

# 机器人辅助手术在婴幼儿UPJO中的研究进展

杨子俊, 李志鹏\*

昆明医科大学第二附属医院泌尿外科, 云南 昆明

收稿日期: 2026年2月6日; 录用日期: 2026年2月28日; 发布日期: 2026年3月12日

## 摘要

输尿管肾盂连接部梗阻(UPJO)是导致婴幼儿肾积水的主要病因, 其治疗核心在于及时解除梗阻, 以保护处于快速发育期的肾脏功能。随着微创外科技术的进步, 机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(RALP)凭借其三维高清视野、震颤过滤及关节腕式器械, 在狭小的婴幼儿操作空间中展现出显著的操作优势, 并拥有相对平滑的学习曲线, 已逐渐成为小儿泌尿外科的重要选择。但由于婴幼儿手术空间有限、手术创伤大等特点, 使得手术时机与围术期安全性仍存在争议。本文系统综述RALP在婴幼儿UPJO治疗中的研究进展, 以期为该技术的临床应用提供理论依据。

## 关键词

婴幼儿, 肾盂输尿管连接部梗阻, 机器人辅助手术, 肾盂成形术

# Research Progress of Robot-Assisted Surgery for Ureteropelvic Junction Obstruction in Infants and Young Children

Zijun Yang, Zhipeng Li\*

Department of Urology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Yunnan Kunming

Received: February 6, 2026; accepted: February 28, 2026; published: March 12, 2026

## Abstract

Ureteropelvic junction obstruction (UPJO) is the leading cause of hydronephrosis in infants and young children. The primary goal of treatment is the timely relief of obstruction to preserve renal

\*通讯作者。

function during this critical period of rapid development. Advancements in minimally invasive surgery have established robot-assisted laparoscopic pyeloplasty (RALP) as an important technique in pediatric urology. By utilizing three-dimensional high-definition visualization, tremor filtration, and articulated wristed instruments, RALP provides superior maneuverability within the confined operative space of infants and young children, along with a relatively favorable learning curve. However, due to the limited surgical working space and the inherent procedural invasivity in this population, the optimal timing for intervention and perioperative safety continue to be subjects of debate. This systematic review aims to summarize the current research progress on RALP for the treatment of UPJO in infants and young children, with the objective of providing a theoretical foundation for its clinical application.

## Keywords

Infants, Ureteropelvic Junction Obstruction, Robot-Assisted Surgery, Pyeloplasty

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

输尿管肾盂连接部梗阻(Ureter pelvic junction obstruction, UPJO)是儿童肾积水的主要病因之一, 发病率约为 1/1600~800 [1] [2]。儿童 UPJO 的病因可分为内源性和外源性两大类: 内源性病因包括先天性输尿管肌层发育不良、肾盂输尿管连接部狭窄及息肉等, 而外源性病因则主要涉及异位血管压迫[3]。随着医学影像技术的进步和产前检查的普及, 婴儿期肾积水的早期检出率持续提升, 部分患儿可能在婴幼儿期间存有手术指征, 这对于外科干预的时机以及术式的选择带来了独特的挑战[4]。自安德森和海恩斯首次提出开放性肾盂成形术(the Anderson-Hynes open pyeloplasty, OP)以来, 该术式始终是治疗 UPJO 患者的金标准[5]。近年来, 由于微创手术(minimally invasive surgery, MIS)能显著降低并发症发生率并缩短恢复时间, 其在小儿 UPJO 治疗中的应用日益广泛。与腹腔镜下肾盂输尿管成形术(laparoscopic pyeloplasty, LP)相比, 机器人辅助腹腔镜肾盂输尿管成形术(robot-assisted laparoscopic pyeloplasty, RALP)凭借高分辨率三维视野、运动缩放功能的震颤过滤技术以及腕部灵活器械等专业技术优势, 在婴幼儿 UPJO 的手术治疗中引起广泛关注[6]。本文通过探讨 RALP 在婴幼儿 UPJO 治疗中的核心争议、技术优势、临床证据及未来方向, 为临床应用提供参考。

## 2. 婴幼儿 UPJO 的治疗决策

### 2.1. 手术时机

肾盂成形术是治疗婴幼儿 UPJO 的标准术式。然而, 对于诊断先天性肾积水的患儿, 选择早期手术干预还是保守观察随访, 一直是临床决策的核心争议[7] [8]。这一决策难题的本质, 在于如何权衡早期解除梗阻以最大程度保护肾功能的潜在长期获益, 与避免对可能存在自愈可能的患儿施行不必要手术的风险。当前的临床决策并非依赖单一的传统指标, 必须建立在对多项关键参数进行动态、综合与序贯性的评估的基础之上。这种评估理念的核心在于, 任何单一检查结果都可能受到技术、生理或偶然因素的影响, 而将影像学解剖形态、肾功能及临床表现等多维度信息整合分析, 才能更真实地反映梗阻的严重程度及其对肾脏的累积损害风险, 从而为手术干预提供精准时机[9]。

对于产前发现、产后无症状的 UPJO 患儿, 其临床管理策略强调密切监测与个体化评估。且随访期间若出现严重梗阻性尿路病变(包括肾盂积水加重、肾脏实质变薄、腰部疼痛、肾动态显像患侧肾脏分肾功能低于 40% 或随访期间下降 10% 以上), 则建议进行外科手术干预[8] [10]。对于肾盂输尿管连接部梗阻中最关键的判断标准, 是临床医生需要确定患者是否需要手术治疗以及判断患者最佳的手术时机。若梗阻持续时间过长, 可能会导致患者肾损伤向不可逆病变发展。若患者术后出现影像学肾积水加重、功能学指标减退, 往往提示其肾损伤已进入不可逆阶段, 此时即便解除梗阻, 随着年龄的增长, 肾功能亦难恢复[11]。

多项研究从不同角度提供了支持: 在功能恢复潜力方面, Yaya D 等人的研究结果表明, 对于 UPJO 患儿, 肾实质恢复存在一个大约 38 个月的最佳临界年龄, 而 13 个月以下的患儿术后肾功能改善最为显著, 对于诊断 UPJO 的婴幼儿患者, 早期手术具有极大好处, 且建议应当在患儿出现严重肾损伤前实施肾盂成形术[11]。在解剖形态改善方面, Hodhod A 等人的研究表明, 3 个月龄前实施开放式肾盂成形术的患儿, 其术后肾盂积水改善百分显著优于更大龄的患儿, 且通过 Kaplan-Meier 生存曲线发现, 肾盂成形术后, 患儿 APD 改善与其实施肾盂成形术时年龄相关[12]。先前已有研究发现, 肾盂顺应性受到该部位平滑肌结构以及细胞外成分影响, 当该组织结构内肾盂胶原蛋白比例升高时, 其肾盂顺应性则会明显下降[13]。对存有手术指征的患儿, 早期实施肾盂成形术具有多项优势: 能够显著降低肾盂内压力, 提高肾功能保留率, 避免肾功能进一步损害, 同时还能降低尿路感染风险, 甚至可能避免后续手术, 且由于手术解除了梗阻, 还可促进病变肾脏生长发育, 从而降低日后发生高血压、肾功能不全以及肾萎缩等并发症的可能性[8] [14]。一项前瞻性的干预性研究为此提供了直接对照, 发现对于存在严重积水的患儿, 早期手术组在肾皮质厚度和功能指标的改善上均显著优于保守治疗组, 后者在随访 6 个月和 12 个月时出现了明显的肾功能下降[7]。其生理学基础在于, 婴幼儿期是肾单位成熟与肾脏快速增长的关键期, 持续的肾盂内高压会直接抑制这一过程, 导致肾小球滤过率下降肾小管功能受损以及肾实质进行性变薄[15]。孙启俊等人的综述综合多项研究同样指出, 对于明确诊断的 UPJO 患儿, 保守治疗观察期间肾脏发生不可逆肾损伤的风险明显增高[16]。多数学者认为, 早期解除梗阻能最大程度减少肾盂内高压对发育中肾单位的持续性机械性损伤, 并为肾脏结构和功能的代偿性恢复争取到宝贵的时间窗。

另一方面, 保守观察策略也有其明确的依据与合理性。这一立场主要基于相当比例的患儿, 特别是轻度肾积水患儿, 存在自愈的可能性。数据显示, 大多数产前诊断的病例能够自行缓解, 无需额外外科介入, 但值得注意的是, 仍有 25% 的患者需要通过手术干预的方式来有效控制病情进展, 以防止肾功能发生不可逆的进一步恶化[17]。因此, 对于未达到手术指征的无症状患儿, 采取一段时间的密切随访观察, 被视为一种避免过度医疗、筛选出自愈病例的合理策略[8] [11]。其核心原则是, 在确保安全的前提下, 通过动态监测来甄别出那部分真正需要手术的患儿。

综上所述, 婴幼儿 UPJO 手术时机的选择, 是一个基于循证指标、进行动态风险与获益评估的连续决策过程, 而非一个简单的是非判断。尽管部分轻度病例可观察自愈, 但当评估指标提示明确梗阻时, 多数研究证据支持在婴幼儿期(特别是 1 岁以内)进行早期干预, 以期获得更优的远期肾保护结局[18]。

在明确了早期手术的必要性后, 手术的安全性便成为决策的关键考量。

## 2.2. 婴幼儿期手术的安全性

选择在婴幼儿期进行手术, 必须审慎权衡其长期益处与麻醉及围手术期的短期风险[19]。传统的顾虑主要集中于三方面: 婴幼儿狭小的操作空间、对麻醉药物的高敏感性, 以及二氧化碳气腹可能引发的生理紊乱(如血流动力学波动、高碳酸血症等) [20]-[22], 这些因素不仅可能对神经发育造成长期影响[23], 还可能因为腹膜后压力升高影响肾脏血氧水平, 对肾功能造成短期潜在影响[24] [25]。且由于腹腔空间受

限, 肾盂成形术在婴幼儿中实施具有挑战性。既往研究表明, 年龄(<1岁)和体重(<10公斤)通常被视为影响小儿肾盂成形术复杂程度的两大主要因素[6][26]。值得关注的是, 一项大型回顾性研究同时指出, 腹腔镜肾盂成形术作为一种微创手术, 在治疗小儿UPJO方面应用广泛, 其在儿童群体中被证明安全有效, 但体重不足10公斤的患儿术后出现高Clavien分级并发症风险更高[27]。这些风险构成了对保守观察这一决策的重要依据。

然而, 随着围手术期管理理念与微创外科技术的飞速发展, 大量临床证据表明, 这些风险可通过系统化的方案得到有效控制, 使得婴幼儿期手术的安全性得以确立。

首先, 在麻醉与气腹管理方面, 精细化的调控策略已能有效维持生理稳定。针对气腹压力, Peng Y等人的研究表明将压力维持在较低水平(如5 mmHg)与较高压力(8 mmHg)相比, 能显著降低接受腹腔镜肾盂成形术治疗的婴幼儿的术后应激反应和氧化损伤水平[28]。在麻醉方案上, Franzini S等人的研究通过前瞻性设计证明, 即使在恒定的12 mmHg腹膜后压力下, 通过精细调整麻醉药物与机械通气参数, 并联合脑肾氧饱和度监测, 可以完全保障患儿术中呼吸、血流动力学及脑肾氧合的稳定这为解决生理扰乱问题提供了可操作的方案[29]。针对低龄、低体重患儿的技术难点, 手术策略与微创器械的进步则提供了安全可行的解决方案。对于小婴儿操作空间受限这一普遍挑战, Masieri L等人的团队提出了创新性的“风琴样”戳卡布局与利用腹壁提拉形成“帐篷效应”的技术, 使其在体重15公斤以下的婴幼儿中实施机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(RALP)时, 获得了与年长儿相似的手术空间, 且两组在手术时间与并发症发生率上无显著差异[30]。这直接回应了长期以来对操作空间狭小的顾虑。

值得注意的是, 机器人辅助手术较传统腹腔镜存在特有的操作环节, 即机器人系统的对接与准备时间。在婴幼儿手术中, 较长的麻醉总时长是影响安全性的重要因素之一。虽然机器人对接过程本身可能延长数分钟至十余分钟, 增加了麻醉暴露, 但这一劣势可通过手术过程中操作的精准度和稳定性以及对重建过程的简化弥补, 且术前准备过程也能通过手术团队的专业化训练与流程优化来显著抵消。Zhou L等人指出, 随着手术案例的增加, 整体手术时长呈逐渐下降的趋势[31]。在婴幼儿机器人手术中, 手术室布局同样重要, 包括对机器人平台的定位、操作台配置、换衣台布置、麻醉机摆放及手术助手调度, 既要充分发挥机器人功能, 又要确保手术环境安全高效。且随着经验的累计, 机器人系统的对接时间能得到进一步缩短[32]。对于具备成熟机器人团队的中心, 其带来的操作优势足以补偿甚至超越初始对接所耗费的时间, 最终实现更优的总体时间管理与围术期安全性。

当前证据表明, 尽管在婴幼儿群体间开展肾盂成形手术存在固有的生理与技术挑战, 但通过优化的麻醉气腹管理、改良的手术入路、微创外科技术(特别是机器人辅助技术)的应用以及手术团队经验的积累, 手术团队能够有效管理风险, 使婴幼儿患者获得与年长儿同等安全、有效的手术治疗。因此, 在手术指征明确的前提下, 安全性问题不应再成为延迟必要干预的绝对障碍, 这些围术期技术的成熟和优化为临床医生在选择“早期干预”与“保守观察”之间提供了关键支持。

### 3. RALP 在婴幼儿中的应用

#### 3.1. 机器人辅助手术的应用现状

历史上, OP一直是作为治疗UPJO患儿得到标准方案。然而, 随着微创理念与外科手术技术的进步, 最终推动了机器人辅助手术的出现与发展[33]。自2004年Olsen等人首次将RALP应用于儿科患者以来, 该技术在小儿泌尿外科领域, 特别是在需要精细缝合的重建手术中, 得到了迅速关注[34]。传统腹腔镜器械因其自由度有限, 在婴幼儿狭小的操作空间内完成高难度的肾盂输尿管吻合极具挑战, 且高度依赖术者高超的腹腔镜操作技巧以及手术经验。机器人手术系统的问世, 以其三维高清视野、震颤过滤及Endo Wrist器械的灵活运动, 突破了这些技术限制, 使在密闭空间内的精细缝合变得更为直观和稳定[35]。机

机器人辅助手术属于团队协作性极强的操作, 常需配备专业且成熟的护理团队, 其培训不仅对主刀医生重要, 对整个手术团队同样关键, 在学习初期, 必须在指导人员监督下进行多次手术操作[36] [37]。

该未来的技术发展, 术中吲哚菁绿荧光成像(indocyanine green, ICG)、手术机器人系统与器械的小型化以及 5G 远程通信技术是未来发展的三个关键维度。ICG 荧光成像技术能实现实时的解剖与功能导航, 提升手术的精准性与安全性[38] [39]; 系统与器械的小型化则直接扩大了技术在低龄、低体重患儿中的应用范围, 并有望实现更精细的操作; 而人工智能和 5G 通信技术的进步将彻底打破优质医疗资源的地域限制, 同时减少专家团队的奔波需求, 实现远程手术操作和指导[40]。

尽管 RALP 优势巨大, 但相关文献显示, 机器人辅助手术在小儿泌尿外科领域的应用仍较为有限。主要限制在于成本, 多项研究证实, 每例 RALP 手术的耗材与设备成本可能高达传统 LP 的 3 至 4 倍, 这给医疗系统及患者家庭带来了显著的经济负担, 在资源有限地区尤为突出[41] [42]。然而, 单纯的费用对比并不能完全定义其“价值”。当前的成本效益分析正转向更全面的评估框架, 在临床应用中, RALP 的额外支出是合理的。例如, 对于体重低于 10 公斤的婴幼儿、二次手术巨大肾积水或者解剖结构复杂的病例, 机器人系统在狭小空间内实现精细操作的优势被放大。这种优势可能转化为更低的术中转开放手术率、更少的围手术期并发症(如吻合口狭窄、尿漏)以及更短的住院时间[43]。从经济学角度看, 虽然初期投入高, 但上述获益可能减少因治疗失败或并发症所产生的二次医疗开销, 并带来更佳的患者生活质量, 从而在长期视角下展现出潜在的成本效用优势。

其次, 机器人平台器械相对庞大的体积常被认为是用于低体重婴幼儿的主要障碍, 加之新生儿手术操作难度大以及缺乏合适尺寸的儿科器械, 导致早期许多学者建议将适用体重阈值设定在 10 至 15 公斤[44] [45]。但随着新型机器人平台的上市应用, 显著降低设备成本, 以及更小型化适合小儿的手术器械研发, 这一限制正被逐步突破。

此外, 手术机器人平台正朝着创伤更小的方向发展, 单孔机器人辅助手术(robot-assisted single-port laparoscopic pyeloplasty (RSLP))已成为前沿探索。在婴幼儿中实施 R-LESS, 理论上可实现更隐蔽的切口、更佳的美容效果并可能进一步减少术后疼痛。这一优势在双侧肾积水患儿中优势更为明显[46]。然而, 其在婴幼儿 UPJO 治疗中的应用仍面临挑战, 包括单一切口下器械间的相互干扰(“筷子效应”)、三角操作视野的丧失以及适合婴幼儿尺寸的单孔器械的缺乏。尽管已有初步案例报道证实可以通关术中多成悬吊或术前对戳卡位置进行调整改善手术视野, 但将其确立为常规术式仍需更小型化、智能化器械的研发以及大量临床实践以验证其安全性和疗效[46] [47]。

### 3.2. RALP 在婴幼儿及新生儿中的表现

RALP 的优势明确。多项研究指出, 其最大的价值在于结合了现代医学微创入路与近乎传统开放的缝合精度, 同时拥有相较于传统腹腔镜更短更平滑的学习曲线[6] [48]。这些特点使其被视为小儿泌尿外科领域的标志性技术。Abdulfattah 等人开展的一项多机构回顾性研究纳入了 448 例患儿, 该研究进一步指出, 在婴儿群体中, RALP 不仅安全可行, 且相较于 OP, 能显著减少术后阿片类药物使用、缩短住院时长、并降低严重并发症的发生风险[49]。Bindi 等人的一项国际多中心研究同样显示, 对于体重低于 15 kg 的患儿, RALP 与 LP 的短期疗效和安全性已无显著差异, 且 RALP 能有效缩短手术时间, 从而减少麻醉药物使用并缩短气管插管时长[50]。同时, Kuiqing L 等人的一项 Meta 分析表明, 与 LP 相比, RALP 在手术成功率、手术时长、住院时间及术后并发症发生率方面均展现出显著优势[51]。值得注意的是, 尽管手术时长受到病情复杂程度与术者经验等因素影响, 但机器人系统凭借其精细操作与稳定视野, 能有效在狭小空间内规避误损伤, 提升重建效率, 对于婴幼儿而言, 无疑是更安全的选择[52] [53]。

随着产前筛查的普及, 婴幼儿期接受手术的比例也随之增加, 这对手术的安全性、精准度及微创性

提出了极高要求。Rague 的一项研究指出, 据流行病学数据显示, 接受 RALP 治疗的婴幼儿的占比呈逐年增加[54]。多项研究进一步验证了该技术的普适性与安全性: Kawal 等人针对 1 岁以内婴幼儿的大样本研究结果显示: 1 岁以内接受机器人腹腔镜肾盂成形术的婴幼儿术后治疗效果及并发症发生率表现优异, 与年长患儿相比较, 两个组手术成功率分别为 94.1% 和 96.2%, 组间无显著差异; 两组的总体并发症发生率分别为 29.4% 和 30.8%, 差异亦无统计学意义, 且婴幼儿术后对镇痛药物的需求明显低于年长儿童[55]。Li W 等人的分析指出, 尽管婴儿手术干预受限于视野范围及操作空间, 但其病变部位解剖清晰、炎症轻, 反而有利于精细重建, 同时报道了 3 个月龄以下新生儿出色的治疗效果[56]; Zhang X 等人的对比研究则显示, 对 3 个月龄以内的患儿实施 RALP, 不仅其远期疗效与 3 个月至 1 岁的患儿相当, 而且低龄组患儿术后 APD 以及分肾功能变化幅度更为显著[57]。这些研究共同证实了 RALP 在婴幼儿 UPJO 中的独特价值。

#### 4. 总结

在手术技术层面, 机器人辅助手术显著提升了在 UPJO 婴幼儿狭小空间内重建的精准度与可控性。现有证据表明, 其疗效与传统腹腔镜相当, 且在术后并发症发生率、恢复时间以及手术时间上更占优势, 这极大程度提升了其在婴幼儿群体中的临床价值。在治疗策略层面, 决策需双重考量: 一是疾病本身的干预时机, 需警惕保守治疗下肾功能进行性损伤的风险; 二是技术选择, 尽管 RALP 带来了确切的围手术期获益, 但其高昂成本与远期肾功能保护优势尚需更长期随访证实, 仍是其广泛应用的核心制约。

展望未来, 通过成本效益的优化分析、专用器械的研发、单孔机器人技术的成熟, 以及术中导航(如 ICG)等新技术的整合, 通过远期肾功能保护与生活质量的前瞻性研究和预测模型的建立, 将能更科学地确定 RALP 在婴幼儿 UPJO 个体化治疗中的价值。

#### 参考文献

- [1] Cai, P.Y. and Lee, R.S. (2023) Ureteropelvic Junction Obstruction/Hydronephrosis. *Urologic Clinics of North America*, **50**, 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2023.04.001>
- [2] Weitz, M., Schmidt, M. and Laube, G. (2017) Primary Non-Surgical Management of Unilateral Ureteropelvic Junction Obstruction in Children: A Systematic Review. *Pediatric Nephrology*, **32**, 2203-2213. <https://doi.org/10.1007/s00467-016-3566-3>
- [3] 张淮平, 杨洋, 汪添益. 关于肾盂输尿管连接部梗阻病因和治疗的认知与争议[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(6): 401-404.
- [4] Vemulakonda, V.M. (2021) Ureteropelvic Junction Obstruction: Diagnosis and Management. *Current Opinion in Pediatrics*, **33**, 227-234. <https://doi.org/10.1097/mop.0000000000000994>
- [5] Anderson, J.C. and Hynes, W. (1949) Retrocaval Ureter: A Case Diagnosed Pre-Operatively and Treated Successfully by a Plastic Operation. *British Journal of Urology*, **21**, 209-214. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410x.1949.tb10773.x>
- [6] Andolfi, C., Adamic, B., Oommen, J. and Gundeti, M.S. (2019) Robot-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty in Infants and Children: Is It Superior to Conventional Laparoscopy? *World Journal of Urology*, **38**, 1827-1833. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02943-z>
- [7] Babu, R., Rathish, V.R. and Sai, V. (2015) Functional Outcomes of Early versus Delayed Pyeloplasty in Prenatally Diagnosed Pelvi-Ureteric Junction Obstruction. *Journal of Pediatric Urology*, **11**, 63.e1-63.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2014.10.007>
- [8] Tabari, A.K., Atqiaee, K., Mohajerzadeh, L., Rouzrokh, M., Ghoroubi, J., Alam, A., et al. (2020) Early Pyeloplasty versus Conservative Management of Severe Ureteropelvic Junction Obstruction in Asymptomatic Infants. *Journal of Pediatric Surgery*, **55**, 1936-1940. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.08.006>
- [9] Hodhod, A., Turpin, S., Petrella, F., Jednak, R., El-Sherbiny, M. and Capolicchio, J. (2021) Validation of Modified Diuretic Drainage Times Criteria in Congenital Hydronephrosis. *Journal of Pediatric Urology*, **17**, 832.e1-832.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2021.08.013>
- [10] Kelley, J.C., White, J.T., Goetz, J.T., Romero, E., Leslie, J.A. and Prieto, J.C. (2016) Sonographic Renal Parenchymal

- Measurements for the Evaluation and Management of Ureteropelvic Junction Obstruction in Children. *Frontiers in Pediatrics*, **4**, Article ID: 42. <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00042>
- [11] Yayla, D., Demirtas, G., Karabulut, B., and Tiryaki, H.T. (2023) What Is the Critical Age for the Improvement of Parenchymal Thickness after Pyeloplasty? *Urology Journal*, **20**, 344-349.
- [12] Hodhod, A., Eid, H., Fermin-Risso, C., Farhad, M., Aburezq, J., Cook, A., *et al.* (2024) Significant Improvement in Hydronephrosis with Pyeloplasty Prior to 3 Months of Age in Patients with Antenatal Severe Hydronephrosis. *International Urology and Nephrology*, **56**, 2467-2473. <https://doi.org/10.1007/s11255-024-04002-y>
- [13] Kajbafzadeh, A., Payabvash, S., Salmasi, A.H., Monajemzadeh, M. and Tavangar, S.M. (2006) Smooth Muscle Cell Apoptosis and Defective Neural Development in Congenital Ureteropelvic Junction Obstruction. *Journal of Urology*, **176**, 718-723. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2006.03.041>
- [14] Chandrasekharam, V.V.S.S., Srinivas, M., Bal, C.S., Gupta, A.K., Agarwala, S., Mitra, D.K., *et al.* (2001) Functional Outcome after Pyeloplasty for Unilateral Symptomatic Hydronephrosis. *Pediatric Surgery International*, **17**, 524-527. <https://doi.org/10.1007/s003830100604>
- [15] 杨屹, 刘鑫. 产前肾积水的生后评价[J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(6): 405-408.
- [16] 孙启俊, 刘章骥, 符舒越, 等. 婴儿先天性 UPJO 导致的肾积水手术时机及治疗策略研究进展[J]. 发育医学电子杂志, 2024, 12(4): 290-295.
- [17] Yalçınkaya, F. and Özçakar, Z.B. (2019) Management of Antenatal Hydronephrosis. *Pediatric Nephrology*, **35**, 2231-2239. <https://doi.org/10.1007/s00467-019-04420-6>
- [18] Simforoosh, N., Abedi, A., Hosseini Sharifi, S.H., Poor Zamany NK, M., Rezaeetalab, G.H., Obayd, K., *et al.* (2014) Comparison of Surgical Outcomes and Cosmetic Results between Standard and Mini Laparoscopic Pyeloplasty in Children Younger than 1 Year of Age. *Journal of Pediatric Urology*, **10**, 819-823. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2014.01.026>
- [19] Weitz, M., Portz, S., Laube, G.F., Meerpohl, J.J. and Bassler, D. (2016) Surgery versus Non-Surgical Management for Unilateral Ureteric-Pelvic Junction Obstruction in Newborns and Infants Less than Two Years of Age. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 7, CD010716. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd010716.pub2>
- [20] Streich, B., Decailliot, F., Perney, C. and Duvaldestin, P. (2003) Increased Carbon Dioxide Absorption during Retroperitoneal Laparoscopy. *British Journal of Anaesthesia*, **91**, 793-796. <https://doi.org/10.1093/bja/aeg270>
- [21] Karsli, C., El-Hout, Y., Lorenzo, A.J., Langer, J.C., Bägli, D.J., Pippi Salle, J.L., *et al.* (2011) Physiological Changes in Transperitoneal versus Retroperitoneal Laparoscopy in Children: A Prospective Analysis. *Journal of Urology*, **186**, 1649-1652. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2011.03.069>
- [22] 史素慧, 范春玲, 刘永哲, 等. 小儿机器人辅助腹腔镜肾盂成形术中动脉血二氧化碳分压对局部脑氧饱和度的影响[J]. 解放军医学杂志, 2022, 47(10): 1020-1025.
- [23] Scott, J.P. and Hoffman, G.M. (2013) Near-Infrared Spectroscopy: Exposing the Dark (Venous) Side of the Circulation. *Pediatric Anesthesia*, **24**, 74-88. <https://doi.org/10.1111/pan.12301>
- [24] Çalışkan, E., Şanal Baş, S., Onay, M., Kılıç, Y., Kayhan Erdoğan, G. and Tokar, B. (2020) Evaluation of Renal Oxygenization in Laparoscopic Pediatric Surgery by near Infrared Spectroscopy. *Pediatric Surgery International*, **36**, 1077-1086. <https://doi.org/10.1007/s00383-020-04709-w>
- [25] Blanc, T., Abbo, O., Vatta, F., Grosman, J., Marquant, F., Elie, C., *et al.* (2022) Transperitoneal versus Retroperitoneal Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty for Ureteropelvic Junction Obstruction in Children. a Multicentre, Prospective Study. *European Urology Open Science*, **41**, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.euros.2022.05.009>
- [26] Li, P., Zhou, H., Cao, H., Guo, T., Zhu, W., Zhao, Y., *et al.* (2021) Early Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty for Infants under 3 Months with Severe Ureteropelvic Junction Obstruction. *Frontiers in Pediatrics*, **9**, Article ID: 590865. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.590865>
- [27] He, Y., Song, H., Liu, P., Sun, N., Tian, J., Li, M., *et al.* (2020) Primary Laparoscopic Pyeloplasty in Children: A Single-Center Experience of 279 Patients and Analysis of Possible Factors Affecting Complications. *Journal of Pediatric Urology*, **16**, 331.e1-331.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2020.03.028>
- [28] Peng, Y., Zhu, M. and Chen, C. (2024) Application of Different CO<sub>2</sub> Pneumoperitoneum Pressure in Laparoscopic Pyeloplasty for Infants with Ureteropelvic Junction Obstruction. *Frontiers in Pediatrics*, **12**, Article ID: 1380985. <https://doi.org/10.3389/fped.2024.1380985>
- [29] Franzini, S., Querciagrossa, S., Brebion, M., Consonni, D., Blanc, T. and Orliaguet, G. (2023) Effect of Retroperitoneum on Cerebral and Renal Oxygen Saturation during Retroperitoneal Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty (R-RALP) in a Pediatric Population: Preliminary Results of a Prospective Observational Study Using a Dedicated Anesthetic Protocol and Near-Infrared Spectroscopy. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, **42**, Article 101234. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2023.101234>

- [30] Masieri, L., Sforza, S., Grosso, A.A., Cini, C., Viola, L., Tellini, R., *et al.* (2020) Does the Body Weight Influence the Outcome in Children Treated with Robotic Pyeloplasty? *Journal of Pediatric Urology*, **16**, 109.e1-109.e6. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2019.10.023>
- [31] Zhou, L., Huang, J., Xie, H. and Chen, F. (2024) The Learning Curve of Robot-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty in Children. *Journal of Robotic Surgery*, **18**, Article No. 97. <https://doi.org/10.1007/s11701-024-01856-3>
- [32] Subramaniam, R. (2018) Current Use of and Indications for Robot-Assisted Surgery in Paediatric Urology. *European Urology Focus*, **4**, 662-664. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2018.08.020>
- [33] Bergersen, A., Thomas, R. and Lee, B.R. (2018) Robotic Pyeloplasty. *Journal of Endourology*, **32**, S-68-S-72. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0726>
- [34] Olsen, L.H. and Jorgensen, T.M. (2004) Computer Assisted Pyeloplasty in Children: The Retroperitoneal Approach. *Journal of Urology*, **171**, 2629-2631. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000110655.38368.56>
- [35] Esposito, C., Masieri, L., Castagnetti, M., Sforza, S., Farina, A., Cerulo, M., *et al.* (2019) Robot-Assisted vs Laparoscopic Pyeloplasty in Children with Uretero-Pelvic Junction Obstruction (UPJO): Technical Considerations and Results. *Journal of Pediatric Urology*, **15**, 667.e1-667.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2019.09.018>
- [36] Corcione, F., Esposito, C., Cuccurullo, D., Settembre, A., Miranda, N., Amato, F., *et al.* (2004) Advantages and Limits of Robot-Assisted Laparoscopic Surgery: Preliminary Experience. *Surgical Endoscopy*, **19**, 117-119. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-9004-9>
- [37] Esposito, C., Masieri, L., Castagnetti, M., Pelizzo, G., De Gennaro, M., Lisi, G., *et al.* (2023) Current Status of Pediatric Robot-Assisted Surgery in Italy: Epidemiologic National Survey and Future Directions. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, **33**, 610-614. <https://doi.org/10.1089/lap.2019.0516>
- [38] Esposito, C., Coppola, V., Del Conte, F., Cerulo, M., Esposito, G., Farina, A., *et al.* (2020) Near-Infrared Fluorescence Imaging Using Indocyanine Green (ICG): Emerging Applications in Pediatric Urology. *Journal of Pediatric Urology*, **16**, 700-707. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2020.07.008>
- [39] Castrillo, A., Molino, J.A., Lopez-Fernandez, S., Martos, M., López, M. and Guillén, G. (2025) Clinical Utility of Indocyanine Green Fluorescence in Neonatal Surgery: A Single-Center Study and Systematic Review. *European Journal of Pediatric Surgery*, **35**, 448-459. <https://doi.org/10.1055/a-2631-5779>
- [40] Esposito, C., Autorino, G., Castagnetti, M., Cerulo, M., Coppola, V., Cardone, R., *et al.* (2021) Robotics and Future Technical Developments in Pediatric Urology. *Seminars in Pediatric Surgery*, **30**, Article 151082. <https://doi.org/10.1016/j.sempedsurg.2021.151082>
- [41] Silay, M.S., Danacioglu, O., Ozel, K., Karaman, M.I. and Caskurlu, T. (2020) Laparoscopy versus Robotic-Assisted Pyeloplasty in Children: Preliminary Results of a Pilot Prospective Randomized Controlled Trial. *World Journal of Urology*, **38**, 1841-1848. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02910-8>
- [42] Sun, L., Zhao, D., Shen, Y., Tang, D., Chen, G., Zhu, L., *et al.* (2023) Laparoscopic versus Robot-Assisted Pyeloplasty in Infants and Young Children. *Asian Journal of Surgery*, **46**, 868-873. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2022.09.046>
- [43] Chertin, L., Verhovskiy, G., Jaber, J., Chertin, B., Zisman, A., Kocherov, S. and Neheman, A. (2024) Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty in Challenging Cases of Ureteropelvic Junction Obstruction in the Pediatric Population: A Multicenter Review. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques, Part A*, **34**, 443-447.
- [44] Ballouhey, Q., Clermidi, P., Cros, J., Grosos, C., Rosa-Arsène, C., Bahans, C., *et al.* (2018) Comparison of 8 and 5 Mm Robotic Instruments in Small Cavities: 5 or 8 Mm Robotic Instruments for Small Cavities? *Surgical Endoscopy*, **32**, 1027-1034. <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5781-9>
- [45] Esposito, C., Cerulo, M., Lepore, B., Coppola, V., D'Auria, D., Esposito, G., *et al.* (2023) Robotic-Assisted Pyeloplasty in Children: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Robotic Surgery*, **17**, 1239-1246. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01559-1>
- [46] He, Z., Li, J., Zhang, Y., Xiao, C., Zhong, W., Qiu, J., *et al.* (2025) Comparison of the Treatment Effect of Laparoscopic and Robot-Assisted Single-Port Laparoscopic Pyeloplasty on Ureteropelvic Junction Obstruction in Infants. *Journal of Robotic Surgery*, **19**, Article No. 353. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02528-6>
- [47] Wang, Y., Li, J., Du, G., Wu, R. and Liu, W. (2025) Feasibility and Effectiveness of Transumbilical Single-Site Laparoscopic Pyeloplasty for Unilateral UPJO in Infants. *Journal of Pediatric Surgery*, **60**, Article 162557. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2025.162557>
- [48] Koga, H., Murakami, H., Seo, S., Ochi, T., Nakamura, H., Miyake, Y., *et al.* (2023) Retroperitoneoscopic Pyeloplasty for Ureteropelvic Junction Obstruction in Children: Value of Robotic Assistance. *Journal of Pediatric Surgery*, **58**, 1291-1295. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2023.02.025>
- [49] Abdulfattah, S., Aghababian, A., Eftekharzadeh, S., Davis, M., Nadeem, I., Saxena, S., *et al.* (2025) Comparative Study of Open and Robot-Assisted Approaches to Ureteropelvic Junction Obstruction in Children  $\leq 12$  Months: A Multi-Institutional Retrospective Analysis. *Journal of Pediatric Urology*, **22**, Article 105542.

- 
- [50] Bindi, E., Cobellis, G., 't Hoen, L.A., Lammers, R.J.M., O'Kelly, F., Dönmez, M.İ., *et al.* (2024) Has Robot-Assisted Pyeloplasty Reached Outcome Parity with Laparoscopic Pyeloplasty in Children < 15 Kg? A Paediatric YAU International Multi-Center Study. *Journal of Pediatric Urology*, **20**, 1154-1159. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2024.09.008>
- [51] Kuiqing, L., Shangyan, H., Cheng, L., Zhuohang, L., Juanyi, S., Cong, L., *et al.* (2025) Robotic-Assisted versus Conventional Laparoscopic Pyeloplasty in Pediatric Ureteropelvic Junction Obstruction: A Meta-Analysis of Efficacy, Safety, and Age-Stratified Outcomes. *Journal of Robotic Surgery*, **19**, Article No. 443. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02621-w>
- [52] Wong, Y.S., Pang, K.K.Y. and Tam, Y.H. (2021) Comparing Robot-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty vs. Laparoscopic Pyeloplasty in Infants Aged 12 Months or Less. *Frontiers in Pediatrics*, **9**, Article ID: 647139. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.647139>
- [53] Gao, J., Zhang, S., Wang, L. and Wang, X. (2025) Safety and Efficacy of Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty for Ureteropelvic Junction Obstruction in Infants under 6 Months. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 13737. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99115-4>
- [54] Rague, J.T., Arora, H.C., Chu, D.I., Shannon, R., Rosoklija, I., Johnson, E.K., *et al.* (2022) Safety and Efficacy of Robot-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty Compared to Open Repair in Infants under 1 Year of Age. *Journal of Urology*, **207**, 432-440. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000002232>
- [55] Kawal, T., Srinivasan, A.K., Shrivastava, D., Chu, D.I., Van Batavia, J., Weiss, D., *et al.* (2018) Pediatric Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty: Does Age Matter? *Journal of Pediatric Urology*, **14**, 540.e1-540.e6. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2018.04.023>
- [56] Li, W., She, X., Chen, C., Shi, B., Chen, P., Luo, J., *et al.* (2025) Robot-assisted Laparoscopic Pyeloplasty in Infants under 3 Months: Single-Institution Study Findings, Safety Measures, and Success Strategies. *Journal of Endourology*, **39**, 470-476. <https://doi.org/10.1089/end.2024.0717>
- [57] Zhang, X., Zhao, Y., Tao, T., Cao, H., Yi, X., Zhou, X., *et al.* (2025) Long-Term Outcomes of Robotic-Assisted Laparoscopic Pyeloplasty for Unilateral Ureteropelvic Junction Obstruction in Infants. *Journal of Pediatric Surgery*, **60**, Article 162561. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2025.162561>