

# 以 CT 图像数据为基础的肾脏数字三维成像在经皮肾镜碎石术治疗复杂肾结石中的应用\*

曹 淑 曾宇泉 王跃力\*\*

(中国人民解放军联勤保障部队第 920 医院泌尿外科, 昆明 650000)

**【摘要】 目的** 探讨以 CT 图像数据为基础的肾脏数字三维成像在经皮肾镜碎石术(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)治疗复杂肾结石中的应用价值。 **方法** 2018 年 1 月~2019 年 12 月 16 例复杂上尿路结石在 PCNL 术前依据 CT 图像数据进行数字三维重建后规划手术(A 组), 同期 16 例复杂上尿路结石利用 CT 图像进行规划手术(B 组), 比较 2 组手术时间、出血量、输血率、住院时间、并发症发生率和术后 4 周一期清石率。 **结果** 2 组患者均成功行 PCNL, 数字化成像三维模型能够直观地反映肾脏主要血管、集合系统与结石的位置关系等。A 组手术时间( $115.1 \pm 20.4$ ) min, 明显短于 B 组( $131.6 \pm 22.5$ ) min ( $t = -2.165, P = 0.039$ ); 血红蛋白下降值( $11.9 \pm 3.4$ ) g/L, 明显低于 B 组( $14.5 \pm 2.8$ ) g/L ( $t = -2.392, P = 0.023$ ); 住院时间( $5.9 \pm 1.2$ ) d, 明显短于 B 组( $7.1 \pm 1.5$ ) d ( $t = -2.572, P = 0.015$ )。2 组均无严重并发症发生。2 组术后 4 周一期清石率差异无显著性[93.8% (15/16) vs. 87.5% (14/16), Fisher 精确检验,  $P = 1.000$ ]。32 例术后 3 个月复查 KUB 及腹部 CT 平扫, 均未发现结石残留。 **结论** 以 CT 图像数据为基础的肾脏三维数字成像能够安全应用于 PCNL 治疗复杂肾结石, 缩短手术时间, 减少术中出血量。

**【关键词】** 经皮肾镜碎石术; 肾脏数字三维成像; 复杂肾结石

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2021)07-0624-05

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2021.07.009

**Application of Three-dimensional Digital Reconstruction Renal Imaging Based on CT Data in the Treatment of Complex Renal Calculi by Percutaneous Nephrolithotomy** Cao Xu, Zeng Yuxiao, Wang Yueli. Department of Urology, No. 920 Hospital of Joint Logistics Support Force, Kunming 650000, China

Corresponding author: Wang Yueli, E-mail: wylmn43@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the application value of three-dimensional digital renal imaging based on CT data in the treatment of complex renal calculi by percutaneous nephrolithotomy. **Methods** From January 2018 to December 2019, 16 cases of complicated urinary calculi were planned for surgery after three-dimensional digital reconstruction based on CT data before percutaneous nephrolithotomy (group A), and 16 cases of complicated urinary calculi were planned for surgery just by CT images during the same period (group B). The operation time, blood loss, blood transfusion rate, hospital stay, complication rate, and stone removal rate 4 weeks after surgery, between the two groups were compared. **Results** All the patients in the 2 groups were successfully treated with percutaneous nephrolithotomy. The digital imaging three-dimensional model intuitively reflected the positional relationship between the main blood vessels of the kidney, the collecting system and the stones. The operation time of the group A was ( $115.1 \pm 20.4$ ) min, which was significantly shorter than that of the group B [ $(131.6 \pm 22.5)$  min;  $t = -2.165, P = 0.039$ ], the hemoglobin reduction of the group A [ $(11.9 \pm 3.4)$  g/L] was significantly lower than that of the group B [ $(14.5 \pm 2.8)$  g/L;  $t = -2.392, P = 0.023$ ], and the total hospital stay in the group A [ $(5.9 \pm 1.2)$  d] was also less than that in the group B [ $(7.1 \pm 1.5)$  d;  $t = -2.572, P = 0.015$ ]. There were no serious complications in both groups. There was no significant difference in the stone removal rate 4 weeks after surgery between the two groups [93.8% (15/16) vs. 87.5% (14/16), Fisher's exact test,  $P = 1.000$ ]. After 3 months of follow-ups, KUB and abdominal CT scan showed no residual stones in 32 cases. **Conclusion** Three-dimensional digital imaging of the kidney

\* 基金项目:云南省重大科技专项计划(2017ZF025)

\*\* 通讯作者, E-mail: wylmn43@163.com

based on CT image data can be safely used in the operation of percutaneous nephrolithotomy for the treatment of complex renal calculi, which can shorten the operation time and reduce the amount of intraoperative bleeding.

**[Key Words]** Percutaneous nephrolithotomy; Three-dimensional digital renal imaging; Complex renal calculi

我国肾结石的患病率达到 6.4%<sup>[1]</sup>, 治疗方式包括经皮肾镜碎石术(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)、输尿管软镜碎石、体外冲击波碎石等。PCNL 是 >2 cm 肾结石<sup>[2]</sup>和复杂上尿路结石<sup>[3]</sup>的最优治疗方式, 难点及关键步骤在于手术通道的建立。CT 为术前定位常规检查, 术中最常用超声辅助结石定位, 二者结合辅助穿刺, 往往能成功建立手术通道。尽管如此, 肾出血仍然是最常见和最难处理的并发症之一, 其他严重的并发症还有术后发热和急性肾功能损害<sup>[4]</sup>, 降低上述并发症发生率最好的方式是避开血管使用最小的通道建立手术入路。基于增强 CT 的数字三维成像技术已广泛应用于临床<sup>[5,6]</sup>, 2018 年 1 月~2019 年 12 月我们利用增强 CT 的原始数据进行肾结石、周围邻近血管和集合系统的数字三维重建, 辅助制定手术预案, 对 16 例复杂上尿路结石 PCNL 进行术前穿刺定位(A 组), 并与 16 例复杂上尿路结石 PCNL 仅利用 CT 图像进行规划手术(B 组)进行比较, 旨在探讨以 CT 图像数据为基础的肾脏数字三维成像在 PCNL 治疗复杂肾结石中的应用价值。

1 临床资料与方法

1.1 一般资料

表 1 2 组患者一般资料比较 (n = 16,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	年龄(岁)	性别		BMI	手术侧别		结石最大径(mm)
		男	女		左侧	右侧	
A 组	52.1 ± 7.3	11	5	22.0 ± 2.1	6	10	27.1 ± 4.6
B 组	51.4 ± 7.7	10	6	21.7 ± 2.3	9	7	27.3 ± 4.4
t 值	0.266			0.424			-0.127
P 值	0.792	1.000 *		0.674	0.479 *		0.900
组别	结石数目		合并症		ASA 分级		
	单发	多发	a	b	c	Ⅱ级	Ⅲ级
A 组	6	10	6	4	4	10	6
B 组	0	16	5	1	4	9	7
t 值							
P 值	0.018 *		1.000 *		1.000 *		1.000 *

a:原发性高血压;b:肾功能不全;c:糖尿病

\* Fisher 精确检验

1.2 方法

1.2.1 A 组模型重建 利用我院 64 层螺旋 CT[美国通用电气公司, 型号 Lightspeed VCT, 批文号: 国食药监械(进)字 2008 第 3311679 号(更)]获取原

本研究经我院伦理委员会审批[批文号: 2020-075(科)-01]。本研究 32 例, 男 21 例, 女 11 例。年龄(51.7 ± 7.6)岁。腰背部疼痛 16 例, 腹部包块 1 例, 体检腹部 B 超检查发现肾结石 15 例。左侧手术 15 例, 右侧手术 17 例。结石最大径(27.2 ± 4.5)mm。单发结石 6 例, 多发肾结石 26 例, 其中马蹄肾肾结石 1 例, 孤立肾肾结石 2 例, 鹿角形肾结石 3 例。合并原发性高血压 11 例, 糖尿病 8 例, 慢性肾功能不全 5 例。5 例有单侧输尿管镜碎石取石术史, 3 例有单侧腹腔镜下肾囊肿去顶减压术史。根据患者本人意愿及医生推荐分为 2 组, 每组 16 例: A 组术前依据 CT 图像数据进行数字三维重建后规划手术, 其中双侧结石优先处理较容易处理一侧; B 组利用 CT 图像进行规划手术。2 组患者除结石数目有统计学差异外(P = 0.018), 其他情况差异无显著性(P > 0.05), 见表 1。

病例选择标准: 影像学检查提示最大径 > 2 cm 的肾结石。排除标准: ①严重心肺功能不全; ②代谢功能异常; ③合并恶性肿瘤; ④合并全身严重感染; ⑤凝血功能异常; ⑥合并精神疾病。

始数据制作三维重建模型。取仰卧位, 分别行平扫期、动脉期、静脉期、肾盂排泄期扫描。动脉期、静脉期和排泄期延迟扫描时间分别为注射造影剂后 25、60 s 和 600~900 s<sup>[7]</sup>。完成 CT 4 个时相期扫描后,

对原始图像数据层厚进行 1 mm 扫薄处理。然后将患者 CT 原始数据导入 Mimics 21.0 软件中,运用自动阈值分割算法和人工分割方法进行图像分割以及三维重建。在经验丰富的影像科医师以及泌尿外科医师的合作下进行数据阈值的选取和人工图像分割。重建的肾脏数字化三维模型中关键的解剖结构包括肾段动脉、叶间动脉、集合系统、半透明的肾脏、结石。重建模型如图 1 所示。

1.2.2 A 组基于重建模型的手术辅助 术前在重建的模型上用鼠标拖拽调整角度,可任意旋转、移动肾脏,明确结石与集合系统、动脉及周围邻近组织的关系。选择拟穿刺点,通过测量皮肤穿刺点与目标肾盏的深度,穿刺点与后正中线的距离,与第 12 肋的关系,结石大小,规划穿刺角度,进针深度,避开明显的血管。拟穿刺点的选择定位靠两线定位:即与后正中线的水平距离为 A 线,与第 12 肋尖的垂直距离为 B 线,A、B 两线的交点即为选择的拟穿刺点。穿刺点选择见图 2。术中依靠 B 超实时定位,根据术前重建模型规划的穿刺点、穿刺角度、穿刺深度,利用 B 超迅速定位并可做微量调整,然后进行 PCNL 常规手术步骤。

1.2.3 B 组基于 CT 图像的手术辅助 同法进行 4 期扫描后,术前术者对 CT 图像仔细阅片,了解肾脏结石分布情况以及结石形态后,选择拟穿刺部位。拟穿刺部位的定位方法:与后正中线的水平距离为 Y 轴,该层面在 CT 上与脐扫描层面的距离为 X,在 Y 轴上标记距离 X,即为大致穿刺部位。术中依靠 B 超实时定位调整,然后进行 PCNL 常规手术步骤。

### 1.3 观察指标

手术时间(从穿刺开始到肾造瘘管置入完毕)、出血量(术后当天血红蛋白与术前相比下降值)、输血率、清石率(术后 4 周拔出双 J 管后复查腹部 CT,无 4 mm 以上结石残留认为结石完全清除)、住院时间(出院标准:患者一般情况良好,连续 2 次复查血红蛋白稳定、双 J 管位置正常、肾造瘘无漏尿)、并发症[发热(体温  $\geq 37.5^{\circ}\text{C}$ );顽固且无法忍受的穿刺部位疼痛;术后手术通路出血(肾造瘘管引流液持续变红且不缓解);肺部感染(咳嗽、咳痰及胸部 CT 提示肺部实变);水外渗引起的腹腔或腹膜后积液(腰背部或腹部异常隆起,CT 检查提示该区域水样密度影或者 B 超提示低回声区)]。

### 1.4 统计学处理

采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。正态

分布的计量数据用  $\bar{x} \pm s$  表示,采用独立样本  $t$  检验,计数资料采用  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  差异有统计学意义。

## 2 结果

A 组患者均成功重建三维图像,图像包括肾脏、结石、肾内重要血管、集合系统、邻近重要器官(图 3)。A 组手术时间、出血量(血红蛋白下降值)及住院时间明显短于/少于 B 组( $P < 0.05$ )。2 组患者术中均未输血,无严重并发症发生,2 组一期清石率差异无统计学意义( $P = 1.000$ ),见表 2。2 组患者术后均通过肾石通颗粒排石、碱化尿液、充足饮水等方式预防结石复发。32 例术后 3 个月复查 KUB 及腹部 CT 平扫,均未发现结石复发(新增 4 mm 以上结石)。

## 3 讨论

### 3.1 当前建立手术通道的常用方法

PCNL 是目前处理大的多发性肾盂肾盏结石及复杂上尿路结石的推荐方案<sup>[8]</sup>,但是建立目标肾盏的入路具有挑战性<sup>[9]</sup>,更详细的术前影像可以更好地帮助我们进行穿刺,也是是目前 PNCL 的研究热点。当前辅助穿刺的方法很多,包括新型电磁导航系统<sup>[10]</sup>、可视穿刺针头<sup>[11]</sup>、磁场下超声导航系统<sup>[12]</sup>进行辅助穿刺等,可有效降低穿刺难度,但是存在设备价格昂贵、国内未引进、应用不成熟、肥胖患者不适用等问题。目前,术前 CT 成像联合术中超声辅助定位结石的方法较为成熟,对设备要求不高。但超声仅能提供二维、低分辨率且不完整的图像,对于复杂肾结石的 PCNL,如马蹄形肾肾结石、鹿角形肾结石或多发性肾结石,手术并发症风险较高,包括出血和损伤邻近的解剖结构(胸膜、结肠、脾脏和肝脏)<sup>[13]</sup>。复杂上尿路结石病人因肾脏长期负荷过重导致肾脏血流丰富,血管走行异常,穿刺扩张时容易出血,同时结石复杂多变,残石率、出血和感染的发生率都更高<sup>[14]</sup>。

### 3.2 以 CT 图像数据为基础的肾脏数字三维成像的优势

基于目前成熟的技术,我们使用三维重建方法进行 PCNL 处理肾结石,为选择最佳的经皮穿刺通道提供必要的信息。当前所有医院均可开展 CT 检查,只要收集原始 CT 数据后,即可行数字重建,术前在电脑上拖拽重建的半透明图像可以确定一个合适的通道来反复模拟穿刺,以避免损伤邻近的解剖

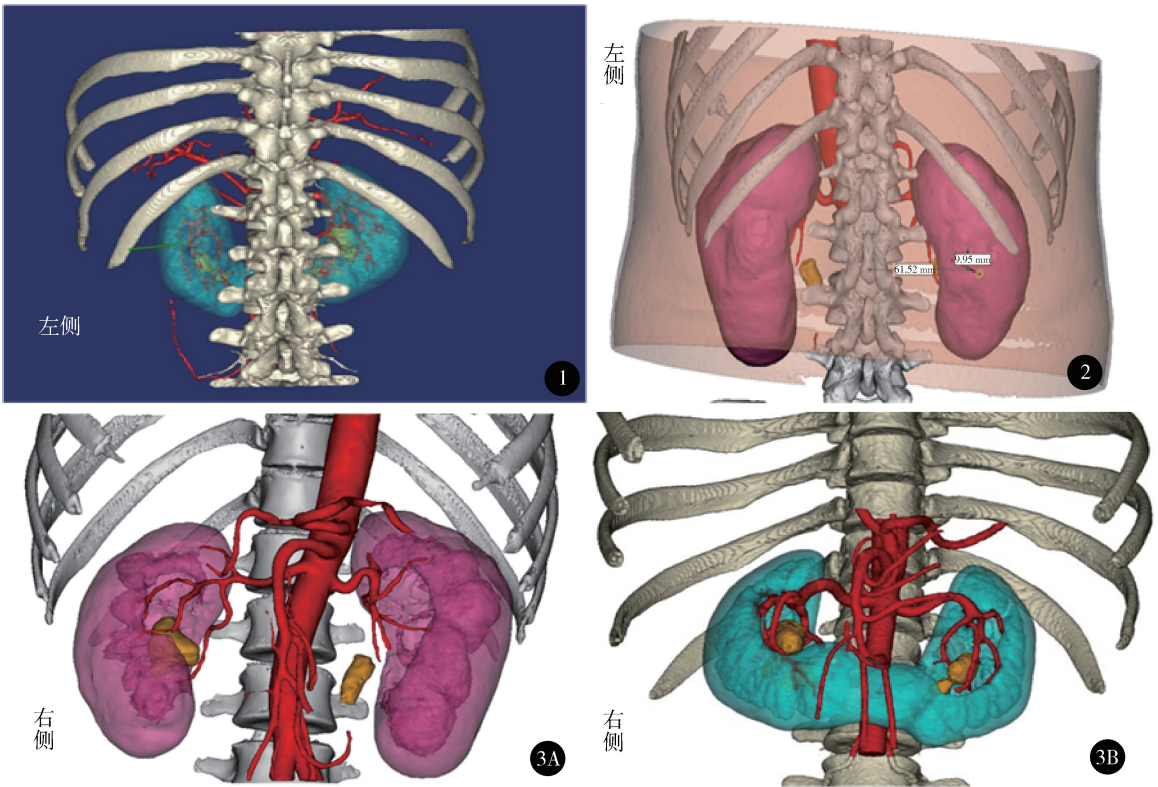


图1 重建的肾脏数字化三维模型(红色为表血管,蓝色为肾脏,黄色为结石) 图2 数字三维重建后穿刺点的选择 图3 A 组患者重建的三维图像 A. 左侧输尿管结石伴右肾结石;B. 马蹄肾伴双肾多发结石

表 2 2 组患者观察指标比较 (n = 16,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	手术时间 (min)	血红蛋白下降值 (g/L)	术后 4 周一期清石率	住院时间 (d)	并发症
A 组	115.1 ± 20.4	11.9 ± 3.4	93.8% (15/16)	5.9 ± 1.2	2 *
B 组	131.6 ± 22.5	14.5 ± 2.8	87.5% (14/16)	7.1 ± 1.5	0
t 值	-2.165	-2.392		-2.572	
P 值	0.039	0.023	1.000 **	0.015	0.484 **

\* 2 例发生穿刺部位无法忍受的疼痛,需要非甾体类药物止痛

\*\* Fisher 精确检验

结构。同时通过对集合系统、重要血管、结石的图像进行融合,在进行穿刺时也更加得心应手,使术前繁琐的定位过程变得更加容易,穿刺通道的建立更加迅速,A 组患者手术时间明显短于 B 组,缩短手术时间也降低出血风险。因严重的出血往往是肾段动脉引起<sup>[15,16]</sup>,术前设计必须考虑以最小的无血管区(避开肾段动脉)进入以避免严重的出血。目前临床成熟使用的两步法经穹窿穿刺因直接进入肾椎体可避免叶间动脉的损伤。林方优等<sup>[17]</sup>报道人的肾脏中很可能存在融合肾椎体的情况,在融合肾椎体之间必然存在叶间动脉,术中超声往往无法辨别这一解剖结构,如果穿刺目标肾盏是融合肾小盏,那么血管损伤的风险必将增加,这也可以解释临床手术中穿刺未损伤肾柱而部分病人却仍然存在严重的出血现象。A 组包括 2 例孤立肾,1 例马蹄肾,与周围

组织的解剖关系与正常人有一定差异,手术及出血的风险更高,尤其是马蹄肾患者因肾下极在脊柱前融合,往往合并肾旋转不良,输尿管在肾前方下行与肾盂高位连接,脊柱及骨盆对部分结石的遮挡使术中超声定位变得困难<sup>[18]</sup>,穿刺建立通道时容易造成出血及损伤输尿管,通过重建模型可以更直观显示肾脏血管与集合系统及结石的关系,从而降低损伤叶间动脉及周围组织的风险。A 组患者出血量和住院时间明显低于/短于 B 组,也间接印证进行数字重建后损伤大血管的风险得到降低。三维同步肾盂血管造影可以更加清晰显示肾盂及肾脏血管,术中能够更好避免肾内动脉的损伤<sup>[19]</sup>。但该成像方法需要的放射剂量大,术中需要持续不间断成像,对医生及患者均有大剂量放射辐射。利用术前已经扫描好的 CT 数据重建结石的三维模型以及每个病人的

相关解剖结构,把原始 CT 数据导入三维重建软件 Mimics 进行图像分割,重建后的三维模型,通过调节肾脏的透明度,可以直观地显示肾内主要血管、集合系统和结石之间的相互关系,避免术中反复成像,降低术中辐射,缩短手术时间。该方法明确有助于术前规划及手术中取石,本研究由于样本量不大,2 组患者清石率较高(分别为 93.8%、87.5%),但差异无统计学意义( $P=1.000$ )。

### 3.3 以 CT 图像数据为基础的肾脏数字三维成像的局限性

本研究存在一定的局限性。术前需要采集四期(平扫期、动脉期、静脉期、排泄期)CT 图像,采集时间较长,患者接受放射剂量较大,同时需要患者呼吸及体位配合,术中无实时性图像的采集及重建,一旦患者体位发生变动可能会影响术中定位。B 组均为多发性肾结石,A 组 6 例单发肾结石,2 组患者结石数目差异有显著性( $P=0.018$ ),但 2 组结石最大径无明显差异( $t=-0.127, P=0.900$ ),均有 PCNL 的手术指征,不影响术式的选择及术后观察指标的监测。另外,数字重建会增加患者的治疗费用,给一部分贫困患者增加经济负担。

多层螺旋 CT 三维重建辅助 PCNL 治疗复杂尿路结石具有以下优点:图像清晰,可获得多方位立体的图像;明确降低术中出血及损伤周围器官风险;术前在电脑上反复模拟穿刺,缩短手术时间并获得更高的一期无结石率。仔细行血管重建可以避免穿刺可能存在的融合椎体中的叶间动脉,通过三维重建有助于更好的理解肾动脉和集合系统的解剖知识,对低年资医生进行泌尿外科手术训练,缩短手术学习曲线具有积极意义。

### 参考文献

- 1 Zeng G, Mai Z, Xia S, et al. Prevalence of kidney stones in China: an ultrasonography based cross-sectional study. *BJU Int*, 2017, 120(1): 109–116.
- 2 Turk C, Petrik A, Sarica K, et al. EAU guidelines on interventional treatment for urolithiasis. *Eur Urol*, 2016, 69(3): 475–482.
- 3 Preminger GM, Assimos DG, Lingeman JE, et al. Chapter 1: AUA guideline on management of staghorn calculi: diagnosis and treatment recommendations. *J Urol*, 2005, 173(6): 1991–2000.
- 4 Wu C, Hua LX, Zhang JZ, et al. Comparison of renal pelvic pressure and postoperative fever incidence between standard- and mini-tract percutaneous nephrolithotomy. *Kaohsiung J Med Sci*, 2017, 33(1): 36–43.
- 5 Ukimura O, Nakamoto M, Gill IS. Three-dimensional reconstruction of renovascular-tumor anatomy to facilitate zero-ischemia partial nephrectomy. *Eur Urol*, 2012, 61(1): 211–217.
- 6 贾晨尧, 许凯, 李炳坤, 等. 肾脏数字化三维重建模型在腹腔镜下肾肿瘤根治术中的应用. *临床泌尿外科杂志*, 2016, 31(10): 890–895.
- 7 Li H, Chen Y, Liu C, et al. Construction of a three-dimensional model of renal stones: comprehensive planning for percutaneous nephrolithotomy and assistance in surgery. *World J Urol*, 2013, 31(6): 1587–1592.
- 8 Al-Kohlani KM, Shokeir AA, Mosbah A, et al. Treatment of complete staghorn stones: a prospective randomized comparison of open surgery versus percutaneous nephrolithotomy. *J Urol*, 2005, 173(2): 469–473.
- 9 Mishra S, Sabnis RB, Desai M. Staghorn morphometry: a new tool for clinical classification and prediction model for percutaneous nephrolithotomy monotherapy. *J Endourol*, 2012, 26(1): 6–14.
- 10 Lima E, Rodrigues PL, Mota P, et al. Ureterscopy-assisted Percutaneous kidney access made easy: first clinical experience with a novel navigation system using electromagnetic guidance (IDEAL stage 1). *Eur Urol*, 2017, 72(4): 610–616.
- 11 Bader MJ, Gratzke C, Seitz M, et al. The “all-seeing needle”: initial results of an optical puncture system confirming access in percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol*, 2011, 59(6): 1054–1059.
- 12 Chau HL, Chan HC, Li TB, et al. An innovative free-hand puncture technique to reduce radiation in percutaneous nephrolithotomy using ultrasound with navigation system under magnetic field: A single-center experience in Hong Kong. *J Endourol*, 2016, 30(2): 160–164.
- 13 De La Rosette J, Assimos D, Desai M, et al. The clinical research office of the endourological society percutaneous nephrolithotomy global study: indications, complications, and outcomes in 5803 patients. *J Endourol*, 2011, 25(1): 11–17.
- 14 林海利, 郑周达, 杨明根, 等. 经皮肾镜与输尿管软镜在孤立肾结石的应用比较. *中国微创外科杂志*, 2016, 16(4): 301–303, 307.
- 15 Rastinehad AR, Andonian S, Smith AD, et al. Management of hemorrhagic complications associated with percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol*, 2009, 23(10): 1763–1767.
- 16 Richstone L, Reggio E, Ost MC, et al. First prize (tie): hemorrhage following percutaneous renal surgery: characterization of angiographic findings. *J Endourol*, 2008, 22(6): 1129–1135.
- 17 林方优, 余伟民, 叶芃, 等. 融合肾锥体的解剖结构. *武汉大学学报(医学版)*, 2019, 40(1): 33–36.
- 18 谢圣陶, 陈广瑜, 魏乔红, 等. 微通道与标准通道经皮肾镜碎石术治疗马蹄肾结石疗效的比较. *中国微创外科杂志*, 2018, 18(5): 412–415.
- 19 Dalela D, Gupta A, Ahmed S, et al. Three-dimensional synchronized multidirectional renal pyelo-angiography: a new imaging concept to facilitate percutaneous nephrolithotomy in technically challenging cases. *J Endourol*, 2009, 23(12): 1937–1939.

(收稿日期: 2020–11–18)

(修回日期: 2021–04–13)

(责任编辑: 李贺琼)