

机器人手术在小儿泌尿外科的应用现状与展望

梅红, 李聃, 童强松, 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 在过去的数十年间,腹腔镜的出现导致了外科手术一次真正的革命,代表着外科手术思维模式的变迁,而机器人手术进一步推动了这种模式进入更高的层次。虽然机器人手术已经安全、成功地运用于成人泌尿外科的多种手术,但是它在小儿泌尿外科的应用相对较少。机器人手术系统具有良好的3D可视化视野、精细的运动控制操作系统和震颤过滤性能等优点,其在小儿泌尿外科实践中的潜在价值是巨大的。成人泌尿外科机器人手术技术不能照搬到小儿泌尿外科,因此充分了解机器人手术技术在小儿泌尿外科领域应用的现状及存在的问题很有必要。本文对机器人手术在小儿泌尿外科的应用现状进行总结。

关键词 机器人手术; 小儿泌尿外科; 肾切除术; 肾盂成形术; 输尿管再植术

中图分类号 R608 R699 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2021)04-0263-09

Robot-assisted surgery in pediatric urology: current status and prospects

MEI Hong, LI Dan, TONG Qiangsong, 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 the past few decades, laparoscopy has led an revolution in surgery, it changes how and what we perform surgical procedures. While the introduction of robotic surgery systems made a further step in the evolution of surgery. Now robot surgery has evolved safely and successfully in adult urinary surgery, however, it has done so less spectacularly in pediatric urology. With three-dimensional visualized surgical field, fine operating system and good tremor filtering, it allows surgeons to perform complex surgical procedures. Great potence of robotic surgery has been showed in pediatric urology. Using a surgical robot in children does not make an adult urologist a pediatric urologist. Therefore, it is necessary to fully understand the current

收稿日期: 2021-01-11 录用日期: 2021-04-02

Received Date: 2021-01-11 Accepted Date: 2021-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81773094)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (81773094)

通讯作者: 汤绍涛, Email: tshaotao83@126.com

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

引用格式: 梅红, 李聃, 童强松, 等. 机器人手术在小儿泌尿外科的应用现状与展望[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2021, 2(4): 263-271.

Citation: MEI H, LI D, TONG Q S, et al. Robot-assisted surgery in pediatric urology: current status and prospects[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(4):263-271.

status and problems of robotic surgery in pediatric urology.

Key words Robot-assisted laparoscopy; Pediatric urology; Nephrectomy; Pyeloplasty; Ureteral reimplantation

20 世纪 70 年代, Cortesi N 等^[1]采用腹腔镜技术用于未触及睾丸的诊断性评估, 这是微创手术首次引入小儿泌尿外科。自此以后, 腹腔镜技术被广泛接受, 且在治疗多种小儿泌尿系疾病中被证明是安全、有效的, 包括睾丸固定术、肾切除术、肾部分切除术、肾盂成形术和输尿管再植术等^[2]。虽然更复杂的腹腔镜重建手术已经被实施, 如腹腔镜辅助膀胱扩大术, 但是腹腔镜仍存在一些固有的局限性^[3], 这些手术技术对于外科医生而言仍然是一个巨大的技术挑战。

2000 年, 美国 Intuitive Surgical 公司的达芬奇手术系统 (Da Vinci surgical system) 获美国食品药品监督管理局 (FDA) 批准。2001 年达芬奇机器人手术首次应用到小儿外科^[4], 随后 Gettman M T 等^[5]首次将达芬奇手术系统引入肾积水患儿的治疗, 顺利完成了 9 例小儿机器人辅助腹腔镜 Anderson-Hynes 肾盂成形术, 并取得了令人满意的短期疗效。随着机器人手术被用于多种小儿泌尿系统手术, 其良好的 3D 可视化视野、精细的运动控制操作系统和震颤过滤性能、优化的人体工程学等优点, 受到越来越多小儿泌尿外科医生的欢迎。在过去的二十年, 机器人手术已经安全、成功地运用于成人泌尿外科的多种手术, 但是小儿泌尿外科微创手术仍远落后于成人泌尿外科。为了安全、有效地在小儿中实施机器人手术, 充分了解机器人技术在小儿泌尿外科领域应用的现状及存在的问题很有必要。

1 泌尿外科机器人手术的特点

在过去的数十年间, 腹腔镜的出现导致了

外科一次真正的革命, 代表了外科手术思维模式的变迁, 而机器人手术进一步推动了这种模式进入更高层次。虽然机器人技术在小儿泌尿外科的应用相对较少, 但其在小儿泌尿外科实践中的潜在价值是巨大的。与开放性或传统腹腔镜手术相比, 机器人手术在小儿泌尿外科的运用展现了许多潜在的优势。实时三维立体感与放大视觉的协同作用, 专用器械的 7 个自由度的灵活性与精细运动控制, 震颤过滤允许最小化地损伤毗邻组织, 这些特点使得机器人具有更高的精准度。机器人手术可以在狭小空间完成重建过程, 甚至在偏远的体腔 (如盆腔) 也保持了高超的组织处理和缝合操作能力, 而这往往是传统开放性手术和腹腔镜手术在视觉和触觉上无法获取的。长期以来, 这些都被认为是小儿重建泌尿外科中必不可少的因素, 尤其是在需要广泛缝合的手术病例中, 如肾盂成形术、输尿管再植术和扩大膀胱成形术, 机器人都展现了明显的优势。

达芬奇手术系统的不足之处在于缺乏触觉反馈, 触觉反馈对于外科新手的早期外科缝合及组织的精细处理是十分重要的。这个部分可以由 3D 视觉和放大倍率补偿, 对组织解剖、组织切割等的“反馈”是可视的。而设置和拆卸机器人系统需要额外时间、费用高昂限制了机器人手术的应用。机器人手术在成人泌尿外科中已被证实具有术中出血少、术后恢复快、麻醉用量少、术后住院时间缩短等优点, 尽管成人手术大部分是切除手术^[6]。随着机器人手术在小儿泌尿外科中的使用, 越来越多的文献报道了其安全性和有效性, 可以安全地应用于小龄患儿和复杂的外科手术^[7-8]。达芬奇机器人系

统版本不断更新（包括 S、Si 系统和最新的 Xi 系统），相比于之前的 12mm 摄像头，达芬奇 Xi 系统的 8.5mm 摄像头同样具有优越的光学系统，更加适用于儿科患者。机器人系统包括一系列专用的 EndoWrist 器械，可以在 7 个自由度精细操作，目前可供使用的有 5mm 和 8mm 器械，两者除了尺寸的不同，在关节设置方面也不同。虽然 5mm 器械是 SnakeWrist 器械，但它的关节运动比 8mm 器械需要更多操作空间，这限制了其在较小的空间中使用。此外，5mm 器械的选择种类有限，而且机械运动不够精确。虽然有研究表明在儿科患者中使用 5mm 器械是可行的，但许多外科医生更倾向于使用 8mm 器械，以便获得更多的器械选择及组织操作的精准性^[9]。因此，逐渐完善小型化机器人系统，开发专门为小儿机器人手术设计的机器人器械，将会提高机器人手术系统在小儿泌尿外科患者中应用的可行性。

但机器人手术在儿科患者中的实施存在新的挑战，与成人相比，其体型小、工作空间小，尤其是婴儿和新生儿患者。小儿外科医生富有创造性地设计了最大限度利用更小工作空间的技巧。在成人患者中推荐通道的间距为 8~10cm，而在小儿患者中这个距离可能更短，通道位点更线性化、更少三角化的放置可以获得更好的优化工作空间，并减少体外机械臂的碰撞风险^[10]。小儿腹壁有更大的弹性，充气后可以拉伸腹壁并允许通道之间有更大的距离。通道的远程中心更靠近外侧并缝合固定于腹壁，可以使通道与手术部位之间的距离增大，并避免通道的脱出和漏气。机器人臂或器械的体积比许多儿童的身体都要大，尤其是婴儿，而且机器人臂很容易发生碰撞或碰到手术台。因此，患儿体位的摆放和良好的固定也有助于机器人手术的顺利进行，患儿的面部、眼睛和四肢都应该用泡

沫或衬垫保护并固定，避免损伤^[11]。在早期病例或者复杂病例中，由床边助手使用一个额外的辅助通道可能会有帮助。此外，小儿腹部手术空间小，通道放置或器械转换增加了内脏或血管损伤的风险。经腹腔手术通常是经脐部进行，可以采用 Veress 气腹针或 Hasson 技术进行，此取决于外科医生的偏好。器械的插入和转换应始终在直视下进行，特别是在开始插入通道或器械时。

机器人手术在儿科中使用的另一个限制因素是成本。众所周知，机器人辅助手术的成本远高于其同等的开放式手术及腹腔镜手术，与开放性肾盂成形术相比，腹腔镜肾盂成形术的费用基本相似，但机器人手术的总费用从 7 221 美元增加到 10 780 美元^[12]。这主要是因为购买和维护机器人系统及其一次性耗材的成本很高。尽管机器人肾盂成形术每年以 29% 的速度增长，占 2015 年美国所有小儿肾盂成形术的 40%^[12]，然而，与成人机器人手术量相比，儿科的病例数仍然很少，远远不能抵消机器人平台的巨大成本。虽然它可以并已经有效地应用于年龄非常小的儿童及精细手术中，但考虑到机器人系统的经济负担，一些儿童医院仍不敢单独购买机器人手术系统，且在经济不发达的国家更加明显。在中国，大部分达芬奇机器人手术系统装机于大型综合性医院，目前拥有机器人手术平台的儿童专科医院仅有 2 家。未来，发展不同的机器人手术系统，降低机器人手术的成本，增加机器人手术的市场竞争力，将会使机器人手术在儿科中得到更快的推广和使用。

机器人手术在小儿泌尿外科中的推出仍处于初步阶段，技术的进步和器械的小型化将会使其更广泛地被接受和使用。使用微创技术实施手术的能力、短的学习曲线及良好的人体工程学，也将增加未来机器人手术在儿科患者的吸引力。

2 机器人手术在小儿泌尿系统疾病中的应用现状

2.1 肾脏和肾部分切除术

在小儿，很多肾脏良性疾病包括多囊性肾发育不全、肾萎缩、肾血管性高血压，以及继发性疾病（如创伤或梗死等），通常需要进行肾脏切除术，而传统的腹腔镜手术很容易完成此类手术。机器人辅助肾切除术或肾输尿管切除术在小儿中显然是可行的，但手术没有任何重建部分，也没有对邻近组织结构造成损害的高风险，因此机器人手术是否提供了真正的优势仍存在争议。Bansal D 等^[13]回顾性分析 24 例机器人辅助肾输尿管切除术和 8 例腹腔镜单部位肾输尿管切除术，结果显示腹腔镜组手术时间明显较短，术后使用麻醉剂相对较少。机器人组术后并发症为 8.3% (2/24)，其中尿潴留 1 例，输尿管残端漏尿 1 例，均保守治疗后好转。然而，对于存在多个泌尿系统畸形的患儿，尤其是需要同时进行多个手术时，机器人手术系统则是非常有帮助的。Lee R S 等^[14]报道成功实施了机器人辅助肾切除术的患儿 4 例，同时行对侧膀胱外输尿管再植术，手术采用经腹腔入路，术中只需改变患儿的体位而无需移动机器人系统，也不需要增加额外的通道。

腹腔镜肾部分切除术过程中最担心的问题是肾脏两极血管的暴露，一旦健康肾部分的血管损伤，将会导致该部分的功能丧失而需要做全肾切除术，而机器人的精细解剖则有巨大帮助。2004 年，Pedraza R 等^[15]报道了首例小儿双侧机器人肾部分切除术。随后 Lee R S 等^[16]在 2009 年报道了一系列小儿机器人肾部分切除术，其成功率与传统的腹腔镜肾部分切除术类似。9 例患儿均成功实施机器人肾部分切除术，除 1 例患儿因无症状性尿性囊肿需置管引流，所有患

儿术后超声检查显示剩余部分肾血流信号良好。Mason M D 等^[17]回顾性分析 21 例小儿机器人肾部分切除术，术后超声显示 29% (6/21) 患儿发生无症状性局限性积液，均保守治疗后好转，推测可能与肾脏创面未缝合关闭有关，而机器人对这种创面重建可以发挥关键作用。国内的周辉霞手术组近期也报道了 20 例小儿机器人重复肾半肾切除术治疗重复肾重复输尿管畸形，平均年龄为 28.6 (1~72) 月龄，术后 ECT 复查未提示下肾萎缩或功能丢失，2 例患儿术后出现泌尿系感染，经抗感染治疗后治愈^[18]。

2.2 肾盂成形术

肾盂输尿管连接部梗阻 (Ureteropelvic junction obstruction, UPJO) 是小儿泌尿外科最常见的先天性畸形之一，Anderson-Hynes 离断性肾盂成形术是治疗的金标准。自从 Peters C A 等^[19]在 1995 年首次报道了腹腔镜肾盂成形术在小儿外科中成功应用，腹腔镜手术迅速被证实是一种安全、有效的治疗 UPJO 的微创手术方式。但是，传统的腹腔镜手术具有一个较长的学习曲线，掌握体内精细的缝合需要丰富的腹腔镜操作经验，这对于大多数小儿泌尿外科医师而言存在技术挑战。机器人辅助技术具有使微创技术更广泛应用的潜力，高分辨率的 3D 视野及器械的易操作性使得更多外科医生更快地掌握腔内精细缝合，极大地缩短了学习曲线。甚至有学者认为，传统的开放性手术可以直接过渡到机器人手术，无需具有腹腔镜手术经验。

自 2002 年首次报道以来，机器人辅助腹腔镜肾盂成形术 (Robot-assisted laparoscopic pyeloplasty, RALP) 开始在世界范围内广泛使用，多项临床研究证实 RALP 术具有良好的手术结果。Minnillo B J 等^[20]回顾性分析 155 例行 RALP 术的患儿，结果显示其成功率为 96%，中位随访时间为 31.7 个月，但该组患

儿的平均年龄较大(10.5岁)。吕逸清等^[21]报道, RALP术可安全、有效地应用于3岁以上的UPJO患儿,并能取得与传统腹腔镜手术类似的效果。对于年龄较小儿童甚至婴幼儿的研究相对较少,2015年Avery D I等^[22]报道60例婴儿(年龄<6个月)实施RALP术的成功率为91%,并发症发生率为11%,该结果与既往开放性手术或者腹腔镜手术的结果相当,但是该报道的样本量仍然较少。Cundy T P等^[23]对小儿机器人肾盂成形术与腹腔镜、开放性手术进行Meta分析,该研究包括12项回顾性研究,包含384例机器人手术、131例腹腔镜手术、164例开放性手术,发现三者的手术成功率没有差异。一些文献指出,与开放性手术相比, RALP术具有相似的成功率、更短的住院时间和更低的麻醉药品使用率。机器人手术和腹腔镜手术都是治疗UPJO安全、有效的微创技术。但是有文献报道^[24],与腹腔镜相比, RALP手术时间更短,可能与体内缝合变得更容易有关。

开放性肾盂成形术多采用经腹膜后途径,大多数文献报道成人机器人手术可采用经腹膜途径或腹膜后途径。Khoder W Y等^[25]比较在成人中实施经腹膜后途径和经腹膜途径行RALP术的结果,发现两者的成功率和并发症没有显著差异,经腹膜后途径与传统腹腔镜手术的结果相当。经腹膜后途径RALP术可以适用于成人或者年龄较大儿童,但对于年龄较小儿童甚至婴幼儿,由于工作空间小、腹膜后空间有限,巨大的机器人臂常常会阻碍经腹膜后入路。Olsen L H等^[26]报道,在65例儿童患者中采用经腹膜后途径实施RALP术,并发症发生率为17.9%,1例患儿甚至因为没有操作空间和镜头臂无法移动而中转为开放性手术。RALP的标准术式是Anderson-Hynes离断性肾盂成形术,这也是开放性手术和腹腔镜手术的标准术式。腹

腔镜的操作步骤本质上与传统腹腔镜手术相同,但是每一个步骤在机器人的辅助下会变得更简单,特别是UPJ的游离、输尿管的裁剪、双J管的放置及腔内精细缝合。同时,机器人也提供了良好的人体工程学,可以提高外科医生的健康。

UPJO术后再梗阻是术后常见的并发症之一,也是小儿泌尿外科医生在临床中非常棘手的问题。尽管目前报道的治疗方式有多种,包括球囊扩张术、肾内切开术、肾输尿管肾造口术及再次肾盂成形术,但哪种方式最合适小儿患者仍存在争议^[27]。随着机器人手术的发展,已有多项研究报道使用机器人系统行再次肾盂成形术治疗UPJO术后发生再梗阻。Lindgren B W等^[27]对16例复发性或持续性UPJO患儿(包括12例开放性手术后,4例机器人手术后)实施再次机器人手术,除1例患儿因出血中转为开放手术,其余患儿均成功完成机器人手术,术后随访时所有患儿症状缓解,14例(88%)患儿随访中有影像学改善。另外两篇报道分别来自Hemal A K等^[28](9例,均为开放性肾盂成形术后)和Asensio M等^[29](5例,均为开放性肾盂成形术后),均成功实施机器人再次手术。而来自国内的徐哲手术组也报道了4例肾盂输尿管整形术后再次狭窄患儿成功实施机器人再次手术^[30]。与开放式手术相比,机器人手术允许对再手术的纤维区精细解剖及精确缝合,而且避免了巨大瘢痕,具有微创手术的优势,是治疗UPJO术后再梗阻的安全、有效的方式之一。机器人手术还可以运用于更复杂的病例,Ahn J J等^[31]报道3例UPJO术后长段输尿管狭窄的患儿成功运用颊黏膜完成机器人再次肾盂成形术,成功率为100%。

2.3 输尿管膀胱再植术

膀胱输尿管反流(Vesicoureteral reflux, VUR)的治疗原则是减少或避免肾盂肾炎发生,

保护肾脏功能。目前开放性输尿管膀胱再植术仍然是 VUR 手术干预的金标准, 其成功率为 95%~98%^[32]。随着微创技术的日益普及, 腹腔镜输尿管膀胱再植术也被证实是治疗 VUR 的可行方法之一, 可通过膀胱内途径或者膀胱外途径实施, 成功率为 47%~100%。该手术对于小儿泌尿外科医生而言是最具有挑战性的手术之一, 而机器人手术系统有助于腹腔镜手术的精细解剖和重建。由于儿童膀胱容量小, 难以维持稳定的气膀胱, 膀胱内途径相对困难, 故机器人辅助腹腔镜输尿管膀胱再植术 (Robot-assisted laparoscopic ureteral reimplantation, RALUR) 通常采用经腹膜膀胱外途径 (Lich-Gregoire 术式)。自从 2004 年 Peters 等首次报道小儿 RALUR 术以来, 一系列研究证实 RALUR 术在小儿中是安全且可行的^[33-36]。

目前报道的 RALUR 术后 VUR 的缓解率为 77%~100%, 并发症从轻度到严重不等。RALUR 术的主要并发症是尿潴留和输尿管损伤 (输尿管梗阻或漏尿), 前者是最常见的术后并发症。一些学者认为盆腔神经损伤可能是引起术后尿潴留的原因。Casale P 等^[34]报道 41 例双侧机器人膀胱外再植术, 在机器人增强可视化下保留输尿管裂孔侧面的神经血管束, 其成功率高达 97.6%, 无尿潴留或其他并发症发生。Kurtz M P 等^[35]回顾性分析 1 494 例开放性输尿管膀胱再植术 (Open ureteral reimplantation, OUR) 和 108 例 RALUR 术, RALUR 组术后并发症发生率 (13.0%) 明显高于 OUR 组 (4.5%)。有学者推测, 这种差异可能与病例选择及手术者的学习曲线有关, 而 Grimsby G M 等^[36]则提及该结论可能存在发表偏倚, 因为结果良好的研究比阴性结果的研究更容易被发表。尽管机器人手术是否能降低输尿管再植术相关的发病率尚不清楚, 但已有证据表明 RALUR 术可以缩短住院时间和减少对

麻醉性止痛药物的需求^[37], 并需要进一步的多中心和大样本研究以评估 RALUR 术对哪些特定的患者群体能够带来最大的手术获益。

2.4 其他机器人手术

与成人患者不同, 儿童尿失禁发生率高, 多继发于各种疾病引起的尿道括约肌功能不全, 如膀胱外翻、泄殖腔畸形、双侧输尿管异位、输尿管囊肿或神经源性膀胱等。多种手术可用于治疗这类疾病患儿的尿失禁, 包括膀胱颈重建术 (Bladder neck reconstruction, BNR)、膀胱颈吊带术、阑尾膀胱造口术 (Appendicovesicostomy, APV) 联合膀胱扩大术等, 且这些手术传统上多采用开放性手术。随着机器人辅助腹腔镜手术在儿童中的应用被证明是安全和有效的, 小儿泌尿外科医生逐渐尝试更复杂的机器人重建手术。Pedraza R 等^[38]首次报道对 1 例 7 岁后尿道瓣膜患儿成功实施机器人辅助腹腔镜 Mitrofanoff 阑尾膀胱造口术 (Robot-assisted laparoscopic Mitrofanoff appendicovesicostomy, RALMA), 手术时间为 6h, 术中出血量为 10ml, 无术中并发症发生。另一项小儿 RALMA 病例系列报道显示了相似的结果, 平均手术时间为 323min, 术中出血量为 48.4ml, 术中 1 例 (1/10) 患儿因阑尾不全中转为开放性手术, 术后随访时间为 6 个月, 1 例患儿因漏尿需开放性手术治疗, 2 例患儿发生轻微尿道不可控, 1 例行膀胱黏膜下注射好转, 1 例自行好转^[39]。Famakinwa O J 等^[40]回顾性分析 18 例小儿 RALMA 患者, 包括 10 例经膀胱内途径和 8 例经膀胱外途径, 术后平均随访时间为 24.2 个月, 94.4% 的患儿术后排尿通道可控性良好。随后, Gundeti M S 等^[41]发表了一篇多中心回顾性研究, 包括 88 例小儿 RALMA 患者, 其中 17% (15 例) 患儿同时行膀胱扩大术, 39% (34 例) 患儿同时行膀胱颈手术。在 90d 随访期间, 26 例 (29.5%) 患儿发生

术后并发症，其中 11 例（12.5%）需要手术修复。85%（75/88）患者达到初期尿流可控，经过手术修复后，92%（81/88）的患儿尿流可控。Grimsby G M 等^[42]在开放性手术和 RALMA 术的回顾性对比研究中发现，在 31 个月的随访中，两者的术后并发症发生率无差异，而对再次手术患儿的深入分析显示出有趣的现象，即机器人组的手术修复主要是因为造口失禁，而开放组的造口脱垂和狭窄发生率更高。上述研究结果表明，RALMA 术是一种安全、有效的治疗儿童尿失禁的方法，具有微创手术的内在优势（如减少术后疼痛、缩短住院时间和更好的美容性），并具有与开放性手术可比的围手术期和功能结果，但是手术时间明显较长，费用较高。

膀胱扩大术（Bladder augmentation）常用于治疗继发于神经源性膀胱的膀胱功能障碍，或者其他非神经源性排尿功能障碍、后尿道瓣膜、Prune-Belly 综合征和膀胱外翻等。开放性手术目前仍是金标准术式，而开放性回肠扩大成形术（Open augmentation ileocystoplasty, OAI）是一种重要的手术方式，其特点是手术时间长、术后并发症发生率高。Flood H D 等^[43]和 Schlomer B J 等^[44]报道 OAI 术后膀胱破裂、膀胱结石、肾盂肾炎和小肠梗阻的 3 年累积风险分别为 3.5% 与 4%、10.9% 与 21%、11% 与 26% 及 4% 与 6%。2008 年初，Gundeti M S 等^[7]报道首例成功实施的机器人辅助腹腔镜回肠扩大成形术（Robot-assisted laparoscopic augmentation ileocystoplasty, RALI）和 APV 术。而 Murthy P 等^[45]在 2015 年报道的病例系列中对 RALI 术与传统 OAI 术进行比较，RALI 组患儿手术时间明显延长，住院时间缩短，两组患者的平均术中出血量、膀胱容量增加率和麻醉药物使用率无显著性差异。在随访过程中，RALI 组和 OAI 组的膀胱结石形成和并发症发生率类似。

3 展望

本综述讨论了机器人手术在小儿泌尿外科领域的现状，随着微创手术的广泛应用，这些手术通常会给患者带来更小的手术创伤和更快的术后恢复。然而，传统腹腔镜手术仍存在很多限制，包括较长的学习曲线、“筷子”效应、有限的运动范围等，对于儿童更是存在极大的挑战。随着新的腹腔镜技术的发展，机器人系统提供的诸多功能使这些限制得以克服，手术技巧也得以提高。越来越多的报道证明，机器人手术能够获得与开放性手术及传统的腹腔镜手术类似的功能性结果，未来应用将会越来越普遍，小儿泌尿外科将从机器人手术获益最多的领域之一。由于我国机器人手术起步较晚，且大部分达芬奇机器人手术系统装机于综合性医院，机器人手术在儿科患者的应用尚处于初期阶段。但是小儿泌尿外科医生不断探索，已有多医学中心报道了机器人手术在小儿泌尿外科疾病中的应用，并取得了良好的手术效果。毫无疑问，随着微创技术的进一步发展，我国机器人手术在小儿泌尿外科中的应用将会更加广泛。

然而，机器人手术要取代传统的开放性手术成为金标准术式，仍面临较大的挑战：缺少触觉反馈，婴幼儿和新生儿需要更小型化的器械，需要更多的随机对照试验来验证结果，需要标准化培训获得机器人手术资质，机器人平台及耗材成本昂贵。目前儿童可用的机器人手术平台仅有“达芬奇”一家，亟需引入新的竞争者加入市场，进一步降低手术的成本，并促进进一步的开发研究和技术改进。机器人技术的发展正在不断进行，我们相信，新平台的开发将为儿科患者提供替代性的治疗方式，实现更好的疗效和生活质量。

参考文献

- [1] Cortesi N, Ferrari P, Zambarda E, et al. Diagnosis of bilateral abdominal cryptorchidism by laparoscopy[J]. *Endoscopy*, 1976, 8(1): 33–34.
- [2] Smaldone M C, Polsky E, Ricchiuti D J, et al. Advances in pediatric urologic laparoscopy[J]. *Sci World J*, 2007. DOI: 10.1100/tsw.2007.141.
- [3] Peters C. Laparoscopy in paediatric urology: adoption of innovative technology[J]. *BJU Int*, 2000, 92(Suppl 1): 52–57.
- [4] 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): 1360–1361.
- [5] 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.
- [6] Hubens G, Coveliers H, Balliu L, et al. A performance study comparing manual and robotically assisted laparoscopic surgery using the da Vinci system[J]. *Surg Endosc*, 2003, 17(10): 1595–1599.
- [7] 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.
- [8] Evalynn Vasquez, 谢会文, 蒋国松. 机器人手术在小儿泌尿外科中的应用[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2017, 32(7): 489–499.
- [9] Baek M, Silay M S, Au J K, et al. Does the use of 5 mm instruments affect the outcome of robot-assisted laparoscopic pyeloplasty in smaller working spaces? A comparative analysis of infants and older children[J]. *J Pediatr Urol*, 2018, 14(6): 537.e1–537.e6.
- [10] Howe A, Kozel Z, Palmer L. Robotic surgery in pediatric urology[J]. *Asian J Urol*, 2017, 4(1): 55–67.
- [11] 熊祥华, 周辉霞, 曹华林, 等. 机器人辅助腹腔镜小儿上尿路手术的体位、操作通道设计和机械臂安装应用体会[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2018, 39(8): 601–605.
- [12] Varda B K, Wang Y, Chung B I, et al. Has the robot caught up? National trends in utilization, perioperative outcomes, and cost for open, laparoscopic, and robotic pediatric pyeloplasty in the United States from 2003 to 2015[J]. *J Pediatr Urol*, 2018, 14(4): 336.e1–336.e8.
- [13] Bansal D, Cost N G, Bean C M, et al. Comparison of pediatric robotic-assisted laparoscopic nephroureterectomy and laparoendoscopic single-site nephroureterectomy[J]. *Urology*, 2014, 83(2): 438–442.
- [14] Lee R S, Sethi A S, Passerotti C C, et al. Robot-assisted laparoscopic nephrectomy and contralateral ureteral reimplantation in children[J]. *J Endourol*, 2010, 24(1): 123–128.
- [15] Pedraza R, Palmer L, Moss V, et al. Bilateral robotic assisted laparoscopic heminephroureterectomy[J]. *J Urol*, 2004, 171(6 Pt 1): 2394–2395.
- [16] Lee R S, Sethi A S, Passerotti C C, et al. Robot assisted laparoscopic partial nephrectomy: a viable and safe option in children[J]. *J Urol*, 2009, 181(2): 823–829.
- [17] Mason M D, Anthony Herndon C D, Smith-Harrison L I, et al. Robotic-assisted partial nephrectomy in duplicated collecting systems in the pediatric population: Techniques and outcomes[J]. *J Pediatr Urol*, 2014, 10(2): 374–379.
- [18] 周晓光, 马立飞, 陶天, 等. 机器人辅助腹腔镜重复肾半肾切除术治疗小儿重复肾输尿管畸形的临床分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(7): 531–535.
- [19] Peters C A, Schluskel R N, Retik A B. Pediatric laparoscopic dismembered pyeloplasty[J]. *J Urol*, 1995, 153(6): 1962–1965.
- [20] Minnillo B J, Cruz J A, Sayao R H, et al. Long-term experience and outcomes of robotic assisted laparoscopic pyeloplasty in children and young adults[J]. *J Urol*, 2011, 185(4): 1455–1460.
- [21] 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.
- [22] 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): 139.e1–139.e5.
- [23] 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.

- [24] Riachy E, Cost N G, Defoor W R, et al. Pediatric standard and robot-assisted laparoscopic pyeloplasty: a comparative single institution study[J]. *J Urol*, 2013, 189(1): 283–287.
- [25] Khoder W Y, Waidelich R, Ghamdi A M 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.
- [26] Olsen L H, Rawashdeh Y F, Jorgensen T M. Pediatric robot assisted retroperitoneoscopic pyeloplasty: a 5-year experience[J]. *J Urol*, 2007, 178(5): 2137–2141.
- [27] Lindgren B W, Hagerty J, Meyer T, et al. Robot-assisted laparoscopic reoperative repair for failed pyeloplasty in children: a safe and highly effective treatment option[J]. *J Urol*, 2012, 188(3): 932–937.
- [28] Hemal A K, Mishra S, Mukharjee S, et al. Robot assisted laparoscopic pyeloplasty in patients of ureteropelvic junction obstruction with previously failed open surgical repair[J]. *Int J Urol*, 2008, 15(8): 744–746.
- [29] Asensio M, Gander R, Royo G F, et al. Failed pyeloplasty in children: Is robot-assisted laparoscopic reoperative repair feasible?[J]. *J Pediatr Urol*, 2015, 11(2): 69.e1–69.e6.
- [30] 谢钧韬, 高文宗, 李作青, 等. 达芬奇机器人辅助手术治疗肾盂输尿管整形术后再狭窄 [J]. *中华小儿外科杂志*, 2019, 40(9): 821–825.
- [31] Ahn J J, Shapiro M E, Ellison J S, et al. Pediatric robot-assisted redo pyeloplasty with buccal mucosa graft: a novel technique[J]. *Urology*, 2017.DOI: 10.1016/j.urology.2016.12.036.
- [32] Elder J S. Guidelines for consideration for surgical repair of vesicoureteral reflux[J]. *Curr Opin Urol*, 2000, 10(6): 579–585.
- [33] Peters C A. Robotic assisted surgery in pediatric urology[J]. *Pediatr Endosurg Innov Tech*, 2003, 7(4): 403–413.
- [34] Casale P, Patel R P, Kolon T F. Nerve sparing robotic extravesical ureteral reimplantation[J]. *J Urol*, 2008, 179(5): 1987–1990.
- [35] Kurtz M P, Leow J J, Varda B K, et al. Robotic versus open pediatric ureteral reimplantation: costs and complications from anationwide sample[J]. *J Pediatr Urol*, 2016, 12(6): 408.e1–408.e6.
- [36] 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.
- [37] Boysen W R, Akhavan A, Ko J, et al. Prospective multicenter study on robot-assisted laparoscopic extravesical ureteral reimplantation (RALUR-EV): Outcomes and complications[J]. *J Pediatr Urol*, 2018, 14(3): 262.e1–262.e6.
- [38] 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.
- [39] Nguyen H T, Passerotti C C, Penna F J, et al. Robotic assisted laparoscopic Mitrofanoff appendicovesicostomy: preliminary experience in a pediatric population[J]. *J Urol*, 2009, 182(4): 1528–1534.
- [40] Famakinwa O J, Rosen A M, Gundeti M S. Robot-assisted laparoscopic Mitrofanoff appendicovesicostomy technique and outcomes of extravesical and intravesical approaches[J]. *Eur Urol*, 2013, 64(5): 831–836.
- [41] Gundeti M S, Petravick M E, Pariser J J, et al. A multi-institutional study of perioperative and functional outcomes for pediatric roboticassisted laparoscopic Mitrofanoff appendicovesicostomy[J]. *J Pediatr Urol*, 2016, 12(6): 386.e1–386.e5.
- [42] Grimsby G M, Jacobs M A, Gargollo P C. Comparison of complications of robot-assisted laparoscopic and open appendicovesicostomy in children[J]. *J Urol*, 2015, 194(3): 772–776.
- [43] Flood H D, Malhotra S J, O’Connell H E, et al. Long-term results and complications using augmentation cystoplasty in reconstructive urology[J]. *Neurourol Urodyn*, 1995, 14(4): 297–309.
- [44] Schlomer B J, Saperston K, Baskin L. National trends in augmentation cystoplasty in the 2000s and factors associated with patient outcomes[J]. *J Urol*, 2013, 190(4): 1352–1357.
- [45] 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.