

论 著

基于 3DSlicer 软件的三维可视化技术在输尿管软镜钬激光碎石取石术中的应用

赵伟* 周士明 李玉侨 高辉 马征 李江松 林涛 马云波

聊城市人民医院泌尿外科, 聊城 252000

通信作者: 赵伟, urozw@foxmail.com

收稿日期: 2022-02-18

[摘要] 目的: 探讨基于 3D Slicer 软件的三维可视化技术在输尿管软镜钬激光碎石手术中的应用。方法: 回顾性分析 2019 年 1 月-2021 年 6 月我院行输尿管软镜钬激光碎石手术 92 例患者的临床资料, 其中基于 3D Slicer 软件三维可视化技术指导的输尿管软镜钬激光碎石手术 30 例, 采用传统输尿管软镜钬激光碎石手术 62 例。运用 SPSS 26.0 倾向性评分匹配, 得到两组各 30 例进行比较。结果: 三维可视化技术指导的输尿管软镜碎石组(三维可视化组)和传统输尿管软镜碎石组(传统组)患者的基线资料具有可比性。三维可视化组的手术时间用时较短($P=0.04$), 术后 4 周的结石清除率, 三维可视化组高于传统组($P=0.03$)。结论: 应用 3D Slicer 软件重建的肾和结石三维可视化模型, 可准确显示集合系统形态和结石的具体位置, 通过术者术中认知融合, 有利于缩短手术时间, 减少术后残石率。

[关键词] 3DSlicer; 肾结石; 输尿管软镜; 三维重建; 三维可视化**[中图分类号]** R737.14 **[文献标识码]** A**[DOI]** 10.19558/j.cnki.10-1020/r.2022.04.004

Clinical application of three-dimensional visualization technology based on 3D Slicer software in flexible ureteroscopic lithotripsy

Zhao Wei* Zhou Shiming Li Yuqiao Gao Hui Ma Zheng Li Jiangsong
Lin Tao Ma Yunbo

(Department of Urology, Liaocheng People's Hospital, Liaocheng 252000, China)

Corresponding author: Zhao Wei, urozw@foxmail.com

Abstract Objective: To investigate the application of 3D visualization technology based on 3D slicer software in flexible ureteroscopic holmium laser lithotripsy. **Methods:** The clinical data of 92 patients who underwent ureteroscopic holmium laser lithotripsy in our hospital between January 2019 and June 2021 were analyzed retrospectively. A total of 30 cases were treated by flexible ureteroscopic holmium laser lithotripsy based on three-dimensional visualization technology, and 62 cases were treated by traditional flexible ureteroscopic holmium laser lithotripsy. We used the match of tendentious score by SPSS26.0 to choose 30 cases in each group. The clinical data were compared and analyzed. **Results:** The baseline data of patients in the three-dimensional visualization guided ureteroscopic lithotripsy group (three-dimensional visualization group) and the traditional ureteroscopic lithotripsy group (traditional group) were comparable. The operation time in the three-dimensional visualization group was shorter ($P=0.04$), and the stone clearance rate at 4th week after operation in the three-dimensional visualization group was higher than that in the traditional group ($P=0.03$). **Conclusions:** The 3D visualization model of kidney and stone reconstructed by 3D slicer software can accurately display the shape of the collection system and the specific location of the stone. Through the intraoperative cognitive fusion of the operator, it is helpful to shorten the operation time and reduce the rate of postoperative residual stone.

Key words 3D slicer; renal stones; flexible ureteroscope; three-dimensional reconstruction; three-dimensional visualization

肾结石是泌尿外科常见疾病之一, 对于直径 1~2cm 的肾结石, 逆行输尿管软镜手术(retro-

grade intrarenal surgery, RIRS)效果好, 创伤小, 是首选的治疗方式^[1]。

肾脏集合系统的解剖变异是常见现象,不同患者的肾脏集合系统形态差异很大^{[2],[3]}。输尿管软镜视野小,进入肾集合系统后容易迷失方向,尤其是肾积水较重的患者,这为输尿管软镜碎石造成了很大的困难,导致术中寻找结石困难、手术时间长、结石遗漏等情况。

目前CT是肾结石术前常用的影像学评估方法^[4],平扫CT可以了解结石数量和大致位置,CT尿路造影(CTU)可以了解肾集合系统形态,但是二者无法提供每颗结石在肾盂肾盏内的准确位置,这导致CT检查对输尿管软镜术中结石的寻找帮助有限。

近些年,基于影像学资料的医学三维重建技术不断发展,其中3D Slicer软件是美国国立研究院资助的免费医学图像处理软件^[5],它通过对CT原始数据整合重建,将患者的器官、血管及病变组织等以三维模型的形式呈现,可以提供直观、准确的立体三维可视化模型。

本研究选取输尿管软镜手术患者的临床资料,通过倾向性评分匹配消除混杂和不均衡因素,将基于3D Slicer软件三维可视化技术的输尿管软镜碎石术和传统输尿管软镜碎石术进行比较,探讨术前三维可视化技术在输尿管软镜碎石手术中的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析我院2019年1月-2021年6月行输尿管软镜钬激光碎石手术92例患者的临床资料。患者中,男52例,女40例;年龄(45.12 ± 14.05)岁;结石大小(1.62 ± 0.45)cm;结石硬度(961.53 ± 238.84)Hu。单发结石37例,多发结石55例;合并肾下盏结石38例;合并输尿管结石17例;合并肾积水34例;合并泌尿系感染25例;术前预置双J管61例。92例中有30例采用基于3D Slicer软件三维可视化技术指导的输尿管软镜钬激光碎石手术(三维可视化组),有62例采用传统输尿管软镜钬激光碎石手术(传统组)。所有病例术前行平扫CT和(或)CTU,术后行KUB或平扫CT评估结石残留情况,并在术前常规行尿常规和尿培养检查,对合并感染的患者待感染控制后再行手术。

1.2 CT影像数据

泌尿系平扫CT和CTU的层厚为1mm,CTU检查应用双筒高压注射器,造影剂为非离子型碘制剂碘海醇(300mg/ml),于肘静脉注射,速率为5 ml/s。动脉期扫描采用对比剂触发扫描技

术,阈值达200Hu时自动扫描,静脉期扫描70 s,排泄期扫描900 s,必要时排泄期扫描可延长至30min。三维可视化组患者的CT原始数据以医学数字图像与通讯(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)格式拷贝存储。

1.3 传统输尿管软镜碎石术

手术前术者通过对患者的泌尿系平扫CT或CTU的阅片,了解结石的数量、位置、大小以及肾积水情况等信息;在手术中,依据术前阅片的信息寻找结石;使用电子输尿管软镜(日本, Olympus公司)和德国Wavelight钬激光进行粉末化碎石手术,激光功率18~32W。

1.4 基于三维可视化技术的输尿管软镜碎石术

1.4.1 三维可视化步骤 (1)CTU动脉期和排泄期扫描的CT图像空间数据不完全一致,在三维重建前需进行配准。将动脉期和排泄期CT图像数据同时导入3D Slicer(版本号4.10),应用3D Slicer软件中“General Registration(Elastix)”配准模块,以排泄期图像数据作为基准数据,动脉期图像数据作为待配准数据,进行图像配准。平扫CT无需进行配准步骤。(2)应用3D Slicer软件中的“Segment Editor”分割模块,采用“阈值分割法”对CT图像分割,并进行结石和肾集合系统三维可视化模型的重建,使用“Segment Editor”分割模块内的“Hollow”工具对重建的肾集合系统进行“空腔”处理。(3)最后将重建的结石和集合系统融合在一个三维可视化模型中,并使用不同颜色区分重建的各模型。CTU影像数据经过配准、分割及融合等步骤,可立体呈现肾集合系统和结石的形态及位置关系(图1)。平扫CT影像数据经过分割步骤重建的三维可视化模型略粗糙,不过仍可以显示集合系统三维形态及结石在集合系统的位置(图2)。

1.4.2 手术方案制定和术中认知融合 手术者术前在不同角度观察重建的三维可视化模型(图1),通过旋转、缩放、任意组合显示、透明化等方式,准确掌握集合系统三维形态、所有结石在集合系统的具体位置,以及肾盏颈情况、肾盂肾下盏夹角(infundibulopelvic angle, IPA)等相关信息,并将其打印成彩色图片,用于术前手术方案制定、医患沟通和术中认知融合。使用电子输尿管软镜(日本, Olympus公司)和德国Wavelight钬激光进行粉末化碎石手术,激光功率18~32W。术者在术中通过打印的彩色图片,随时查看三维可视化模型,将输尿管软镜视野下镜像与三维可视化模型进行认知融合(图3)。

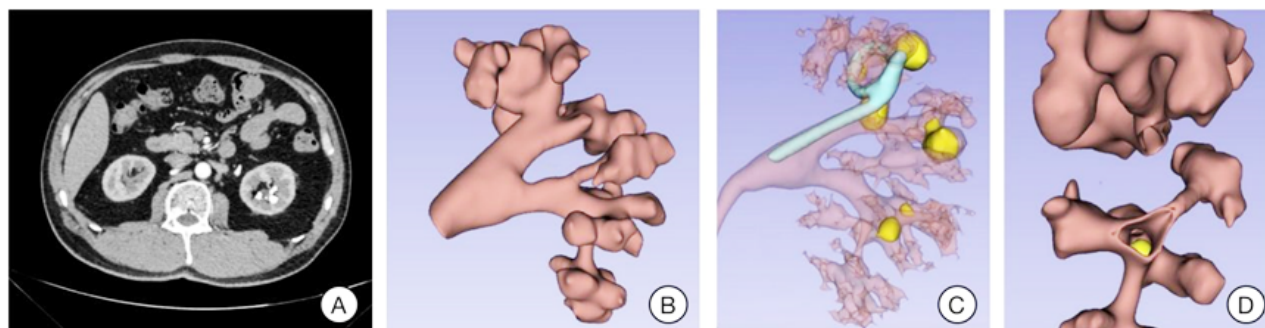


图1 基于CTU影像数据的三维可视化模型

A:CT动脉期图像;B:肾脏集合系统形态;C:结石在集合系统的位置;D:模拟输尿管软镜视野

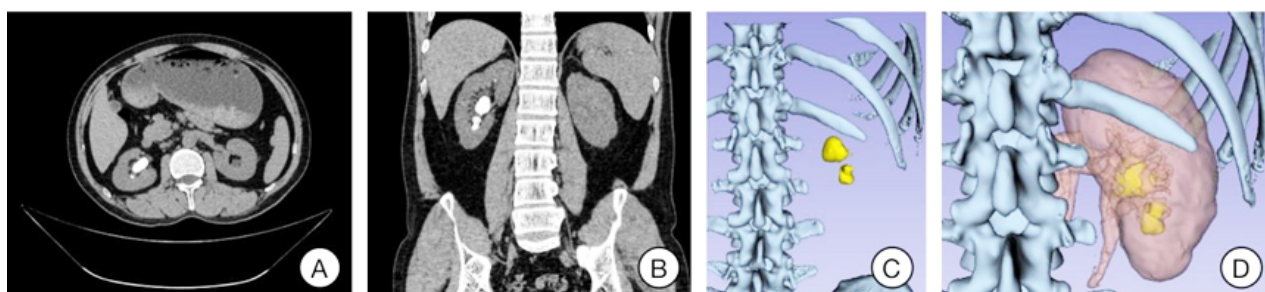


图2 基于CT平扫影像数据的三维可视化模型

A:CT平扫横断面图像;B:CT平扫图像冠状面图像;C:结石;D:结石在集合系统的位置

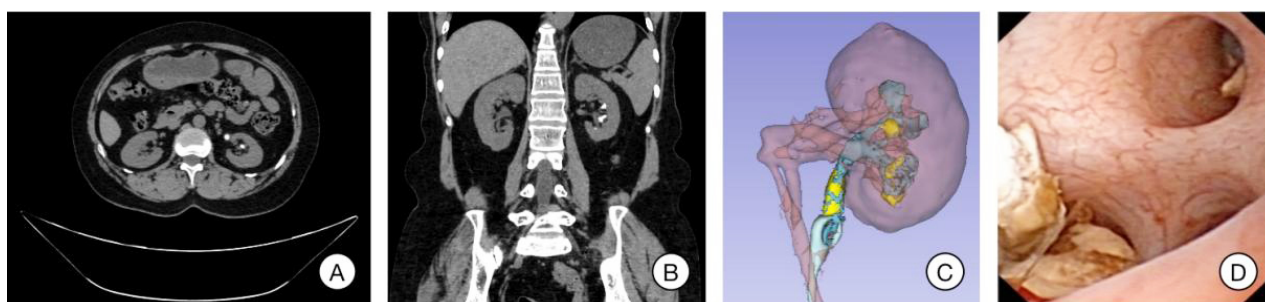


图3 三维可视化模型与输尿管软镜视野

A:CT横断面图像;B:CT冠状面图像;C:结石在肾盂肾盏的位置;D:输尿管软镜视野

1.5 观察指标

记录手术时间,观察术后体温变化,术后4周复查KUB或平扫CT,统计结石清除率,KUB或CT未发现结石或残石直径小于4mm,认为结石清除干净。并统计有无其他并发症发生。

1.6 统计学方法

应用SPSS 26.0统计学软件处理数据。采用倾向性评分匹配减少混杂和不均衡因素的影响,匹配后的两组相关参数进行比较。计量资料用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本t检验。计数资料组间比较采用卡方检验或Fisher精确概率检验, $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。

2 结果

采用基于3D Slicer软件三维可视化技术指

导的输尿管软镜碎石手术(三维可视化组)有30例,采用传统输尿管软镜碎石手术(传统组)有62例,两组性别、年龄差异、术前是否预置双J管、是否合并输尿管结石和结石硬度无统计学意义($P > 0.05$),但是术前有无尿路感染、是否合并肾积水、结石是否多发、有无肾下盏结石和结石大小等差异有统计学意义($P < 0.05$),两组混杂因素较多(表1),可比性差。混杂因素应用SPSS 26.0进行1:1倾向性得分匹配,匹配容差设为0.1,以性别、年龄、术前双J管、输尿管结石、肾积水、尿路感染、结石位置、数量、硬度和大小等为协变量,对三维可视化组和传统组进行倾向评分配对,匹配后获得三维可视化组30例,传统组30例(表2),两组性别、年龄、术前是否预置双J管、术前是否合并输尿管结石、肾积水、尿路感染、结石

数量、部位、大小和硬度等差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

将匹配后的 60 例患者进行比较,三维可视化组平均手术时间(78.31 ± 32.48)min,传统组平均手术时间(86.26 ± 43.80)min,三维可视化组用时较短($P=0.04$)。三维可视化组术后发热 1 例

(3.33%),少于传统组 4 例(13.33%),但差异无统计学意义($P>0.05$)。三维可视化组术后 4 周复查 KUB 或平扫 CT 有 1 例(3.33%)可见残石,结石清除率 96.67%,传统组术后有 8 例(26.67%)可见残石,结石清除率 73.33%,差异具有统计学意义($P=0.03$)(表 3)。两组均无其他并发症

表 1 三维可视化组和传统组临床资料比较

指标	三维可视化组 ($n=30$)	传统组 ($n=62$)	t/χ^2 值	P 值
性别/ $n(\%)$			0.22	0.64
男	18(60)	34(55)		
女	12(40)	28(45)		
年龄/(岁, $\bar{x}\pm s$)	47.57 ± 14.63	51.35 ± 13.64	1.22	0.19
术前尿路感染/ $n(\%)$	13(43)	12(19)	5.87	0.02
预置双 J 管/ $n(\%)$	17(57)	44(71)	1.85	0.24
肾积水/ $n(\%)$	16(53)	18(29)	5.12	0.02
输尿管结石/ $n(\%)$	8(27)	9(15)	1.98	0.16
是否为多发结石/ $n(\%)$			5.28	0.02
单发	7(23)	30(48)		
多发	23(77)	32(52)		
是否有肾下盏结石/ $n(\%)$			4.33	0.04
无肾下盏结石	13(43)	41(66)		
有肾下盏结石	17(57)	21(34)		
结石大小/(cm, $\bar{x}\pm s$)	1.79 ± 0.55	1.53 ± 0.36	-2.63	0.01
结石硬度/(Hu, $\bar{x}\pm s$)	958.56 ± 269.29	962.97 ± 224.98	-0.08	0.93

表 2 匹配后三维可视化组和传统组临床资料比较

(n=30)				
指标	三维可视化组	传统组	t/χ^2 值	P 值
性别/ $n(\%)$			0.61	0.44
男	18(60)	15(50)		
女	12(40)	15(50)		
年龄/(岁, $\bar{x}\pm s$)	47.57 ± 14.62	51.83 ± 13.47	-1.18	0.25
术前尿路感染/ $n(\%)$	13(43)	9(30)	1.15	0.28
预置双 J 管/ $n(\%)$	17(57)	20(67)	0.64	0.43
肾积水/ $n(\%)$	16(53)	12(40)	1.07	0.30
输尿管结石/ $n(\%)$	8(27)	3(10)	2.78	0.10
是否为多发结石/ $n(\%)$			1.27	0.26
单发	7(23)	11(37)		
多发	23(77)	19(63)		
是否有肾下盏结石/ $n(\%)$			1.67	0.20
无肾下盏结石	13(43)	18(60)		
有肾下盏结石	17(57)	12(40)		
结石大小/(cm, $\bar{x}\pm s$)	1.79 ± 0.55	1.66 ± 0.45	0.94	0.35
结石硬度/(HU, $\bar{x}\pm s$)	958.56 ± 269.29	977.21 ± 256.75	-0.28	0.79

发生。

3 讨论

输尿管软镜钬激光碎石手术是直径 1~2cm 肾结石的首选治疗方法^[1],目前在临床已广泛开展,取得了较好的临床疗效。解剖变异是人体常见现象,肾集合系统结构复杂,不同患者的肾盂肾盏形态差异很大^[2,3,6]。而输尿管软镜视野小,进入肾盂肾盏后容易迷失方向,尤其是肾积水较重、结石多发的患者,这导致手术时间延长、术中结石遗漏,术后残石率较高^[7]。李显永等^[8]认为肾集合系统解剖结构是输尿管软镜处理肾下盏结石疗效的独立危险因素。所以术者,尤其是刚开展输尿管软镜的术者,在手术前对肾集合系统的三维形态和结石的具体位置了解越充分,越有利于术中结石的寻找和缩短手术时间,同时还可以避免因为结石多发或碎石过程中结石游走等情况导致的结石遗漏。

目前,CT 是泌尿系结石术前应用最广泛和最有价值的影像学检查手段^[4]。泌尿系平扫 CT 可以显示结石数量、大小,但横断面图像无法了解肾集合系统三维形态。尽管 CT 尿路成像(CTU)可以三维重建肾集合系统形态,但术者不能自己旋转图像,不能选择性透明化显示内部结构,无法空腔化处理,无法模拟软镜视野在不同的角度观察集合系统腔内的形态。另外,由于 CTU 是基于排泄期单时相 CT 数据进行的集合系统重建,不同时相的重建模型无法融合^[9],集合系统三维图像无法与结石同时显示,不能明确结石在集合系统内的准确位置,对术中结石的寻找帮助有限。

随着数字医学技术的发展,精准手术理念指导下的、基于术前影像学数据的三维重建技术在临床上应用越来越广泛,这使得患者影像数据不仅可以用于疾病的诊断,还可以用于手术规划,提高手术的精准性和安全性^[10]。目前,已有国内外很多公司开发了相关的影像处理软件并应用于临床,如陈远波等^[11]利用三维重建软件 mim-

ics10.0 对肾结石患者的 CT 数据三维重建,根据三维模型提供的肾内及肾脏毗邻器官解剖关系,指导经皮肾镜手术,发现对提高碎石率和减少手术并发症有重要意义。邵明峰等^[12]探讨了基于 CT 三维重建技术的预置通道法经皮肾镜碎石术在治疗上尿路结石中的运用,发现三维重建技术的预置通道组的结石清除率 28(90.3%)优于传统 PCNL 组的 21(67.7%),基于三维重建技术的预置通道法具有减少手术并发症、缩短手术时间、提高结石清除率等优点。丘捷文等^[13]认为 3D 打印的肾结石模型,能够很好地反映出结石形态、位置及与周围组织的关系。

3D Slicer 软件是美国国立研究院资助的免费、开源、多平台的医学图像处理软件^[5],它通过对 CT、MRI 等影像数据三维重建,提供直观、准确的三维可视化模型,在国内外的神经外科领域,已经开展了较丰富的临床应用场景^[14],但目前在泌尿外科领域应用较少,尤其在输尿管软镜手术中的应用价值,尚未有报道。

本研究中,三维可视化组 30 例患者的 CTU 或平扫 CT 影像数据,应用 3D Slicer 软件的配准、分割和融合等功能模块,使肾集合系统和结石在一个三维可视化模型中呈现。术中通过对三维可视化模型的认知融合指导手术,结果发现基于三维可视化技术的输尿管软镜钬激光碎石的平均手术时间(78.31 ± 32.48) min 短于传统组(86.26 ± 43.80) min($P>0.05$);三维可视化组术后第 4 周结石残石率(3.33%)显著低于传统组(26.67%)($P=0.017$)。我们认为,三维可视化模型可以使术者在术前充分了解肾集合系统的三维形态和结石的具体位置,尤其可以模拟输尿管软镜的视野,术前就可以观察肾盂、肾盏腔内的三维形态,从而减少手术中的探索性步骤,缩短手术时间。本研究中,手术者通过对三维可视化模型的认知融合,可以在较短的时间内将肾上盏、中盏及下盏全面观察,避免出现肾盏遗漏、观察不全,减少结石残留的发生。

表 3 三维可视化组和传统组手术指标比较

(n=30)

指标	三维可视化组	传统组	t/ χ^2 值	P 值
手术时间/(min, $\bar{x}\pm s$)	78.31 \pm 32.48	86.26 \pm 43.80	-2.18	0.04
术后发热/n(%)	1(3.33)	4(13.33)	—	0.35*
结石清除率/n(%)	29(96.67)	22(73.33)	—	0.03*

*Fisher 精确检验

综上所述,利用三维可视化软件,比如 3D Slicer,将肾集合系统和结石在三维可视化模型中同时呈现,使术者在术前对肾集合系统形态和结石位置充分了解,有利于缩短手术时间,增加手术安全性,减少术后残石率。因为 3D Slicer 软件完全免费,不增加患者费用,且简单易学,术者可以轻松掌握软件使用,有临床推广价值。

[参考文献]

- [1] 徐桂彬,李协照,何永忠,等.输尿管软镜治疗上尿路结石十年经验总结:单中心 10413 例临床分析[J].中国内镜杂志,2020,26(6):64-68.
- [2] GHONEIM IA, ZIADA AM, ELKATIB SED. Predictive factors of lower calyceal stone clearance after Extracorporeal Shockwave Lithotripsy (ESWL): a focus on the infundibulopelvic anatomy[J]. Eur Urol, 2005, 48(2): 296-302.
- [3] HÄCKER A, WENDT-NORDAHL G, HONECK P, et al. A biological model to teach percutaneous nephrolithotomy technique with ultrasound-and fluoroscopy-guided access[J]. J Endourol, 2007, 21(5): 545-550.
- [4] SANGUEDOLCE F, LIATSIKOS E, VERZE P, et al. Use of flexible ureteroscopy in the clinical practice for the treatment of renal stones: results from a large European survey conducted by the EAU Young Academic Urologists-Working Party on Endourology and Urolithiasis [J]. Urolithiasis, 2014, 42(4): 329-334.
- [5] FEDOROV A, BEICHEL R, KALPATHY-CRAMER J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network [J]. Magn Reson Imaging, 2012, 30(9): 1323-1341.
- [6] 谷清阳,郝斌,许长宝,等.肾结石患者逆行肾内结石手术后结石清除的影响因素及术前累计结石直径,结石体积的预测效能[J].山东医药,2020,60(36):24-28.
- [7] 李钧,田野,肖荆,等.泌尿外科手把手培训学习班在输尿管软镜教学中的探讨[J].中国病案,2016,17(6):77-79.
- [8] 李显永,李同海,陈印,等.肾下盏结石手术治疗的研究进展[J].山东医药,2018,58(48):100-103.
- [9] 郑蒙蒙,丁光璞,朱伟杰,等.术前三维影像重建在治疗肾盂输尿管连接部梗阻中的应用[J].北京大学学报:医学版,2020,52(4):705-710.
- [10] WANG Z, QI L, YUAN P, et al. Application of three-dimensional visualization technology in laparoscopic partial nephrectomy of renal tumor: a comparative study[J]. JJ Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2017, 27(5): 516-523.
- [11] 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.
- [12] 邵明峰,邹建安,徐久平.基于 CT 三维重建技术的预置通道法经皮肾镜碎石术在治疗梗阻性肾、输尿管上段结石中的运用[J].微创泌尿外科杂志,2020,9(5):310-315.
- [13] 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.
- [14] 伍博,周赤忠,潘德锐.3Dslicer 软件辅助定位老年高血压脑出血微创治疗的临床应用[J].临床外科杂志,2020,28(6):537-540.