

·专题·泌尿系统结石·

经皮肾镜取石术在儿童肾结石治疗中的应用及进展



全文二维码



开放科学码

刘昭荣¹ 李玉根¹ 邹军荣² 何志华²

【摘要】 儿童泌尿系统结石的发病率呈现逐年上升的趋势。经皮肾镜取石术(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)具有结石清除率高的优点。对于儿童铸型肾结石、直径>2 cm肾结石以及直径>1 cm肾下盏结石,PCNL是首选治疗方式。本文对儿童肾结石的治疗现状和儿童PCNL的适应证、禁忌证以及手术相关技术的进展进行综述。

【关键词】 肾结石/外科学;经皮肾镜取石术;儿童

【中图分类号】 R692.4 R726.1

Applications and advances of percutaneous nephrolithotomy for kidney calculi in children. Liu Zhaorong¹, Li Yugen¹, Zou Junrong², He Zhihua². 1. Graduate School; 2. Department of Urology, First Affiliated Hospital, Gannan Medical University, Ganzhou 341000, China. Corresponding author: He Zhihua, Email: icwei@126.com

【Abstract】 The incidence of kidney calculi in children has been spiking in recent years. The outstanding advantage of percutaneous nephrolithotomy (PCNL) is its high stone-free rate. It is a primary treatment for stag-horn calculus, >2 cm renal pelvis calculus and >1 cm lower pole calyceal stones in children. In this review, the latest advances were summarized for the treatment of kidney calculi, contraindication, indications and technique refinements of PCNL in children.

【Key words】 Kidney Calculi/SU; Percutaneous Nephrostomy; Child

儿童肾结石是一个重要的临床问题,随着CT等诊断儿童结石技术的普及,以及人们的生活习惯、饮食习惯和周围环境的改变,儿童泌尿系统结石发生率在全球范围内呈现上升趋势^[1]。2016年美国发布的流行病学调查显示,在过去几十年中,儿童肾结石的总体发病率增加了近5倍,发病率每年稳步增加6%~10%,目前青少年肾结石发病率约为50/10万,儿童肾结石发病率为1%~2.7%^[2,3]。

随着儿童肾结石发病率的增长,手术干预的需求也随之增加。欧洲泌尿外科学会(European Association of Urology, EAU)指南推荐,经皮肾镜取石术(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)是治疗儿童铸型肾结石、直径>2 cm肾结石以及直径>1 cm肾下盏结石的首选治疗方法^[4,5]。本文对儿童肾结石的

治疗现状和儿童PCNL技术发展及其应用进行综述,以为不同病情患儿选择合适的术式提供参考。

一、儿童泌尿系统结石的治疗现状

随着医疗技术的进步,儿童泌尿系统结石的手术治疗,由开放手术走向微创手术^[4]。对于儿童上尿路结石,体外冲击波碎石(extracorporeal shock wave lithotripsy, ESWL)、经尿道逆行肾内取石术(retrograde intrarenal surgery, RIRS)(例如输尿管软/硬镜碎石术)以及PCNL是目前最常用的3种治疗方法。儿童的结石复发率较高,肾脏较小且集合系统更紧密,同时对手术及麻醉的耐受性较差,因此与成人上尿路结石的治疗相比,儿童需要更准确地把握各种治疗方法的适应证,选择一种更高效且对肾脏发育影响较小的治疗方法。

ESWL自1986年首次报道以来,一直是儿童肾结石的一线治疗方法,EAU和美国泌尿外科学会(American Urological Association, AUA)都推荐ESWL为治疗直径<2 cm儿童上尿路结石的首选方法^[4,6]。虽然儿童ESWL术后结石碎块排出较成人

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.08.008

基金项目:赣南医学院重点校级科研课题(编号:ZD201835);赣南医学院研究生创新专项资金立项项目(编号:YC2019-X0014)

作者单位:赣南医学院;1.研究生院;2.第一附属医院泌尿外科(江西省赣州市,341000)

通信作者:何志华, Email: icwei@126.com

更容易,并发症发生率也较低,可以门诊手术,避免住院,减少了手术时间和医疗费用^[7]。但是与其他2种常用治疗方式相比,ESWL 结石清除率较低(短期为67%~93%,长期随访为57%~92%),再次手术率高^[5]。针对其缺陷,目前ESWL技术的进展主要包括:①儿童ESWL可以在全身麻醉下进行,通过高频低通气来减少呼吸运动,增加碎石命中率;②通过整个过程中连续的较低辐射暴露的透视和实时超声,确定最佳的碎石位置,增加结石的碎石率^[8]。RIRS也是治疗儿童上尿路结石的常用方法。与PCNL相比,在中等大小(1~2 cm)结石清除率上无明显差异,但是在婴幼儿中,由于输尿管、肾盂较小,逆行较为困难,明显增加了黏膜损伤/撕脱、肾盂肾盏出口撕裂伤和输尿管狭窄的风险。Sancak等^[9]报道920例上尿路结石患儿行软性输尿管碎石术的结石清除率为81.7%,研究发现结石位置、肾盂肾盏出口是否狭窄以及结石大小均对上尿路结石清除率有影响。因此,RIRS在治疗儿童的较大结石和复杂结石方面存在不足,需要使用更小更灵活的软性输尿管镜。与RIRS及ESWL相比,PCNL在治疗上尿路复杂及直径>2 cm结石方面具有较高的结石清除率,且再次手术率低,并发症无明显增加,但手术时间和辐射暴露相对增加^[7,10]。EAU指南推荐PCNL作为儿童铸型结石、直径>2 cm肾盂结石以及>1 cm肾下盏结石的首选治疗方法。

二、儿童经皮肾镜取石术技术要点

1976年,Fnrstrom等开启了PCNL的先河。PCNL治疗肾结石,具有结石清除率高(73%~96%)、创伤小、患儿术后恢复快、手术效果与传统开放手术相当、住院时间短等优点^[11]。1985年Woodside等^[12]首先报道儿童经皮肾镜取石术,此后儿童PCNL技术逐渐成熟,在儿童肾结石治疗中的应用也更加广泛。

(一)适应证与禁忌证

儿童PCNL的适应证,在有合适的儿童PCNL器材情况下,年龄不是限制因素^[4,5],推荐用于:①完全性或不完全性铸型肾结石;②直径>2 cm肾盂/肾盏结石;③直径>1 cm肾下盏结石;④ESWL难以粉碎或治疗失败的肾结石(如胱氨酸结石);⑤RIRS置镜或碎石失败的输尿管上段及肾结石;⑥息肉包裹或输尿管迂曲狭窄不能排出的肾结石。在临床应用中,因ESWL和RIRS在儿童肾结石治疗中受到年龄、手术仪器等限制和超微通道经皮肾镜取石术(Ultra-Mini PCNL/Super-Mini-PCNL)、超

微小通道经皮肾镜取石术(micro-PCNL)等新技术的出现,对于直径>1 cm肾盂结石,也可以选择PCNL治疗。儿童PCNL禁忌证主要包括:①未纠正的全身出血性疾病;②严重的心肺疾病和其他基础疾病无法耐受麻醉及手术;③未治疗的尿路感染;④预定通道周围组织炎症或肿瘤;⑤肾脏潜在恶性肿瘤等。

(二)体位和麻醉方法

对于儿童PCNL的体位,成人经尿道置入输尿管支架时,通常采用截石位,儿童和成人不同的是,年纪较小的儿童可用布包或垫子垫高双脚,而不必使用脚架,避免过度伸展。常见经皮肾镜体位有俯卧位、仰卧位、侧卧位和横向位置^[13]。目前儿童PCNL通常采取俯卧位,在保护患儿的同时把患侧肾尽量向后、向下推,可得到一个最适宜的穿刺区域,这样不仅有利于精准穿入任何一个肾盂、肾盏,同时增加肾镜的操作空间。因此对于肥胖和铸型肾结石患儿,俯卧位具有手术时间短和结石清除率高等优点^[14]。因儿童疼痛耐受差,配合较差,目前麻醉方式主要采取全身麻醉。俯卧位存在的弊端主要是:①增加胸腔压力并影响呼吸循环功能;②增加麻醉的难度和心脑血管意外的风险。

另一种常用体位是仰卧位。Gamal等^[15]报道了仰卧位PCNL在儿童中应用的安全性和有效性,结果表明仰卧位PCNL会增加手术医生的操作难度,但可以使患儿和麻醉医生感到更加舒适,有利于减少患儿因热量丢失发生低体温,降低因液体吸收导致电解质紊乱的风险,并且有利于麻醉监护。Falahatkar等^[16]Meta分析显示仰卧位与俯卧位PCNL相比在手术时间、住院天数、术后并发症等方面无明显差异,但仰卧位术后出现发热和输血的风险较低。最新一项包含15个RCT研究的Meta分析表明,仰卧位与俯卧位PCNL相比,结石清除率无明显差异,术后出现发热的比例较低^[17]。所以仰卧位PCNL对于儿童肾、输尿管上段结石是一种比较安全有效的方法,但目前仍缺乏多中心、大样本研究进一步证实。

(三)穿刺定位

成功建立一个合适的手术通道,且能准确地穿刺中目标肾盏,是PCNL手术的重要步骤,决定着并发症发生率和结石清除率^[18]。与成人穿刺相比,儿童PCNL穿刺有其特殊性要求,手术时间短,成功率高,出血量少,因此建立工作通道时须谨慎小心,遵循“宁浅勿深”的原则^[19]。儿童PCNL最初利用X

线透视引导(fluoroscopic guidance, FGA)定位穿刺,主要方法包括靶心定位和三角测量定位。这种操作方法比较简单、直接,有利于各个不同层次医院和不同经验医生开展。存在的问题主要是X线透视引导会增加患儿及术者的辐射暴露。同样,在肾脏解剖异常或周围组织异常导致X线透视引导和超声引导失败的病例上使用的CT引导穿刺定位,也因为其辐射暴露而限制了其使用。

在儿童PCNL手术穿刺定位中,我国学者推荐应用超声引导(ultrasonography-guided, USGA)定位穿刺。20世纪80年代,广州医科大学附属第一医院在临床中选择性应用超声引导定位技术进行穿刺。自2006年高宁等^[20]首次报道儿童超声引导下PCNL以来,超声引导定位在我国被广泛应用于儿童PCNL穿刺定位,成为主要穿刺引导手段,最大程度地减少了X线透视辐射量。2017年,Liu等^[21]进行的X线透视引导和超声引导定位比较的Meta分析显示,二者在术后结石清除率、手术时间和住院天数、首次穿刺成功率、血红蛋白减少量、输血及并发症(主要是发热)发生率等方面无差异。在此基础上,有专家提出了完全无透视超声引导定位穿刺(fluoroscopy-free ultrasonography-guided)。2018年Nouralizadeh等^[22]报道的一个单中心小儿无X线透视检查的超声引导下的PCNL研究表明,对于所有年龄段患儿,无X线透视超声引导定位穿刺是一种安全的方法,且可大大减少患儿的辐射量。目前,最新的一种可视穿刺针(all-seeing needle)技术已经开始逐渐用于儿童的PCNL,这种可视穿刺针是将穿刺针和光学内窥镜结合起来,通过超声引导,在直视条件下建立最佳的皮肾通道,大大降低了穿刺引起的各种并发症发生率^[23]。

(四)碎石技术

目前常用的肾内碎石技术,主要有液电、气压弹道、超声、激光4种^[24]。每种技术都有各自的特色,应根据患儿及结石情况(大小、位置和硬度)选择合适碎石技术。液电技术虽然成本最低,但与其他碎石技术相比,损伤最大,在儿童PCNL中应用受限。气压弹道技术是一种耐用、可重复使用、安全和经济的碎石技术,并可用于10F大小的手术通道,有利于小通道儿童PCNL的展开。受限于对软性结石(力学特性为韧性)碎石效果不佳的特点,目前主要用于刚性结石(力学特性为脆性)的碎石。超声碎石也是一种比较安全的碎石技术。但是超声碎石需要4.5F的工作通道来容纳超声探针,再加上负

压吸引和肾镜所需的空间,它需要一个>18F的手术操作通道。因此,超声碎石在儿童PCNL中的应用也受到了限制。气压弹道联合超声碎石系统(Electro Medical Systems, EMS)同样也因所需手术操作通道较大,在小通道的儿童PCNL中应用受限。激光碎石技术,目前使用最多的是钬激光。钬激光在儿童PCNL中具有很多优势。①激光可以通过调节光的能量和频率来调节输出功率。“高频低能”模式有利于结石的粉末化,“低频高能”模式有利于处理较硬的结石。对于小通道的儿童PCNL,粉末化非常有利于控制肾内压。②激光对不同力学特性的结石都有效果。③激光碎石效率较高,有利于控制手术时间,降低结石患儿手术并发症发生率。相关研究报道在超微通道经皮肾镜取石术(Ultra-Mini PCNL, UMP)中,使用365 μm光纤(2.0 J × (20 ~ 30) Hz)处理结石(最大直径为2.0 ~ 5.1 cm),碎石时间为15 ~ 35 min。④激光光纤较细(含涂层245 μm,能承载高达42 W功率),且柔软。有利于小通道儿童PCNL和软性输尿管镜的开展。使用激光要注意的是,要保持光纤尖端与尿路上皮黏膜之间距离>0.5 mm,同时要保持充足的灌注,以减少激光热效应导致的组织损伤。

(五)手术通道

对于儿童PCNL,通道大小是术后并发症发生的独立危险因素,一般根据通道的大小进行分型^[18]。主要包括标准/常规PCNL(22 ~ 30 F)、微通道经皮肾镜取石术(Mini-PCNL, MPCNL)(14 ~ 20 F)、超微通道经皮肾镜取石术(Super-Mini-PCNL, SMP)(11 ~ 13 F)和超微小通道经皮肾镜取石术(micro-PCNL)(4.8 F)。

1. 标准/常规PCNL:1985年,Woodisde等^[12]第一次报道了7例PCNL成功的患儿,术中应用标准(22 ~ 30 F)PCNL器械。Unsal等^[25]研究把儿童分为成人器械组和儿童器械组,对比手术时间、住院时间、出血量和并发症等,发现对于较小的无积水的儿童,儿童器械组可以获得较好效果。总的来说,儿童肾脏较成人肾脏小,活动度大,也比较脆弱,标准通道往往并不适合儿童(特别是年龄较小)脆弱的肾脏以及集合系统。因此,对于儿童PCNL手术通道的选择,应在权衡碎石效率的情况下尽可能选择更小通道。

2. MPCNL:1993年由吴开俊、李逊等率先实践MPCNL,术中采用微通道(14 ~ 18 F)治疗铸型结石,与标准通道相比,发现微通道提高了手术的安

全性。在儿童肾结石方面, MPCNL 结石清除率较高, 术后并发症发生率无明显差异。Farouk 等^[26]研究发现在直径为 1~2 cm 肾结石患儿中, 3 次 ESWL 以后的结石清除率 (88.89%) 与一次 MPCNL (88.9%) 相当, 并发症发生率 (MPCNL: 22.2%; ESWL: 14.8%) 也无统计学差异。对于 PCNL 术后中长期肾脏瘢痕、肾功能的影响, 最早由 Traxer 等^[27]通过动物实验发现, 使用不同大小的扩张鞘, 对肾脏实质瘢痕产生的影响无明显优势。而 Desai 等^[28]通过实验室和影像学检查研究标准 PCNL 和 MPCNL, 检测术前及术后血肌酐水平, 术后进行肾脏静脉造影和肾静态显像, 证明更小的通道在肾功能损伤和肾实质瘢痕上无明显差异。目前, Aguiar 等^[29]通过 ^{99m}Tc-DMSA 显影技术评估 PCNL 对肾功能的影响, 发现 PCNL 可以解除结石梗阻, 改善总肾功能, 但是会影响仅局限于穿刺通道处的肾实质, 从而影响该处肾功能。目前这些对肾实质损伤的研究随访时间均较短, 样本量较小, 还需要大样本多中心长期随访研究进一步证实。

MPCNL 的总并发症发生率有文献报道约为 12.8%, 并发症包括术中胸膜损伤、肠损伤、需要栓塞的肾出血等严重并发症和发热、尿路感染等较轻并发症, 其中需要输血的出血发生率约为 10%^[18]。当前研究证明出血量与扩张鞘直径、通道数和手术时间呈正相关, 当扩张鞘 > 20 F 时, 会显著增加并发症发生率, 特别是出血的发生率。总的来说, MPCNL 扩大了标准 PCNL 的适应证, 降低了标准 PCNL 并发症发生率 (尤其是出血), 目前在儿童和成人结石患者中都得以广泛应用^[30]。

3. UMP/SMP: 2013 年 Desai 等^[31]首先报道了 UMP/SMP 在肾结石中的应用, 取得了良好效果, 认为 UMP 是 MPCNL 很好的补充。在儿童肾结石的应用中, Celik 等^[11]将平均年龄为 8.33 岁的 220 例患儿, 分为 UMP、MPCNL 和标准 PCNL 组, 进行对比分析, 发现 UMP 在结石清除率、手术时间、肾造瘘持续时间、结石残留等方面无明显差异, 但 UMP 的出血量 (平均血细胞下降) 更少。同样, 2017 年 Jones 等^[32]进行了一项 Meta 分析, 包括 14 个研究 (456 例患儿, < 18 岁), 对比 UMP (6 项) 和 Micro-PCNL (8 项) 在儿童中的应用, 平均结石直径大小为 12~41 mm (UMP) 和 12~16.5 mm (Micro-PCNL), 总结石清除率为 85%~100% (UMP) 和 80%~100% (Micro-PCNL), UMP 的总体并发症发生率为 13.9% (血尿、肾盂穿孔和尿外渗相对较多), Micro-PCNL 的总体

并发症发生率为 11.2% (肾绞痛相对较多)。而既往文献报道儿童 PCNL 并发症发生率为 9%~27.7%。这表明采用 UMP 治疗儿童肾结石可以达到较高的结石清除率, 而且可以减少 Clavien I/II 级并发症的发生, 但应注意术中保持较低肾盂压力 (Renal pelvic pressure, RPP), 一般维持 < 30 mmHg 较好。高肾内压容易引起发热、感染、电解质紊乱等并发症的发生。对于肾盂内压的控制: ①可以采取负压吸引的 UMP 手术设备; ②可以采取智能灌注设备, 在保证视野的情况下控制灌注流量和灌注压; ③选择较小的肾镜, 保证肾镜和鞘中间有充足的空间^[33]。

4. Micro-PCNL: 2011 年 Bader 等^[23]首先报道了 Micro-PCNL, 该研究应用 4.85 F 的可视穿刺针进行操作, 直视下直接穿刺到结石所在肾盏, 进行碎石。因 Micro-PCNL 利用精确的结石定位、可视化穿刺和激光碎石, 故其成功率 (相关文献报道 82%~100%) 较高。“一步法”避免多次“进出”需要, 减少了出血、辐射暴露等并发症的发生, 而 4.85 F 的小针头也是减少并发症的原因之一。同时, 小针头 (小通道) 减少了周围其他组织、脏器损伤的风险, 也带来了一些问题, 比如技术含量增加, 导致针头经常是一次性的, 手术费用高; 术中若结石转移到其他肾盏, 则不能处理, 只能再建立皮肾通道; 少量出血即会影响手术的视野; 肾盂压力高, 需要留置引流管 (如输尿管导管), 维持肾内压; 结石较大时, 碎石容易堵塞通道^[34]。肾盂内压方面, 一般可采取手术开始前放置输尿管导管引流 (可由助手间断注射器抽吸), 降低肾内压。结石易堵塞方面, 激光系统通常采取“高频低能 (0.8 J, 8 Hz, 6.4 W)”的粉碎模式, 避免大块碎石的产生, 必要时可以增加一个 8 F 或 10 F 大小的外鞘。与 ESWL 相比, 在直径 1~2 cm 大小的上尿路结石中, Micro-PCNL 完全能替代 ESWL, 结石清除率较高, 再次手术率较低。与 RIRS 相比, 对于平均直径 1.1 cm 的结石, Micro-PCNL 在结石清除率和并发症发生率上无明显差异, 但是 RIRS 出血、镇痛需求和双 J 管置入需求增加^[35]。与 MPCNL 相比, 在直径 1~2 cm 的肾结石中, Micro-PCNL 的结石清除率和并发症发生率上无明显差异, 但住院时间短和辐射暴露低; 在肾下盏结石中, Micro-PCNL 可以减少出血量、住院时间和辐射暴露, 增加无管率^[36]。因此, 对于直径 1~2 cm 的下盏肾结石, Micro-PCNL 可以作为 ESWL、RIRS 和 MPCNL 比较好的替代方法。

总之,随着儿童肾结石发病率的增加,手术治
疗的需求也在加大。虽然 PCNL 对肾脏的创伤不可
避免,但是由于 PCNL 技术理念的创新和 ESWL、
RIRS 在儿童肾结石应用的局限性,PCNL 目前是治
疗儿童肾结石的一线治疗方法。PCNL 技术的发展和
相关器械的创新,使儿童 PCNL 在保证高结石清
除率、高成功率优势的基础上,在体位、穿刺定位、
碎石技术和手术通道建立等技术理念都在向着微
创化、高效化不断更新、优化。通过结合患儿结石
特点和个体化条件,选择合适的 PCNL 技术理念,能
够有效降低手术并发症的发生率。未来,PCNL 在
儿童肾结石治疗的应用前景必将更加广阔。

参考文献

- 1 Lee ST, Cho H. Metabolic features and renal outcomes of urolithiasis in children [J]. *Ren Fail*, 2016, 38 (6): 927-932. DOI:10.3109/0886022X.2016.1172939.
- 2 Bonzo JR, Tasian GE. The emergence of kidney stone disease during childhood-impact on adults [J]. *Curr Urol Rep*, 2017, 18 (6): 44. DOI:10.1007/s11934-017-0691-x.
- 3 Bevil M, Kattula A, Cooper CS, et al. The modern metabolic stone evaluation in children [J]. *Urology*, 2017, 101: 15-20. DOI:10.1016/j.urology.2016.09.058.
- 4 Turk C, Petrik A, Sarica K, et al. EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis [J]. *Eur Urol*, 2016, 69 (3): 475-482. DOI:10.1016/j.eururo.2015.07.041.
- 5 European Association Urology. European Association of Urology Guidelines. 2020 Edition [M]. Arnhem, The Netherlands: European Association of Urology Guidelines Office, 2020.
- 6 Assimos D, Krambeck A, Miller NL, et al. Surgical Management of Stones: American Urological Association/Endourological Society Guideline, PART I [J]. *J Urol*, 2016, 196 (4): 1153-1160. DOI:10.1016/j.juro.2016.05.090.
- 7 He Q, Xiao K, Chen Y, et al. Which is the best treatment of pediatric upper urinary tract stones among extracorporeal shockwave lithotripsy, percutaneous nephrolithotomy and retrograde intrarenal surgery: a systematic review [J]. *BMC Urol*, 2019, 19 (1): 98. DOI:10.1186/s12894-019-0520-2.
- 8 Chaussy CG, Tiselius HG. How can and should we optimize extracorporeal shockwave lithotripsy? [J]. *Urolithiasis*, 2018, 46 (1): 3-17. DOI:10.1007/s00240-017-1020-z.
- 9 Sancak EB, Kilinc MF, Yucebas SC. Evaluation with decision trees of efficacy and safety of semirigid ureteroscopy in the treatment of proximal ureteral calculi [J]. *Urol Int*, 2017, 99 (3): 320-325. DOI:10.1159/000474954.
- 10 ElSheemy MS, Daw K, Habib E, et al. Lower calyceal and renal pelvic stones in preschool children: A comparative study of mini-percutaneous nephrolithotomy versus extracorporeal shockwave lithotripsy [J]. *Int J Urol*, 2016, 23 (7): 564-570. DOI:10.1111/iju.13093.
- 11 Celik H, Camtosun A, Dede O, et al. Comparison of the results of pediatric percutaneous nephrolithotomy with different sized instruments [J]. *Urolithiasis*, 2017, 45 (2): 203-208. DOI:10.1007/s00240-016-0887-4.
- 12 Woodside JR, Stevens GF, Stark GL, et al. Percutaneous stone removal in children [J]. *J Urol*, 1985, 134 (6): 1166-1167. DOI:10.1016/s0022-5347(17)47669-5.
- 13 肖路, 奉友刚. 经皮肾镜碎石术手术体位选择的临床进展 [J]. *中华腔镜泌尿外科杂志 (电子版)*, 2019, 13 (1): 56-59. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2019.01.014.
- Xiao L, Feng YG. Clinical advances of body positioning during percutaneous nephrolithotomy [J]. *Chin J Endourol (Electronic Version)*, 2019, 13 (1): 56-59. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-3253.2019.01.014.
- 14 de la Rosette JJ, Tsakiris P, Ferrandino MN, et al. Beyond prone position in percutaneous nephrolithotomy: a comprehensive review [J]. *Eur Urol*, 2008, 54 (6): 1262-1269. DOI:10.1016/j.eururo.2008.08.012.
- 15 Gamal W, Moursy E, Hussein M, et al. Supine pediatric percutaneous nephrolithotomy (PCNL) [J]. *J Pediatr Urol*, 2015, 11 (2): 78. e1-78. e5. DOI:10.1016/j.jpuro.2014.10.012.
- 16 Falahatkar S, Mokhtari G, Teimoori M. An update on supine versus prone percutaneous nephrolithotomy: A Meta-analysis [J]. *Urol J*, 2016, 13 (5): 2814-2822.
- 17 Li J, Gao L, Li QB, et al. Supine versus prone position for percutaneous nephrolithotripsy: A meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Int J Surg*, 2019, 66: 62-71. DOI:10.1016/j.ijsu.2019.04.016.
- 18 Onal B, Dogan HS, Satar N, et al. Factors affecting complication rates of percutaneous nephrolithotomy in children: results of a multi-institutional retrospective analysis by the Turkish Pediatric Urology Society [J]. *J Urol*, 2014, 191 (3): 777-782. DOI:10.1016/j.juro.2013.09.061.
- 19 石博文, 徐科, 黄云腾. 经皮肾镜取石术在儿童肾结石中的应用及进展 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2017, 16 (6): 617-621. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2017.06.021.
- Shi BW, Xu K, Huang YT. Applications and advances of percutaneous nephrolithotomy for pediatric renal calculi [J]. *J Clin Ped Sur*, 2017, 16 (6): 617-621. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2017.06.021.

- 20 高宁,陈合群,齐琳,等.经皮肾穿刺微造瘘取石术治疗儿童肾结石[J].中华小儿外科杂志,2006,27(7):364-367. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2006.07.009.
Gao N, Chen HQ, Qi L, et al. Treatment of pediatric renal calculi with mini-percutaneous nephrolithotomy[J]. Chin J Pediatr Surg, 2006, 27(7):364-367. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2006.07.009.
- 21 Liu Q, Zhou L, Cai X, et al. Fluoroscopy versus ultrasound for image guidance during percutaneous nephrolithotomy: a systematic review and meta-analysis[J]. Urolithiasis, 2017, 45(5):481-487. DOI:10.1007/s00240-016-0934-1.
- 22 Nouralizadeh A, Sharifiaghdas F, Pakmanesh H, et al. Fluoroscopy-free ultrasonography-guided percutaneous nephrolithotomy in pediatric patients: a single-center experience[J]. World J Urol, 2018, 36(4):667-671. DOI:10.1007/s00345-018-2184-z.
- 23 Bader MJ, Gratzke C, Seitz M, et al. The "all-seeing needle": initial results of an optical puncture system confirming access in percutaneous nephrolithotomy[J]. Eur Urol, 2011, 59(6):1054-1059. DOI:10.1016/j.eururo.2011.03.026.
- 24 Sultan S, Aba US, Ahmed B, et al. Update on Surgical Management of Pediatric Urolithiasis[J]. Front Pediatr, 2019, 7:252. DOI:10.3389/fped.2019.00252.
- 25 Unsal A, Resorlu B, Kara C, et al. Safety and efficacy of percutaneous nephrolithotomy in infants, preschool age, and older children with different sizes of instruments[J]. Urology, 2010, 76(1):247-52. DOI:10.1016/j.urology.2009.08.087.
- 26 Farouk A, Tawfick A, Shoeb M, et al. Is mini-percutaneous nephrolithotomy a safe alternative to extracorporeal shock-wave lithotripsy in pediatric age group in borderline stones? a randomized prospective study[J]. World J Urol, 2018, 36(7):1139-1147. DOI:10.1007/s00345-018-2231-9.
- 27 Traxer O, Smith TG 3rd, Pearle MS, et al. Renal parenchymal injury after standard and mini percutaneous nephrostolithotomy[J]. J Urol, 2001, 165(5):1693-1695. DOI:10.1016/s0022-5347(05)66395-1.
- 28 Desai MR, Kukreja RA, Patel SH, et al. Percutaneous nephrolithotomy for complex pediatric renal calculus disease[J]. J Endourol, 2004, 18(1):23-27. DOI:10.1089/0892-77904322836613.
- 29 Aguiar P, Perez-Fentes D, Garrido M, et al. A method for estimating DMSA SPECT renal function for assessing the effect of percutaneous nephrolithotripsy on the treated pole[J]. Q J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 60(2):154-162.
- 30 张国锋,侯广军,耿宪杰,等.经皮肾镜取石术治疗小儿复杂肾结石合并上尿路梗阻[J].临床小儿外科杂志, 2015, 14(1):42-44, 50. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2015.01.011.
Zhang GF, Hou GJ, Geng XJ, et al. Treatment of complex renal calculi and upper urinary tract obstruction with mini-invasive percutaneous nephrolithotomy in children[J]. J Clin Ped Sur, 2015, 14(1):42-44, 50. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2015.01.011.
- 31 Desai J, Zeng G, Zhao Z, et al. A novel technique of ultra-mini-percutaneous nephrolithotomy: introduction and an initial experience for treatment of upper urinary calculi less than 2 cm[J]. Biomed Res Int, 2013, 2013:490793. DOI:10.1155/2013/490793.
- 32 Jones P, Bennett G, Aboumarzouk OM, et al. Role of minimally invasive percutaneous nephrolithotomy techniques-micro and ultra-mini PCNL (<15F) in the pediatric population: a systematic review[J]. J Endourol, 2017, 31(9):816-824. DOI:10.1089/end.2017.0136.
- 33 Alsmadi J, Fan J, Zhu W, et al. The influence of super-mini percutaneous nephrolithotomy on renal pelvic pressure in vivo[J]. J Endourol, 2018, 32(9):819-823. DOI:10.1089/end.2018.0239.
- 34 Tepeler A, Akman T, Silay MS, et al. Comparison of intra-renal pelvic pressure during micro-percutaneous nephrolithotomy and conventional percutaneous nephrolithotomy[J]. Urolithiasis, 2014, 42(3):275-279. DOI:10.1007/s00240-014-0646-3.
- 35 Sabnis RB, Ganesamoni R, Doshi A, et al. Micropercutaneous nephrolithotomy (microperc) vs retrograde intrarenal surgery for the management of small renal calculi: a randomized controlled trial[J]. Bju Int, 2013, 112(3):355-361. DOI:10.1111/bju.12164.
- 36 Wright A, Rukin N, Smith D, et al. 'Mini, ultra, micro' - nomenclature and cost of these new minimally invasive percutaneous nephrolithotomy (PCNL) techniques[J]. Ther Adv Urol, 2016, 8(2):142-146. DOI:10.1177/1756287215617674.

(收稿日期:2020-03-11)

本文引用格式:刘昭荣,李玉根,邹军荣,等.经皮肾镜取石术在儿童肾结石治疗中的应用及进展[J].临床小儿外科杂志,2020,19(8):699-704. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.08.008.

Citing this article as: Liu ZR, Li YG, Zou JR, et al. Applications and advances of percutaneous nephrolithotomy for kidney calculi in children[J]. J Clin Ped Sur, 2020, 19(8):699-704. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.08.008.