

3D 可视化经皮肾穿刺规划及术中辅助定位 引导 PCNL 的应用*

陈远波¹ 张志甫¹ 陆剑君¹ 黄思源¹ 卢国平¹

[摘要] 目的:介绍 3D 可视化经皮肾穿刺规划及术中辅助定位方法,并探索其在经皮肾镜取石术(PCNL)中的临床应用疗效。方法:回顾性分析 2018 年 10 月—2020 年 10 月我中心同一医疗组采用 PCNL 治疗的 160 例肾结石患者,根据穿刺规划方法分为两组,3D 规划组(76 例)为采取 3D 穿刺规划及术中辅助定位,对照组(84 例)为常规 PCNL。比较两组患者穿刺定位时间、手术时间、出血量、术后结石清除率、并发症发生率、术后住院时间的差异。结果:3D 规划组首个穿刺定位平均时间短于对照组($P<0.001$)。3D 规划组一期 PCNL 双通道穿刺比例显著大于常规组(23.6% vs. 6.0%, $P=0.001$)。3D 规划组一期结石清除率及总结石清除率显著大于对照组(85.5% vs. 67.8%, $P=0.009$; 92.1% vs. 79.8%, $P=0.026$);住院时间短于对照组[(4.7±1.0)d vs. (5.1±1.0)d, $P=0.004$]。两组在平均手术出血量、手术时间及术后并发症差异无统计学意义。结论:3D 可视化经皮肾穿刺规划可提升 PCNL 穿刺通道的精准性、提高结石清除率,尤其适用复杂性肾结石合理规划一期多通道碎石,具有较好的临床应用价值。

[关键词] 三维;肾结石;经皮;穿刺规划

DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2021.12.010

[中图分类号] R692.4 **[文献标志码]** A

Application of 3D visualized percutaneous renal puncture planning and intraoperative assisted guidance in PCNL

CHEN Yuanbo¹ ZHANG Zhifu¹ LU Jianjun¹ HUANG Siyuan¹ LU Guoping¹

(Department of Urology, Minzu Hospital, Guangxi Medical University, Nanning, 530000, China)

Corresponding author: CHEN Yuanbo, E-mail: cybchen@hotmail.com

Abstract Objective: To introduce the 3D visualized percutaneous puncture planning and intraoperative assisted access method, and explore its clinical effect in percutaneous nephrolithotomy (PCNL). **Methods:** A total of 160 patients with renal stones treated with PCNL in our center from October 2018 to October 2020 were retrospectively analyzed. Of all cases were divided into two groups: 3D planning group (76 cases) who underwent 3D preoperative puncture planning and intraoperative assisted guidance, and control group (84 cases) who received conventional ultrasound-guided PCNL. The puncture time, operative time, blood loss, stone-free rate, postoperative complication and postoperative hospitalization time were compared between the two groups. **Results:** The mean first tracts puncture time in the 3D planning group was shorter than that in the control group ($P<0.001$). The proportion of bi-channel puncture in the 3D planning group was significantly higher than that in the conventional group (23.6% vs. 6.0%, $P=0.001$). The one-stage stone-free rate and final stone-free rate in the 3D planning group were significantly higher than those in the control group (85.5% vs. 67.8%, $P=0.009$; 92.1% vs. 79.8%, $P=0.026$), and the hospital stay was shorter than the control group [(4.7±1.0)d vs. (5.1±1.0)d, $P=0.004$]. There was no significant difference between the two groups in blood loss, operative time or postoperative complications. **Conclusion:** The 3D visualized percutaneous puncture planning improves the accuracy of puncture access and stone free rate in PCNL. It was especially suitable for planning reasonable multiple tracts for complex renal stones.

Key words three-dimensional; renal stone; percutaneous; puncture planning

基于全球研究数据报告经皮肾镜取石术(PCNL)结石清除率整体上可达到 77%^[1],而对于复杂性鹿角形肾结石术后清除率只有 48.4%^[2]。复杂性肾结石往往需要多期或者多通道碎石,合理建立经皮肾穿刺通道是提高复杂性肾结石清除率的关键。

合理的经皮肾穿刺规划需要根据患者结石大小、分布及集合系统情况进行制定。早在 2013 年我们采用了三维(3D)肾结石建模虚拟仿真和穿刺全面规划显示了 PCNL 穿刺规划设计这个方法的可行及安全性^[3-4]。在我们前期基础上,进一步探索改进 3D 规划及术中辅助定位方法以促进临床推广使用。

*基金项目:广西卫健委科研计划项目(No:Z20201287)

¹广西医科大学附属民族医院泌尿外科(南宁,530000)

通信作者:陈远波, E-mail: cybchen@hotmail.com

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析 2018 年 10 月—2020 年 10 月在我中心同一医疗组采用 PCNL 治疗的 160 例肾结石患者,根据规划穿刺方式分为两组:3D 规划组 76 例为采用 3D 虚拟仿真穿刺规划辅助 PCNL,而对照组 84 例为常规 CT 规划及 B 超引导下 PCNL。

所有患者术前均进行常规的 CTU 检查,肾结石大小根据 CT 冠状面采用公式长 $\times$ 宽 $\times$ 0.785 估算^[5]。肾结石复杂性采用 Guy's 评分系统进行分类^[6]。统计两组患者术前资料,两组患者一般资料及肾结石情况资料比较差异均无统计学意义。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较

项目	3D 规划组 (n=76)	对照组 (n=84)	例(%), $\bar{x}\pm s$ P
年龄/岁	48.0 $\pm$ 12.2	50.9 $\pm$ 12.3	0.128
男/女	52/24	55/29	0.693
左/右	40/36	47/37	0.674
结石大小/mm ²	683.1 $\pm$ 285.7	630.6 $\pm$ 244.4	0.212
结石密度/HU	997.3 $\pm$ 287.6	948.1 $\pm$ 308.7	0.300
BMI/(kg $\cdot$ m ⁻²)	25.7 $\pm$ 3.2	26.4 $\pm$ 3.3	0.184
Guy's 分级 3~4	34(44.7)	32(38.1)	0.394

1.2 3D 肾结石模型重建与术前可视化规划

3D 规划组中,采集 CTU 薄层数据图像,使用三维重建软件 MIMICS 19.0 进行图像三维重建,

结合阈值分割、区域生长法、布尔函数算法与人工分割修饰多种方法进行图像分割,分割后进行三维计算重建,重建肾结石、肾脏、集合系统及相关附属结构脊柱、肋骨、腰部皮肤。各组织结构融合成一体化数字肾内结构三维模型。

使用 MIMICS 19.0 软件虚拟仿真模块,对 3D 肾结石模型进行角度旋转及放大透明化便于穿刺规划。经皮肾仿真穿刺规划依据短距原则、高点原则、钝角原则、穹隆原则进行规划:短距原则是指从皮肤穿刺点到目标肾盏距离最短;高点原则是指对于多发结石或者鹿角状结石者,目标肾盏是结石所在肾盏位置最高;钝角原则是指对于多发结石或者鹿角状结石者,通道尽量与其他肾盏结石呈钝角;穹隆原则是指穿刺需要是肾盏穹隆部并与盏颈同轴方向进针^[7]。最后将 3D 穿刺针在数字化肾结石 3D 模型上进行仿真穿刺。对于多发结石或鹿角形肾结石,因角度或平行盏原因单通道无法粉碎的结石,在 3D 模型根据结石分布设计双通道穿刺(图 1),3D 规划由术者或助手进行完成。

1.3 术中引导及手术方法

所有患者进行改良截石侧卧位 B 超定位 PCNL。逆行置入输尿管 5F 导管后,3D 规划组根据术前规划方案展示进行穿刺,皮肤穿刺点定位依据对术前 3D 模型规划穿刺点进行测量:穿刺点到脊柱距离和距离 12 肋下平面距离。同时在重建的 3D 肾结石模型上以穿刺针为平面将模型进行纵向切割,转化二维穿刺图像,以增强辅助术中 B 超定位肾盏穿刺(图 2)。

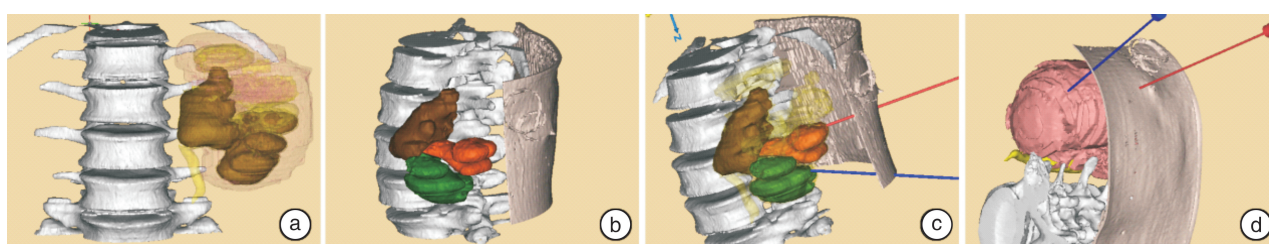


图 1 部分鹿角形肾结石 3D 模型术前规划
a:3D 肾三维模型;b:肾盂及分支肾盏结石予不同颜色区别标识;c:对平行盏结石进行双通道穿刺规划;d:3D 模型上保留双穿刺针路径。

图 1 部分鹿角形肾结石 3D 模型术前规划

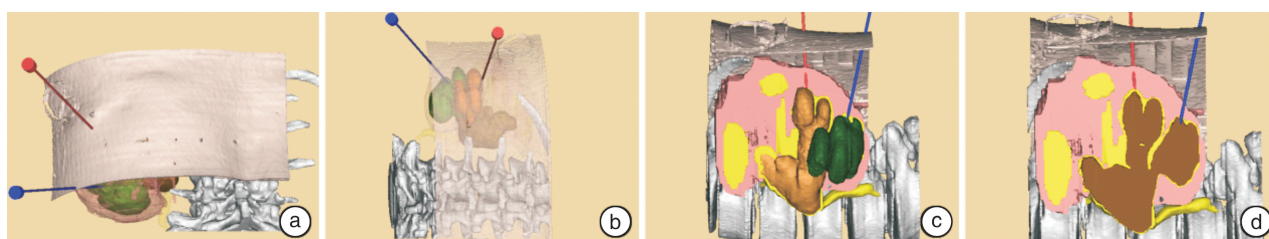


图 2 3D 模型增强显示术中穿刺辅助
a:皮肤上规划穿刺点;b:穿刺角度透视;c:穿刺肾截面 3D 映射;d:3D 切割对术中 B 超图像增强显示。

图 2 3D 模型增强显示术中穿刺辅助

对照组根据术前 CT 横截面、冠状面进行数据测量及经皮穿刺线标识完成术前穿刺规划^[8]。术中结合实时 B 超进行常规定位穿刺。

穿刺针进入见尿液或导管注水流出表明穿刺成功,两组穿刺成功后采用筋膜扩张器逐步扩张至 18F 或 20F,通道采用带负压的 Y 型鞘建立^[9]。碎石采用气压弹道碎石,遇到较硬的结石采取钬激光粉碎结石,结石清除后留置双 J 管及 14~16F 肾造瘘管。术后第 2 天进行 CT 复查,结石清除认为术后复查 CT 没有任何结石或临床无意义的 <4 mm 残余结石^[10]。根据复查 CT 图像评估实际穿刺盏与术前规划的符合度。残余结石患者根据情况采取二期 PCNL 碎石、择期输尿管软镜碎石、体外冲击波碎石或药物排石辅助治疗。记录术中及术后相关指标。手术时间定义为穿刺针进入集合系统至留置皮肤肾造瘘管的时间;手术出血量根据术前和术后 24 h 血红蛋白的改变估计;经皮肾镜住院时间定义手术当日出院的时间;术后并发症采用 Dindo Clavien 分级^[11]。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 20.0 统计软件进行数据处理,计量资料按 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以例(%)表示,等级资料计算构成比;正态分布计量资料比较采用 t 检验,非正态分布计量采用 Mann-Whitney 检验,计数资料比较采用 χ^2 检验,等级资料比较采用秩和检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

3D 规划组 76 例肾结石患者均成功进行了 3D 术前规划,切割的 3D 经皮肾穿刺图像增强了术中辅助 B 超定位肾盏穿刺。

两组患者术中及术后临床指标比较见表 2。3D 规划组中 18 例一期采取双通道穿刺,其中 6 例是多发肾结石、7 例部分鹿角形肾结石和 5 例是完全性鹿角形肾结石,双通道穿刺比例显著大于常规组(23.6% vs. 6.0%, $P = 0.001$)。与对照组比较,3D 规划组首个穿刺定位时间更短,一期 PCNL 结石清除率及总结石清除率更高,住院时间更短(均 $P < 0.05$)。术后并发症包括术后疼痛、发热患者 15 例(Clavien I),4 例输血患者(Clavien II),1 例肾出血需要肾栓塞治疗(Clavien III)。两组在平均手术出血量、手术时间及术后并发症比较差异无统计学意义。术后随访 1 个月,无严重不良反应。

3 讨论

如何提高结石清除率及减少并发症一直是 PCNL 临床研究的重点。在处理复杂性肾结石时,根据结石分布制定合理的经皮肾穿刺路径是提高 PCNL 手术效果的关键。穿刺通道设计的重要性在于:一方面,穿刺通道与出血、胸膜损伤等并发症密切相关^[12];另一方面,采取不同的穿刺入路手术

效果可具有明显差异,Amaresh 等^[13]对肾盂或(并)下盏肾结石进行上盏穿刺和下盏穿刺 PCNL 分组对比,分析得出这类肾结石上盏穿刺比下盏穿刺 PCNL 可减少手术时间、术中出血量及提高结石清除率;相关研究也表明即使进入同一个肾盏,以不同方向经皮肾穿刺面临的损伤和碎石效果也是不同的^[14]。因此,如何规划合理经皮肾穿刺路径即精准经皮肾穿刺非常值得关注。

表 2 两组术中及术后临床指标比较

例(%), $\bar{x} \pm s$

指标	3D 规划组 ($n=76$)	对照组 ($n=84$)	P
首个定位穿刺时间/ min	3.8 ± 1.2	5.6 ± 1.6	<0.001
双通道穿刺	18(23.6)	5(6.0)	0.001
穿刺盏符合度	68(89.5)	51(60.7)	<0.001
手术时间/min	57.3 ± 15.4	61.5 ± 19.2	0.135
出血量/($g \cdot dL^{-1}$)	1.6 ± 0.7	1.5 ± 0.7	0.555
住院时间/d	4.7 ± 1.0	5.1 ± 1.0	0.004
并发症/例	9	11	0.811
Clavien I	8	7	
Clavien II	1	3	
Clavien III	0	1	
一期结石清除率	65(85.5)	57(67.8)	0.009
二期 PCNL	7(9.2)	15(17.8)	0.113
总结石清除率	70(92.1)	67(79.8)	0.026

精准的经皮肾穿刺就是最大限度兼顾手术高效性与安全性的穿刺。常规 PCNL 穿刺规划根据多层 CT 或 CTU 进行参考,可大致规划拟穿刺的肾盏^[8,15],但仍无法规划皮肤穿刺点及精准的穿刺路径。近年来,3D 数字化医学运用到 PCNL 指导精准穿刺被认为是一项较有前景的技术。通过患者的 CT 数据集建立的 3D 模型,基本代表了患者个体化的解剖学形态。它提供肾脏透明化、结石放大、旋转、测量可进行精细的 3D 穿刺规划。余琥等^[7]提出超声引导下经皮肾穿刺路径建立原则:即短距原则、高点原则、钝角原则、穹隆原则(SVOF 原则)。而得益于 3D 模型的可视化显示,我们可以直观地以 SVOF 原则进行 3D 穿刺针调整到达理想的穿刺路径规划。术前在 3D 肾结石模型进行规划 PCNL 很大程度可预测通道碎石效果,相关研究证实在打印 3D 肾结石模型中模拟 PCNL 清除结石效果与实际碎石效果具有较高的一致性^[16]。鉴于鹿角形肾结石的复杂性,如果只规划单一通道穿刺,可能会出现有些鹿角区域结石因与穿刺通道成窄锐角或成平行盏结石等原因无法粉碎;此时 3D 肾结石模型提供的可视化结石分布非常有助于设

计划第二穿刺通道碎石,以增加一期 PCNL 碎石效率。

通过 3D 模型规划了合理的穿刺通道,如何确保术中能按照术前穿刺通道执行也是需要解决的问题。目前研究有将术前规划好的 3D 模型通过 iPad 后置摄像头追踪融合技术指导穿刺定位作用^[17];或在 3D 肾结石模型规划置入 3D 穿刺鞘,利用仿真软件分割出“包含穿刺鞘腰背表面的方形区域”,然后进行 3D 打印,手术中将打印的“腰背穿刺鞘模块”覆盖在患者腰部穿刺区域,从穿刺鞘孔直接引导穿刺^[18]。这些方法也还难以解决组织变形性及呼吸肾活动度影响,相关实时的 B 超和三维肾融合技术也仍未成熟。本研究我们采取以包含 3D 穿刺针的多层面切割 3D 模型图像进行 2D 引导辅助,利用分割法将 3D 和 2D 图像增强转化,通过视觉融合起到辅助指引作用,弥补 B 超定位的二维图像劣势,同时术者也可根据术中实际情况进行适当的调整,目前结果也表明术中穿刺和术前规划达到了较高符合度。

本项回顾性对比研究结果 3D 规划 PCNL 组相比常规 B 超定位组具有较高的结石清除率。通过分析,一方面,单通道的 3D 规划合理设计提升了碎石效率;另一方面,大部分鹿角形肾结石往往需要多阶段或多通道碎石^[19],3D 规划研究组中更多患者采用一期双通道规划碎石,提高了一期碎石效率,减少需要二期 PCNL 碎石的患者,缩短了平均住院时间。多通道穿刺还需要考虑手术安全问题,过于追求一期结石清除率而采取过多的穿刺通道,可能会增加出血量及术后输血比例^[20]。由于刚性 3D 模型结构无法展示实际肾组织变形程度,本研究术前 3D 规划暂不考虑设计多于 2 个穿刺通道。在结果中,3D 规划组双通道 PCNL 比例增加,但没有观察到手术出血量和术后并发症明显增加。良好的穿刺通道可加快碎石效率,配合 Y 型负压吸引鞘也可促进结石的快速吸出,3D 规划组结石清除率明显提高,但没有明显延长手术时间。

3D 规划组与对照组术前均进行常规 CTU 检查,CT 检查上不增加额外费用。3D 规划组术前需采取 CT 数据集进行三维重建及规划,重建可由放射科医生或掌握三维重建方法的泌尿外科医师完成。我中心治疗组开展肾结石及肾肿瘤三维可视辅助外科积累一定经验,可泌尿外科医生独立开展三维重建,并不增加患者费用开支。关于个体化肾结石模型重建方法我们曾进行了详细的阐述^[3-4],临床可参考我们的方法逐步开展。经过改进,目前缩减采集 CT 平扫期、肾盂分泌期图像即可完成重建肾结石模型。有些技术服务公司能提供医学可视化三维重建的服务,而如果选择与技术服务公司合作完成三维重建,就可能会增加患者一定额外费

用开支。3D 规划是在 3D 肾结石模型上标注规划 PCNL 穿刺通道,规划步骤较简易,通过 3D 模型旋转、放大进行观察,然后位移 3D 规划针进行标注穿刺路径即可完成。3D 规划针可复制转移及保存,因此,泌尿外科临床医生可独立完成 3D 规划。重建的 3D 肾结石模型除了数字化穿刺规划,也可实体 3D 打印穿刺规划^[21-22],3D 打印作为术前谈话展示、模型教学及 PCNL 训练也有帮助^[23-24]。但任意放大和透明化规划是 3D 实体打印所不具有的优势,而且 3D 打印目前仍较为昂贵和费时,临床大量的推广仍有一定困难,因而我们选择采用较为简便的虚拟仿真规划,数字化多层切割更灵活、可重复性和操作性强。

个体化肾结石 3D 可视化穿刺规划提升了经皮肾镜中穿刺通道的合理性,根据结石复杂性更可合理设计一期多通道碎石,改进的多层面 3D 模型切割可用于术中辅助引导穿刺。通过本项回顾性对比分析结果,相比常规 CT 规划 PCNL,3D 可视化穿刺规划及术中辅助整体上提高了结石清除率,减少住院时间,值得临床推广使用。

参考文献

- [1] Valdivia JG, Scarpa RM, Duvdevani M, et al. Supine versus prone position during percutaneous nephrolithotomy: a report from the clinical research office of the endourological society percutaneous nephrolithotomy global study[J]. J Endourol, 2011, 25(10): 1619-1625.
- [2] Astroza G, Lipkin M, Neisius A, et al. Effect of supine vs prone position on outcomes of percutaneous nephrolithotomy in staghorn calculi: results from the Clinical Research Office of the Endourology Society Study [J]. Urology, 2013, 82(6): 1240-1244.
- [3] 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[J]. World J Urol, 2013, 31(6): 1587-1592.
- [4] 陈远波, 李虎林, 刘春晓, 等. 数字化肾结石三维模型的建立及虚拟手术仿真[J]. 南方医科大学学报, 2013, 33(2): 267-270.
- [5] Tiselius HG, Andersson A. Stone burden in an average Swedish population of stone formers requiring active stone removal: how can the stone size be estimated in the clinical routine? [J]. Eur Urol, 2003, 43(3): 275-281.
- [6] Thomas K, Smith NC, Hegarty N, et al. The Guy's stone score—grading the complexity of percutaneous nephrolithotomy procedures [J]. Urology, 2011, 78(2): 277-281.
- [7] 余斌, 夏丁, 彭鄂军, 等. 超声引导下 SVOF 原则两步穿刺法建立经皮肾镜工作通道的临床研究[J]. 中华外科杂志, 2018, 56(10): 764-767.
- [8] Thiruchelvam N, Mostafid H, Ubhayakar G. Planning

- percutaneous nephrolithotomy using multidetector computed tomography urography, multiplanar reconstruction and three-dimensional reformatting[J]. BJU Int, 2005, 95(9):1280-1284.
- [9] Lai D, Chen M, Sheng M, et al. Use of a Novel Vacuum-Assisted Access Sheath in Minimally Invasive Percutaneous Nephrolithotomy: A Feasibility Study [J]. J Endourol, 2020, 34(3):339-344.
- [10] Opondo D, Gravas S, Joyce A, et al. Standardization of patient outcomes reporting in percutaneous nephrolithotomy[J]. J Endourol, 2014, 28(7):767-774.
- [11] de la Rosette JJ, Opondo D, Daels FP, et al. Categorisation of complications and validation of the Clavien score for percutaneous nephrolithotomy[J]. Eur Urol, 2012, 62(2):246-255.
- [12] Watterson JD, Soon S, Jana K. Access related complications during percutaneous nephrolithotomy: urology versus radiology at a single academic institution[J]. J Urol, 2006, 176(1):142-145.
- [13] Amaresh M, Hegde P, Chawla A, et al. Safety and efficacy of superior calyceal access versus inferior calyceal access for pelvic and/or lower calyceal renal calculi-a prospective observational comparative study [J]. World J Urol, 2020.
- [14] Basiri A, Kashi AH, Zeinali M, et al. Ultrasound-guided access during percutaneous nephrolithotomy: entering desired calyx with appropriate entry site and angle[J]. Int Braz J Urol, 2016, 42(6):1160-1167.
- [15] Brehmer M, Beckman MO, Magnusson A. Three-dimensional computed tomography planning improves percutaneous stone surgery[J]. Scand J Urol, 2014, 48(3):316-323.
- [16] Xu Y, Yuan Y, Cai Y, et al. Use 3D printing technology to enhance stone free rate in single tract percutaneous nephrolithotomy for the treatment of staghorn stones[J]. Urolithiasis, 2020, 48(6):509-516.
- [17] Rassweiler-Seyfried MC, Rassweiler JJ, Weiss C, et al. iPad-assisted percutaneous nephrolithotomy (PCNL): a matched pair analysis compared to standard PCNL[J]. World J Urol, 2020, 38(2):447-453.
- [18] Golab A, Smektala T, Krolkowski M, et al. Percutaneous Nephrolithotomy Using an Individual 3-Dimensionally Printed Surgical Guide[J]. Urol Int, 2018, 100(4):485-487.
- [19] Mishra S, Sabnis RB, Desai M. Staghorn morphometry: a new tool for clinical classification and prediction model for percutaneous nephrolithotomy monotherapy [J]. J Endourol, 2012, 26(1):6-14.
- [20] Zhao Z, Cui Z, Zeng T, et al. Comparison of 1-stage With 2-stage Multiple-tracts Mini-percutaneous Nephrolithotomy for the Treatment of Staghorn Stones: A Matched Cohorts Analysis[J]. Urology, 2016, 87:46-51.
- [21] 丘捷文, 李春, 文博, 等. 3D 打印技术在经皮肾镜取石术中的应用[J]. 临床泌尿外科杂志, 2017, 32(7):524-528.
- [22] 刘宇保, 刘彬, 胡卫国, 等. 3D 打印技术对鹿角形肾结石 PCNL 术前精准设计的临床研究[J]. 临床泌尿外科杂志, 2018, 33(1):30-35.
- [23] Ghazi A, Campbell T, Melnyk R, et al. Validation of a Full-Immersion Simulation Platform for Percutaneous Nephrolithotomy Using Three-Dimensional Printing Technology[J]. J Endourol, 2017, 31(12):1314-1320.
- [24] Turney BW. A new model with an anatomically accurate human renal collecting system for training in fluoroscopy-guided percutaneous nephrolithotomy access [J]. J Endourol, 2014, 28(3):360-363.

(收稿日期:2021-05-12)