术,而在一些有条件的儿童医疗中心,机器人辅助胆总管囊肿根治术(robotic-assisted choledochal cyst resection, RACC)越来越受到小儿外科医师的青睐。Woo 等^[1]和 Meehan 等^[2]分别于 2006 年和 2007 年报道了最早一批接受 RACC 的儿童患者,他们认为与传统腹腔镜手术相比,机器人手术在重建胆肠吻合上更加简便和安全。随后, Akaraviputh 等^[3]在 2010 年成功完成了 1 例 14 岁女童的 RACC。同年, Dawrant 等^[4]报道了 5 例 RACC,患儿最小年龄 6 个月,最低体重仅 7.6 kg,无一例出现并发症。此后机器人手术开始较多应用于胆总管囊肿的治疗。Chang 等^[5]和 Alizai 等^[6]分别于 2012 年和 2014 年报道了 14 例和 27 例 RACC,共有 6 例中转开腹手术,均因术者缺乏机器人手术经验导致。在吸取 Alizai 等^[6]手术经验的基础上, Pham 等^[7]报道了自 2006 年以来最大单中心 RACC 手术例数,术中使用了 4 个机械臂,其中右上腹 Trocar 的置入用于牵引肝脏和显露肝门部术野;右下腹 Trocar 定位于右髂前上棘上方 1~2 cm 处,以增加两个右侧机械臂之间的距离,减少机械臂之间的碰撞,避免因器械问题导致中转开腹,39 例均成功完成手术。国内张茜等^[8]最早于 2016 年报道了 3 例 RACC,2018 年以后国内 RACC 的临床研究开始快速增长,蔡多特等^[9]、池水清等^[10]、谢小龙等^[11]及董露露等^[12]分别对机器人技术与传统腹腔镜技术在胆总管囊肿根治术中的应用进行了大样本对比研究(表 1),均显示 RACC 是一项安全可行的新技术。2020 年, Xie 等^[13]率先报道了 10 例全机器人辅助胆总管囊肿根治术,患儿均在腹腔内完成空肠 Roux-en-Y 吻合,为术式改良提供了新的思路。

蔡多特等^[14]将腹腔镜下胆总管囊肿浆膜下剥离技术应用用于 RACC,减少了机器人手术中的出血等副损伤;而在直径小于 3 mm 的胆肠吻合操作中,机器人手术系统的显微视野及精细器械较腹腔镜更具优势。针对达芬奇机器人在小年龄、低体重患儿手术中受腹腔空间制约的问题,该团队创造性地将无气腹腹壁悬吊技术改良为机械臂腹壁悬吊技术,充分利用低龄儿童腹肌薄、腹壁可塑性大以及机器人操作臂稳定、Trocar 活动支点固定等优势,以 Trocar 与腹壁的接触点机械性悬吊腹壁,扩大腹腔内空间^[15];在此基础上,创新性转变机器人 Trocar 的布局思维,以脐部为顶点,灵活选择操作孔位置,形成符合儿童生理特点的“三角形”布孔法,进一步扩大了机器人器械在儿童腹腔内的可操作空间;目前已完成超过 100 台机器人胆总管囊肿根治术,患儿最小年龄 1 个月 13 天,最低体重 5.3 kg。

表 1 2021—2022 年国内机器人技术与腹腔镜技术用于胆总管囊肿根治术的大样本对比研究报道

Table 1 Large sample comparative report on domestic robot technology and laparoscopic technology from 2021 to 2022

第一作者	例数	手术时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	术中出血 [$M(Q_1, Q_3)/\bar{x} \pm s$, mL]	禁食时间 [$M(Q_1, Q_3)/\bar{x} \pm s$, d]	住院时间 ($\bar{x} \pm s$, d)	术后并发症 例数	中转开腹 例数
蔡多特等 ^[9]							
机器人手术	25	189.4 ± 35.5	5(5~10)	3.5(3~4)	8.7 ± 2.3	2	1
腹腔镜手术	19	167.1 ± 33.9	10(5~20)	4(3~4)	11.0 ± 2.5	1	1
池水清等 ^[10]							
机器人手术	85	272.3 ± 39.5	7.0 ± 1.9	3.4 ± 0.5	6.4 ± 1.2	4	/
腹腔镜手术	85	194.8 ± 22.5	30.2 ± 7.5	4.3 ± 0.7	8.3 ± 1.7	12	/
谢小龙等 ^[11]							
机器人手术	54	181.28 ± 14.07	21.85 ± 9.82	2.97 ± 0.30	7.46 ± 0.92	1	0
腹腔镜手术	118	216.14 ± 35.57	21.82 ± 11.15	3.08 ± 0.37	7.54 ± 1.08	4	6
董露露等 ^[12]							
机器人手术	21	290.13 ± 41.04	7.82 ± 2.61	3.82 ± 0.73	7.40 ± 1.15	1	/
腹腔镜手术	82	193.21 ± 26.73	11.33 ± 4.50	4.59 ± 1.27	9.71 ± 1.83	5	/

注 /:代表文献未报道

二、机器人手术系统在胆道闭锁及肝移植手术中的应用

胆道闭锁(biliary atresia, BA)是严重威胁患儿生命的小儿肝胆胰外科疾病,以往开腹 Kasai 手术是治疗 BA 的首选术式。2002 年腹腔镜 Kasai 手术逐渐用于治疗 BA,但其疗效和安全性存在争议,部分研究显示开腹手术的疗效优于腹腔镜手术^[16-18]。影响腹腔镜 Kasai 手术预后的主要因素包括:①技术难度大,学习曲线长;②部分患儿视野暴露和止血困难;③长时间手术情况下二氧化碳气腹不利于肝功能恢复;④术中电凝损伤肝门部毛细胆管,不利于术后胆汁引流^[19]。因此,目前多数学者不建议采取微创手术治疗 BA^[20-21]。腹腔镜 Kasai 手术效果的争议使得机器人 Kasai 手术的开展举步维艰。2004 年,Mariano 等^[22]首次报道 1 例 2 月龄婴儿的机器人 Kasai 手术,但该研究侧重于报道麻醉技术,未对手术细节进行描述。2007 年,Meehan 等^[2]和 Dutta 等^[23]共报道了 5 例机器人 Kasai 手术,虽然机器人器械的灵活性和三维放大视野使得肝门肠吻合更加精细,但没有直接证据表明机器人 Kasai 手术优于传统开腹手术及腹腔镜手术,且机器人手术时间明显延长,这对于患儿的手术耐受是一个极大挑战。此后,国内外均无机器人 Kasai 手术相关报道。直至 2021 年,曹国庆等^[24]报道了国内第 1 例机器人 Kasai 手术,总手术时间仅 210 min,术后随访 6 个月各项指标恢复良好;他们认为机器人手术具有肝门部暴露清楚、肝门部毛细胆管损伤轻、肝门空肠吻合简便、缝合打结自如等优势。但由于病例数不足,且远期疗效尚不明确,因此机器人 Kasai 手术的广泛开展还有待更多病例数以及更长随访时间的研究去证实。

肝移植是儿童终末期肝脏疾病的有效治疗方法,最常见适应证包括 BA、遗传代谢性疾病以及其他疾病导致的肝衰竭。2002 年法国的研究团队首次报道了 2 例腹腔镜左外叶供肝切取术,开启了肝移植的微创肝切取时代^[25]。2021 年 5 月 Troisi 等^[26]首次报道了机器人肝移植的供肝切取手术,研究共纳入 25 例机器人手术和 50 例腹腔镜手术进行对比,机器人供肝切取术组无一例术中并发症及中转开腹手术,出血量明显低于腹腔镜手术,且术后供体及患儿均恢复良好,作者认为机器人供肝切取术是一种安全可靠的肝移植微创技术。同年 7 月,Rela 等^[27]报道 1 例机器人供体单段肝切除治疗 BA 肝衰竭,术后供体和患儿均恢复良好。但目前为止,在活体供肝切取术中并没有关于机器人手术优于腹腔镜手术的更多证据,且机器人手术的成本过高,只能在部分医疗中心进行。

三、机器人手术系统在胆囊相关疾病手术中的应用

单纯切除胆囊的手术在儿童中相对少见,主要疾病包括症状性胆囊结石、镰状细胞病以及胆道运动障碍等^[28-29]。目前,腹腔镜胆囊切除术已经成为标准术式,相比于传统开腹手术,其术后外观更好、恢复更快、住院时间更短。而机器人辅助胆囊切除术(robotic-assisted cholecystectomy, RAC)的相关报道较少,国内尚无儿童 RAC 的相关报道。Gutt 等^[30]于 2002 年最早报道了 2 例应用 RAC 的儿童患者,年龄分别为 12 岁和 15 岁,手术时间分别为 150 min 和 105 min。2007 年,Klein 等^[31]报道了 18 例儿童 RAC,机器人操作时间为 (68 ± 28) min,提出机器人系统可以帮助术者更加简单地完成解剖、缝合及打结,而缺乏触觉反馈对于手术而言不是最关键的问题。同年,Meehan 等^[32]报道了 17 例 RAC,其中 1 例因胆囊床出血而中转开腹手术,作者认为,RAC 可以作为很好的机器人操作培训案例来帮助外科医师缩短机器人手术学习曲线。Alqahtani 等^[33]在 2010 年报道了 34 例 RAC,同样提到机器人手术系统缺乏触觉反馈问题的不足能被机器人的其他优势弥补,且机器人能够帮助外科医师更加舒适地完成手术。此后,诸多团队开始聚焦于机器人辅助下单孔胆囊切除术。Jones^[34]、Ahn 等^[35]、Rosales-Velderrain 等^[36]、Nolan 等^[37]和 Kulaylat 等^[38]分别报道了 16 例、5 例、14 例、10 例和 66 例机器人单孔胆囊切除术(表 2),机器人的三维立体视野以及灵活的机械臂能够克服传统单孔腹腔镜灵活性不足、手术器械易碰撞等问题,因而单孔机器人胆囊切除术大大降低了手术难度,手术时间更短、术中出血少、术后恢复快,同时兼具美观效果。

四、机器人手术系统在肝脏肿瘤手术中的应用

微创手术治疗儿童肝脏肿瘤的相关报道较少,机器人手术治疗儿童肝脏肿瘤的相关报道则更少。Kim 等^[39]于 2010 年报道 2 例腹腔镜肝母细胞瘤切除术,患儿肿瘤长径分别为 3.5 cm 和 2.5 cm,分别位于肝第五段及第六段。2014 年,Yada 等^[40]报道了 1 例腹腔镜肝母细胞瘤切除术,肿瘤同样位于肝第五段,且呈外生性生长。2019 年,国内报道了第 1 例机器人辅助保留胆囊的肝母细胞瘤 S5 段肝叶切除术,患儿预后良

表 2 2015—2021 年文献报道达芬奇机器人辅助下单孔胆囊切除术

Table 2 A series of reports on Da Vinci robot assisted single hole cholecystectomy from 2015 to 2021

第一作者	例数	总手术时间 [$M(Q_1, Q_3)/\bar{x} \pm s, \text{min}$]	胆囊切除时间 [$M(Q_1, Q_3), \text{min}$]	并发症 (例)	中转开腹 (例)	中转多孔手术 (例)
Ahn ^[35]						
达芬奇单孔手术	5	169(122 ~ 180)	69(66 ~ 86)	/	/	0
达芬奇多孔手术	4	139(120 ~ 162)	47(44 ~ 58)	/	/	/
Jones ^[34]						
达芬奇单孔手术	16	94(81.5 ~ 119.5)	39(30 ~ 72)	3	/	0
Nolan ^[37]						
达芬奇单孔手术	10	81.3 ± 11.9	/	/	/	0
腹腔镜单孔手术	20	101.3 ± 37.9	/	/	/	1
Kulaylat ^[38]						
达芬奇单孔手术	66(79)	98(78.5 ~ 117.5)	/	6	0	/
腹腔镜多孔手术	220	79(57 ~ 101)	/	9	2	/
Rosales-Veldevrain ^[36]						
达芬奇单孔手术	14	125(60 ~ 202)	77.5(64 ~ 169)	1	0	0

注 /:代表文献未报道

好,但该例患儿肿瘤体积较小,且局限于肝第五段^[41]。而对于复杂的肝脏肿瘤,尚不能完全体现机器人手术的优势。首先,机械臂数量不能完全满足复杂肝脏肿瘤的手术要求;其次,双极电凝在肝脏肿瘤中的应用效果不及超声刀。

五、机器人手术系统在胰腺手术中的应用

胰腺的解剖位置较深,周围脏器和血管分布复杂,同时儿童腹腔空间有限,因此小儿胰腺微创手术对于术者的经验和技术要求较高。国内胡明根等^[42]于 2016 年为 1 例 9 岁胰尾胰岛素瘤患儿行保留脾血管胰体尾切除术,术者将胃悬吊于圆韧带上,精准完成胰腺解剖和肿瘤切除。王乐等^[43]于 2018 年报道了 4 例机器人辅助胰腺实性假乳头状瘤切除术,对肿瘤实现了精准切除并尽可能保留了正常胰腺组织,同时术中完成淋巴结清扫和扩大肿瘤切除范围,这在腹腔镜是较难完成且极具挑战的操作。2021 年, Li 等^[44]报道 3 例机器人侧胰空肠吻合术治疗儿童胰管结石,进一步扩大了机器人在胰腺手术中的应用范围。对于存在胰管扩张的患者,减压手术比内窥镜治疗更能长期缓解疼痛,但是腹腔镜下侧胰空肠吻合术较为困难,患儿腹腔狭小加重了这一手术的难度;而借助机器人的三维立体视野可以降低手术难度,特别是在打开主胰管时,具有类似开放手术的特点。同年, Van Ramshorst 等^[45]为 1 例 16 岁胰腺实性假乳头状瘤患儿施行胰腺中段切除联合 Roux-en-Y 胰空肠吻合。通常胰腺中段切除术后胰痿发生率较高,这是外科医师尽可能避免采用胰体中段切除的主要原因,而机器人的高清三维手术视野以及稳定灵活的机械臂能够实现精细解剖和缝合,大大降低了胰痿的发生率,且尽可能保留胰腺实质,避免了胰腺长期功能的潜在丧失。我们目前已对 2 例胰腺实性假乳头状瘤开展了胰腺肿瘤切除术,并在国内率先开展了高胰岛素血症的胰腺大部切除术,术中借助机器人过滤震颤的机械臂、深部空间暴露清楚且视野稳定的优势,实现了对胰腺及其周围组织和血管的精细解剖,尤其是胰腺背侧与脾静脉等血管前壁的分离操作精细,患儿术后恢复良好。总体来看,传统的腹腔镜技术对于深部空间的暴露不够彻底,且操作受限,解剖层次不清楚,不能在胰腺肿瘤切除术或胰腺部分切除术中最大限度地保留正常胰腺组织,且极有可能损伤周围组织及大血管,而机器人恰好克服了传统腹腔镜的劣势,在胰腺等深部器官手术中有较大的优势。

总之,机器人手术对于在儿童狭小的腹腔空间内完成复杂的肝胆胰手术,优势更为明显,不仅能更精准地完成微创操作,还能完成传统腹腔镜下较难完成的一些手术操作。机器人手术在儿童肝胆胰外科领域是一项安全有效且应用前景广阔的新技术,其对于胆道闭锁、肝移植以及肝脏肿瘤等的治疗意义还有待进一步深入研究。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 胡迪、张书豪、高志刚负责研究的设计、实施和起草文章;蔡多特、章跃滨、陈青江进行病例数据收集及分析;高志刚负责研究设计与酝酿,并对文章知识性内容进行审阅

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Meehan JJ, Elliott S, Sandler A. The robotic approach to complex hepatobiliary anomalies in children: preliminary report[J]. J Pediatr Surg, 2007, 42(12): 2110-2114. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2007.08.040.
- [3] Akaraviputh T, Trakarnsanga A, Suksamanapun N. Robot-assisted complete excision of choledochal cyst type I, hepaticojejunostomy and extracorporeal Roux-en-y anastomosis: a case report and review literature[J]. World J Surg Oncol, 2010, 8: 87. DOI:10.1186/1477-7819-8-87.
- [4] Dawrant MJ, Najmaldin AS, Alizai NK. Robot-assisted resection of choledochal cysts and hepaticojejunostomy in children less than 10 kg[J]. J Pediatr Surg, 2010, 45(12): 2364-2368. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2010.08.031.
- [5] 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.
- [6] Alizai NK, Dawrant MJ, Najmaldin AS. Robot-assisted resection of choledochal cysts and hepaticojejunostomy in children[J]. Pediatr Surg Int, 2014, 30(3): 291-294. DOI:10.1007/s00383-013-3459-5.
- [7] 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]. Pediatr Surg Int, 2019, 35(11): 1211-1216. DOI:10.1007/s00383-019-04518-w.
- [8] 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. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2016.02.011.
- Zhang X, Cao GQ, Tang ST, et al. da Vinci Robotic System for choledochal cysts in children[J]. J Clin Ped Sur, 2016, 15(2): 137-139. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2016.02.011.
- [9] 蔡多特, 陈青江, 章立峰, 等. 达芬奇技术与传统腹腔镜技术在胆总管囊肿根治术中应用的对比研究[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(1): 51-57. DOI:10.3760/cma.j.cn.101785-202012066-010.
- Cai DT, Chen QJ, Zhang LF, et al. Comparative study of da Vinci technique versus traditional laparoscopic technique in the treatment of choledochal cyst[J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(1): 51-57. DOI:10.3760/cma.j.cn.101785-202012066-010.
- [10] 池水清, 徐银慧, 汤绍涛, 等. 机器人与传统腹腔镜在小儿胆总管囊肿手术中应用的对比研究[J]. 机器人外科学杂志, 2021, 2(4): 248-254. DOI:10.12180/j.issn.2096-7721.2021.04.002.
- Chi SQ, Xu YH, Tang ST, et al. Comparison between robot-assisted and traditional laparoscopy for choledochal cyst excision and hepaticojejunostomy in children[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(4): 248-254. DOI:10.12180/j.issn.2096-7721.2021.04.002.
- [11] 谢小龙, 李可为, 王川, 等. 达芬奇机器人手术系统辅助儿童胆总管囊肿切除术的临床疗效分析[J]. 中华小儿外科杂志, 2021, 42(7): 610-616. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20200227-00122.
- Xie XL, Li KW, Wang C, et al. Clinical efficacy of Da Vinci (SI) robot-assisted choledochal cyst excision in pediatrics[J]. Chin J Pediatr Surg, 2021, 42(7): 610-616. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20200227-00122.
- [12] 董露露, 楚泽浩, 崔西春, 等. 达芬奇机器人与传统腹腔镜在治疗小儿先天性胆总管囊肿的对比研究[J]. 中华小儿外科杂志, 2021, 42(1): 17-22. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20191022-00603.
- Dong LL, Chu ZH, Cui XC, et al. A comparative study of da Vinci robot versus traditional laparoscopy for congenital choledochal cyst in children[J]. Chin J Pediatr Surg, 2021, 42(1): 17-22. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20191022-00603.
- [13] 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.
- [14] 蔡多特, 高志刚, 陈青江, 等. 微创技术治疗儿童 Todani II 型胆总管囊肿经验总结[J]. 中华小儿外科杂志, 2021, 42(7): 622-628. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20200222-00108.
- Cai DT, Gao ZG, Chen QJ, et al. Experience of mini-invasive treatment for Todani type II choledochal cyst in children[J]. Chinese Journal of Pediatric Surgery, 2021, 42(7): 622-628. DOI:10.3760/cma.j.cn421158-20200222-00108.
- [15] 王金湖, 钱云忠, 高志刚, 等. 腹腔镜牵引法与 CO₂ 气腹法腹腔镜幽门环肌切开术的比较[J]. 中华小儿外科杂志, 2009, 30(6): 364-367. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2009.06.007.
- Wang JH, Qian YZ, Gao ZG, et al. Abdominal wall lifting versus carbon dioxide elicited pneumoperitoneum for laparoscopic pyloromyotomy[J]. Chin J Pediatr Surg, 2009, 30(6): 364-367. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2009.06.007.
- [16] Lishuang M, Zhen C, Guoliang Q, et al. Laparoscopic portoenterostomy versus open portoenterostomy for the treatment of biliary atresia: a systematic review and meta-analysis of comparative studies[J]. Pediatr Surg Int, 2015, 31(3): 261-269. DOI:10.1007/s00383-015-3662-7.
- [17] Hussain MH, Alizai N, Patel B. Outcomes of laparoscopic kasai portoenterostomy for biliary atresia: a systematic review[J]. J Pediatr Surg, 2017, 52(2): 264-267. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2016.11.022.
- [18] Ure BM, Kuebler JF, Schukfeh N, et al. Survival with the native liver after laparoscopic versus conventional kasai portoenterostomy in infants with biliary atresia: a prospective trial[J]. Ann Surg, 2011, 253(4): 826-830. DOI:10.1097/SLA.0b013e318211d7d8.
- [19] 杜敏, 郑珊. 胆道闭锁手术治疗进展[J]. 中华小儿外科杂志, 2020, 41(3): 276-280. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2020.03.019.
- Du M, Zheng S. Recent research advances in surgery for biliary atresia[J]. Chin J Pediatr Surg, 2020, 41(3): 276-280. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2020.03.019.
- [20] Cazares J, Koga H, Murakami H, et al. Laparoscopic portoenterostomy for biliary atresia: single-center experience and review of literatures[J]. Pediatr Surg Int, 2017, 33(12): 1341-1354. DOI:10.1007/s00383-017-4171-7.
- [21] Sun X, Diao M, Wu X, et al. A prospective study comparing laparoscopic and conventional Kasai portoenterostomy in children with biliary atresia

- [J]. J Pediatr Surg, 2016, 51(3):374-378. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2015.10.045.
- [22] Mariano ER, Furukawa L, Woo RK, et al. Anesthetic concerns for robot-assisted laparoscopy in an infant[J]. Anesth Analg, 2004, 99(6):1665-1667. DOI:10.1213/01.ANE.0000137394.99.683.66.
- [23] 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.
- [24] 曹国庆, 汤绍涛, 周莹, 等. 机器人腹腔镜辅助 Kasai 手术治疗囊肿型胆道闭锁: 国内首例报告[J]. 中国微创外科杂志, 2021, 21(5):446-449. DOI:10.3969/j.issn.1009-6604.2021.05.014.
- Cao GQ, Tang ST, Zhou Y, et al. Robotic-assisted Kasai operation for cystic biliary atresia: first report in China[J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery, 2021, 21(5):446-449. DOI:10.3969/j.issn.1009-6604.2021.05.014.
- [25] Cherqui D, Soubrane O, Husson E, et al. Laparoscopic living donor hepatectomy for liver transplantation in children[J]. The Lancet, 2002, 359(9304):392-396. DOI:10.1016/S0140-6736(02)07598-0.
- [26] Troisi RI, Elsheikh Y, Alnemary Y, et al. Safety and feasibility report of robotic-assisted left lateral sectionectomy for pediatric living donor liver transplantation: a comparative analysis of learning curves and mastery achieved with the laparoscopic approach[J]. Transplantation, 2021, 105(5):1044-1051. DOI:10.1097/TP.0000000000003332.
- [27] Rela M, Rajalingam R, Shetty G, et al. Robotic monosegment donor hepatectomy for pediatric liver transplantation: First report[J]. Pediatr Transplant, 2022, 26(1):e14110. DOI:10.1111/ptr.14110.
- [28] Svensson J, Makin E. Gallstone disease in children[J]. Semin Pediatr Surg, 2012, 21(3):255-265. DOI:10.1053/j.sempedsurg.2012.05.008.
- [29] Telega G. Biliary dyskinesia in pediatrics[J]. Curr Gastroenterol Rep, 2006, 8(2):172-176. DOI:10.1007/s11894-006-0015-7.
- [30] Gutt CN, Markus B, Kim ZG, et al. Early experiences of robotic surgery in children[J]. Surg Endosc, 2002, 16(7):1083-1086. DOI:10.1007/s00464-001-9151-1.
- [31] Klein MD, Langenburg SE, Kabeer M, et al. Pediatric robotic surgery: lessons from a clinical experience[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2007, 17(2):265-271. DOI:10.1089/lap.2006.0034.
- [32] Meehan JJ, Sandler A. Pediatric robotic surgery: a single-institutional review of the first 100 consecutive cases[J]. Surg Endosc, 2008, 22(1):177-182. DOI:10.1007/s00464-007-9418-2.
- [33] 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. DOI:10.1007/s00268-010-0431-6.
- [34] Jones VS. Robotic-assisted single-site cholecystectomy in children[J]. J Pediatr Surg, 2015, 50(11):1842-1845. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2015.03.052.
- [35] Ahn N, Signor G, Singh TP, et al. Robotic single- and multisite cholecystectomy in children[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2015, 25(12):1033-1035. DOI:10.1089/lap.2015.0106.
- [36] Rosales-Velderrain A, Alkhoury F. Single-port robotic cholecystectomy in pediatric patients: single institution experience[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2017, 27(4):434-437. DOI:10.1089/lap.2016.0484.
- [37] Nolan H, Glenn J. Minimally invasive pediatric cholecystectomy: a comparison of robotic and laparoscopic single and multiport techniques[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2018, 28(6):770-773. DOI:10.1089/lap.2017.0532.
- [38] Kulaylat AN, Richards H, Yada K, et al. Comparative analysis of robotic-assisted versus laparoscopic cholecystectomy in pediatric patients[J]. J Pediatr Surg, 2021, 56(10):1876-1880. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2020.11.013.
- [39] Kim T, Kim DY, Cho MJ, et al. Use of laparoscopic surgical resection for pediatric malignant solid tumors: a case series[J]. Surg Endosc, 2011, 25(5):1484-1488. DOI:10.1007/s00464-010-1418-y.
- [40] Yada K, Ishibashi H, Mori H, et al. Laparoscopic resection of hepatoblastoma: report of a case[J]. Asian J Endosc Surg, 2014, 7(3):267-270. DOI:10.1111/ases.12106.
- [41] Chen DX, Wang SJ, Jiang YN, et al. Robot-assisted gallbladder-preserving hepatectomy for treating S5 hepatoblastoma in a child: a case report and review of the literature[J]. World J Clin Cases, 2019, 7(7):872-880. DOI:10.12998/wjcc.v7.i7.872.
- [42] 胡明根, 肖元宏, 宋栋达, 等. 机器人保留脾血管胰体尾切除术治疗儿童胰岛索瘤报道[J]. 中华腔镜外科杂志(电子版), 2016, 9(5):268-272. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2016.05.003.
- Hu MG, Xiao YH, Song DD, et al. First report of robotic spleen-preserving distal pancreatectomy for children suffered from insulinoma[J]. Chinese Journal of Laparoscopic Surgery (Electronic Edition), 2016, 9(5):268-272. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2016.05.003.
- [43] 王乐, 沈丽萍. 运用达芬奇手术机器人辅助系统治疗小儿胰腺肿瘤[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(5):363-366. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.05.011.
- Wang L, Shen LP. Treatment of pediatric pancreatic tumors by robotic surgical system[J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(5):363-366. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.05.011.
- [44] Li Y, Cao G, Rong L, et al. Robotic lateral pancreaticojejunostomy surgery for pancreatic duct stones in children[J]. J Pediatr Surg, 2021, 56(9):1685-1686. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2021.04.021.
- [45] Van Ramshorst T, Zwart M, Voermans RP, et al. Robotic central pancreatectomy with Roux-en-Y pancreaticojejunostomy[J]. J Vis Exp, 2021, (177). DOI:10.3791/62862.

(收稿日期: 2022-03-25)

本文引用格式: 胡迪, 张书豪, 蔡多特, 等. 达芬奇机器人在小儿肝胆胰外科领域的应用及展望[J]. 临床小儿外科杂志, 2023, 22(1):1-6. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203080-001.

Citing this article as: Hu D, Zhang SH, Cai DT, et al. Current applications and future prospects of da Vinci robot in pediatric hepatobiliary and pancreatic surgery[J]. J Clin Ped Sur, 2023, 22(1):1-6. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202203080-001.