·论著·

国产机器人辅助腹腔镜下根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术的初步临床经验

刘 茁*,刘 帅*,王国良,田晓军,张洪宪,刘 磊,马潞林△,张树栋△
(北京大学第三医院泌尿外科,北京 100191)

[摘 要] **目的**:探讨国产精锋 MP1000 多孔机器人手术系统辅助腹腔镜下行根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术的安全性与可行性。**方法**:回顾性分析 2024 年 6 月至 2026 年 1 月,于北京大学第三医院泌尿外科单中心接受精锋 MP1000 多孔机器人手术系统辅助行该手术的 15 例肾细胞癌(renal cell carcinoma,RCC)伴静脉癌栓患者的临床资料。明确主要观察指标为手术成功率、总并发症发生率及严重并发症(Clavien-Dindo ≥ Ⅲ级)发生率;次要指标为手术时间、术中出血量、术后住院时间等。采用描述性统计学方法进行分析。**结果**:15 例患者的手术均在机器人辅助下顺利完成,手术成功率为 100%,无中转开放病例。患者中位年龄 60 岁,中位体重指数 25.6 kg/m^2,中位手术时间 233.0 min,中位术中出血量 250.0 mL,5 例(33.3%)接受输血,中位术后住院时间 6 d。术后总并发症发生率为 6.7%(1/15),仅 1 例发生 Clavien-Dindo Ⅱ级淋巴漏,无Ⅲ级及以上严重并发症或围手术期死亡。术后组织病理检查示肾透明细胞癌 12 例,静脉壁侵犯 8 例(53.3%)。中位随访 4.4 个月,1 例术后 10 个月发生十二指肠转移。**结论**:国产精锋 MP1000 多孔机器人手术系统辅助下,腹腔镜下行根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术在技术上是安全可行的,围手术期指标良好,但本研究的单中心、回顾性设计及小样本量限制了结论的外推性,长期肿瘤学疗效有待进一步大样本、前瞻性研究验证。

[关键词] 肾肿瘤;静脉癌栓;机器人辅助手术;根治性肾切除术
[中图分类号] R737.11 [文献标志码] A [文章编号] 1671-167X(2026)04-0716-07
doi:10.19723/j.issn.1671-167X.2026.04.006

Preliminary clinical experience of domestic robot-assisted laparoscopic radical nephrectomy with venous tumor thrombectomy

LIU Zhuo*, LIU Shuai*, WANG Guoliang, TIAN Xiaojun, Zhang Hongxian, LIU Lei, MA Lulin△, ZHANG Shudong△
(Department of Urology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China)

ABSTRACT **Objective**: To preliminarily investigate the safety and feasibility of domestic Jingfeng MP1000 multi-port robotic surgical system-assisted laparoscopic radical nephrectomy with venous tumor thrombectomy. **Methods**: Clinical data of 15 patients with renal cell carcinoma (RCC) and venous tumor thrombus who underwent Jingfeng MP1000 robot-assisted laparoscopic radical nephrectomy with venous tumor thrombectomy at the Department of Urology, Peking University Third Hospital from June 2024 to January 2026 were retrospectively analyzed. The primary outcomes were the success rate of the robotic procedure, overall complication rate, and major complication rate (Clavien-Dindo ≥ grade Ⅲ). Secondary outcomes included operative time, estimated blood loss, and length of hospital stay. Baseline characteristics, perioperative outcomes, pathological results, and postoperative complications were collected and analyzed using descriptive statistical methods. **Results**: All the 15 procedures were successfully completed with robotic assistance, with no conversions to open surgery. The success rate of robotic-assisted surgery was 100%. The median patient age was 60 years, and the median body mass index was 25.6 kg/m^2. Ten patients had right-sided and 5 had left-sided tumors, with a median tumor diameter of 9.1 cm. According to the Mayo classification, there were 5 cases of grade 0, 4 of grade Ⅰ, 5 of grade Ⅱ, and 1 of grade Ⅲ thrombus. The median operative time was 233.0 min, the median estimated blood loss was 250.0 mL, and 5 patients (33.3%) received blood transfusions. The median postoperative hospital stay was 6 days. Only one patient (6.7%) experienced a Clavien-Dindo grade Ⅱ complication (lymphatic leakage), with no grade ≥Ⅲ severe complications or perioperative mortality. Postoperative pathology revealed clear cell renal cell carcinoma in 12 cases, and venous wall invasion was confirmed in 8 patients (53.3%). After a median follow-up of 4.4 months, one patient developed duodenal metasta-

基金项目:国家自然科学基金(82473287)、北京大学第三医院临床队列建设项目(BYSYDL2025031) Supported by the National Natural Science Foundation of China (82473287), the Peking University Third Hospital Clinical Cohort Construction Project (BYSYDL2025031)
△ Corresponding author's e-mail, malulinpku@163.com, zhangshudong@bjmu.edu.cn
* These authors contributed equally to this work
网络出版时间:2026-05-15 11:05:34 **网络出版地址**:http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20260514.1831.005.html

sis 10 months postoperatively. **Conclusion**: The domestic Jingfeng MP1000 multi-port robotic system-assisted laparoscopic radical nephrectomy with venous tumor thrombectomy is technically safe and feasible, with favorable perioperative outcomes and a low complication rate. Its long-term oncological efficacy requires further validation through large-scale, prospective studies.
KEY WORDS Kidney neoplasms; Venous tumor thrombus; Robotic-assisted surgery; Radical nephrectomy

肾细胞癌(renal cell carcinoma,RCC)是泌尿系统常见的恶性肿瘤之一[1],其中4% ~10%的患者在确诊时已伴随肾静脉或下腔静脉癌栓形成[2]。伴静脉癌栓的RCC病情复杂,手术治疗是当前可能实现根治的核心手段[3]。传统的开放根治性肾切除术联合静脉癌栓取栓术虽技术成熟,但手术创伤大、出血多、围手术期并发症发生率高[4-5]。随着微创外科技术的发展,腹腔镜技术已广泛应用于RCC根治术,然而,对于伴有静脉癌栓,尤其是较高分级(Mayo分级Ⅱ级及以上)的病例,传统腹腔镜手术因操作空间受限、器械灵活性不足、三维视野缺失、缝合等精细操作难度极大等问题,其应用受到严格限制[6-7]。机器人辅助腹腔镜手术系统,凭借其放大的三维高清视野、震颤滤过以及高度灵活的器械,使得在狭小空间内进行精细解剖和血管缝合成为可能,为RCC伴静脉癌栓的微创治疗开辟了新路径[8]。目前,以达芬奇系统为代表的进口机器人平台在此领域已积累一定经验,但高昂的设备与耗材费用制约了其在很多医疗中心的普及与应用[9-10]。近年来,国产手术机器人系统取得了突破性进展[11-12]。精锋MP1000多孔机器人手术系统(简称精锋机器人系统)作为国产高端医疗装备的代表,其机械臂具备高灵活性、多自由度操作等特点,性能对标国际先进水平[13]。探索该系统在RCC伴静脉癌栓这一高难度复杂手术中的应用安全性与有效性,对于推动国产高端医疗设备在泌尿外科前沿领域的临床应用、积累国人数据、降低医疗成本、惠及更多患者具有重要的临床价值与现实意义。

本研究旨在回顾性分析北京大学第三医院泌尿外科单中心应用国产精锋机器人系统,辅助完成根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术的初期病例资料,评估其围手术期安全性、可行性及短期肿瘤学疗效,以期为该技术在复杂泌尿外科肿瘤手术中的推广应用提供临床证据与实践参考。

1　资料与方法

1.1　一般资料

本研究设计为回顾性单中心单臂临床研究,研究对象为2024年6月至2026年1月期间,于北京大学第三医院泌尿外科确诊为RCC合并静脉癌栓,并接受根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术的患者。纳入标准:(1)年龄18~85岁;(2)美国东部肿瘤协作组(Eastern Cooperative Oncology Group,ECOG)体力状态评分为0或1分[14];(3)术前影像学(增强CT或MRI)诊断为RCC伴肾静脉和/或下腔静脉癌栓,癌栓Mayo分级为0~Ⅳ级[15];(4)心、肺、肝、肾功能及凝血功能可耐受重大手术;(5)患者知情并签署书面同意书。排除标准:(1)存在手术禁忌证(如严重凝血功能障碍、近期急性心血管事件);(2)合并除RCC外的其他活动性恶性肿瘤;(3)预期无法完成术后规律随访。

收集各项临床资料:(1)基线数据:年龄、性别、身高、体重、体重指数(body mass index,BMI)、ECOG评分、既往史(高血压、冠心病、糖尿病、手术史、家族史等)、患者临床表现;(2)术前检查:肾肿瘤情况(病理类型、发病侧别、肿瘤大小)、癌栓Mayo分级及类型、淋巴结情况、同侧肾上腺转移情况、远处转移情况、超声/CT/MRI检查结果、TNM分期;(3)围手术期手术相关资料:是否中转开放、是否行下腔静脉节段性切除、血管阻断类型、手术总时间、下腔静脉阻断时间、癌栓取出时间、术中出血量、是否输血或血浆、术后住院时间、术后出血、术后输血、术后病理及分期等[16];(4)术后并发症(按Clavien-Dindo分级记录)[17]:皮疹、淋巴瘘、下肢静脉血栓、肺部感染、肾功能不全、围手术期死亡、严重并发症占比等。

主要观察指标:手术成功率(定义为机器人辅助下完成手术,无中转开放)、术后总并发症发生率、围手术期严重并发症发生率(Clavien-Dindo ≥Ⅲ级);次要观察指标包括:手术时间、术中出血量、术后住院时间、术后7 d肌酐水平。

1.2　手术方法

所有手术均由同一组具有丰富机器人及RCC癌栓手术经验的医师团队完成,所有手术均使用国产精锋机器人系统完成,该系统由医生主控台、患者手术平台及三维高清影像系统构成,其核心优势包括:提供放大10倍以上的沉浸式三维高清视野,图像传输延迟低于40 ms,保障了术野的实时性与真实性;机械臂及其腕式手术器械均具备7个自由度,能够精准滤除人手震颤,在狭小空间内实现远超传统腹腔镜的灵活性与稳定性,尤其适合于肾门区及

大血管周围的精细解剖。

右侧 RCC 伴下腔静脉癌栓的手术方式:患者取左侧卧位,按标准布局建立机器人操作通道。采用“腔静脉-主动脉入路”寻找右肾动脉:首先充分游离下腔静脉及跨越其前方的左肾静脉,随后向上悬吊左肾静脉以显露其深方的腹主动脉,在腹主动脉与下腔静脉之间的间隙内(通常位于左肾静脉足侧)小心解剖,即可定位并游离右肾动脉,使用 Hem-o-lok 夹闭后离断,继而系统性游离右侧输尿管、肾脏及肾上腺,仔细游离下腔静脉,对于肝下段癌栓,需充分游离并控制其近心端(至肝静脉水平以下)、远心端及左肾静脉,预置血管阻断带。术中采用延迟阻断近心端下腔静脉(delayed clamping of the proximal inferior vena cava, DOPI)技术以优化血流控制[18]。先阻断下腔静脉远心端及左肾静脉,暂不阻断近心端,同时适当提高气腹压力,随后纵向切开下腔静脉前壁,快速完整取出癌栓,此时再于近心端置入血管阻断钳,恢复常规气腹压力后,以 4-0 不可吸收血管缝线连续缝合静脉切口,最后移除所有阻断,恢复血流,检查无误后放置引流,结束手术。

左侧 RCC 伴静脉癌栓的手术方式:手术采用独特的“双体位、两阶段”策略。第一阶段(右侧卧位,左肾切除及肾静脉离断):患者取标准右侧卧位,如刘帅等[19]的研究所报道的建立机器人操作通道,关键技术创新点在于采用“下极上翻法”处理肾动脉,术中首先游离并切断左侧输尿管及生殖腺静脉,以解除其对肾脏活动的限制,随后将左肾下极向头侧充分上翻,从而直接暴露并游离位于肾静脉后下方的左肾动脉,使用 Hem-o-lok 夹闭后离断。此方法避免了在静脉癌栓充盈状态下于肾静脉背侧盲目寻找动脉的风险与困难。充分游离左肾及肾上腺后,使用 45 mm 血管切割闭合器于左肾静脉汇入下腔静脉处离断,确保癌栓近端被封闭于静脉残端内,标本经腹部小切口取出。第二阶段(左侧卧位,下腔静脉癌栓取出):患者转为左侧卧位,重新建立机器人操作通道。沿右侧结肠旁沟切开后腹膜,充分游离肾下段下腔静脉、右肾静脉及左肾静脉残端,并分别预置血管阻断带,术中采用 DOPI 技术先阻断下腔静脉远心端及右肾静脉,暂不阻断近心端下腔静脉,同时适当提高气腹压力以减少静脉反流,随后纵向切开下腔静脉前壁,完整取出癌栓,最后以 4-0 不可吸收血管缝线连续缝合静脉切口,恢复血流,检查无活动性出血后,放置引流,结束手术。

当术前影像学评估(MRI/CT)或术中探查证实癌栓呈浸润性生长、与下腔静脉壁紧密粘连、累及静脉周径 ≥ 2/3 或导致管腔完全闭塞时,为达到 R0 切除,需施行机器人辅助下腔静脉节段性切除术[20]。手术核心在于整块切除受累的静脉壁及癌栓,并根据解剖条件决定是否重建静脉回流。

为初步评估国产精锋机器人系统的临床价值,本研究将入组的 15 例患者(国产机器人组)与同一时期由同一手术团队使用进口达芬奇机器人手术系统完成的 227 例 RCC 伴静脉癌栓患者进行非随机同期对照,比较两组患者的围手术期指标(手术时间、术中出血量、输血率、术后住院时间、并发症发生率等)及组织病理学结果。

1.3 术后随访

采用门诊复查、电话随访等方式,术后第 1 ~ 2 年内每 3 个月随访 1 次,术后第 3 ~ 5 年内每 6 个月随访 1 次。记录患者的生存状态,肿瘤复发/转移情况,后续治疗方案及不良反应,体格检查,血常规、血生化、肿瘤标志物等检验结果。影像学检查:术后 1 年内每 6 个月进行 1 次腹腔盆腔增强 CT 和胸部 CT,之后每年 1 次,出现可疑症状随时检查。

1.4 统计学分析

本研究使用 SPSS 27.0 软件进行描述性统计分析,连续性变量以中位数(P_{25}, P_{75})表示,采用 Wilcoxon 秩和检验进行组间比较;分类变量以频数(百分比)表示,采用卡方检验或 Fisher 精确检验进行组间比较;采用 Kaplan-Meier 方法估计中位随访时间,用中位数(范围)表示。P <0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入 2024 年 6 月至 2026 年 1 月期间,接受国产精锋机器人系统辅助腹腔镜下肾根治性切除术及癌栓取出术的 15 例患者,患者详细临床特征见表 1。包括 10 例男性、5 例女性,中位年龄 60(55,71)岁,中位 BMI 25.6 (24.1,26.8) kg/m^2。临床表现方面,5 例为体检发现占位病变,6 例为血尿或腰痛等局部症状,4 例有全身症状(体重下降、下肢水肿、发热),9 例术前合并高血压。10 例为右侧肾肿瘤,5 例为左侧,中位肿瘤直径 9.1 (7.6, 10.6) cm。根据 Mayo 临床分级,0 级癌栓 5 例,Ⅰ级 4 例,Ⅱ级 5 例,Ⅲ级 1 例。

根据美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级,Ⅱ级患者 11 例,Ⅲ级患者 4 例。15 例患者的手术均在精锋机器人系统辅助下顺利完成,未发生中转开放手术。中位手术时长为 233.0 (128.0,274.0) min,术中中位失血量

为250.0（100.0,575.0）mL,5例患者接受了输血。术中对11例患者实施了同侧肾上腺切除,对9例患者实施了淋巴结清扫。在手术路径与操作细节方面,针对癌栓分级较高的复杂病例,1例联合使用了游离暴露肝脏技术,1例辅以术中经食管超声心动图实时监测[21],另有1例采用了MILK辅助技术以精准调控癌栓远心端。1例患者合并下腔静脉血栓。1例施行腔静脉节段性切除。

表1　肾细胞癌伴静脉癌栓患者的临床特征

Table 1　Clinical characteristics of patients with renal cell carcinoma and venous tumor thrombus

Feature	Jingfeng group (n=15)	Da Vinci group (n=227)	P value
Age/years	60 (53, 71)	60 (52, 67)	0.482
Male	10 (66.7)	154 (67.8)	>0.999
BMI/(kg/m^2)	25.6 (24.1, 26.8)	24.2 (22.0, 27.0)	0.085
Side			0.963
Left	5 (33.3)	78 (34.4)	
Right	10 (66.7)	148 (65.2)	
Bilateral	0 (0)	1 (0.4)	
Size/cm	9.1 (7.6, 10.6)	8.7 (6.7, 10.7)	0.613
Mayo classification			0.234
0	5 (33.3)	46 (20.3)	
Ⅰ	4 (26.7)	27 (11.9)	
Ⅱ	5 (33.3)	122 (53.7)	
Ⅲ	1 (6.7)	19 (8.4)	
Ⅳ	0 (0)	13 (5.7)	
ASA			0.834
Ⅰ	0 (0)	9 (4.0)	
Ⅱ	11 (73.3)	169 (74.4)	
Ⅲ	4 (26.7)	48 (21.1)	
Ⅳ	0 (0)	1 (0.4)	
Operative time/min	233.0 (128.0, 274.0)	224.0 (163.5, 303.5)	0.582
Estimated blood loss/mL	250.0 (100.0, 575.0)	400.0 (200.0, 1 000.0)	0.084
Patients receiving transfusion	5 (33.3)	107 (47.1)	0.424
Lymph node dissection	9 (60.0)	140 (61.7)	>0.999
Adrenalectomy	11 (73.3)	127 (55.9)	0.282
Postoperative hospital stay/d	6 (5, 8)	7 (5, 9)	0.369
Preoperative Scr/(μmol/L)	100.0 (90.5, 116.0)	93.0 (75.5, 109.0)	0.190
Postoperative Scr/(μmol/L)	103.0 (90.0, 121.0)	104.0 (85.8, 133.0)	0.749
Venous tumor thrombus combined with bland thrombus	1 (6.7)	33 (14.5)	0.702
Histological type			0.890
Clear cell RCC	12 (80.0)	178 (78.4)	
Papillary RCC	1 (6.7)	11 (4.8)	
TFE3-rearranged RCC	0 (0)	8 (3.5)	
TFEB-altered RCC	0 (0)	2 (0.9)	
Fumarate hydratase-deficient RCC	0 (0)	8 (3.5)	
Unclassified RCC	2 (13.3)	16 (7.0)	
Indeterminate histology due to treatment response	0 (0)	4 (1.8)	
Four-tiered WHO/ISUP grading system			0.752
Ⅰ	0 (0)	1 (0.4)	
Ⅱ	5 (33.3)	43 (18.9)	
Ⅲ	6 (40.0)	104 (45.8)	
Ⅳ	3 (20.0)	59 (26.0)	
Not graded	1 (6.7)	20 (8.8)	
T stage			0.762
T3a	4 (26.7)	45 (19.8)	
T3b	3 (20.0)	61 (26.9)	
T3c	6 (40.0)	103 (45.4)	
T4	2 (13.3)	18 (7.9)	
M1	5 (33.3)	73 (32.2)	>0.999
Invade the wall of the vena cava	8 (53.3)	140 (61.7)	0.589
Complication	1 (6.7)	57 (25.1)	0.128

Data are presented as n (%) or M (P_{25}, P_{75}). Jingfeng group, domestic Jingfeng MP1000 multi-port robotic surgical system; Da Vinci group, imported Da Vinci robotic surgical system; BMI, body mass index; RCC, renal cell carcinoma; Scr, serum creatinine; ASA, American Society of Anesthesiologists; WHO/ISUP, World Health Organization/International Society for Urological Pathology.

中位估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate,eGFR)从术前的67.0 mL/(min·1.73 m^2)波动至术后的63.0 mL/(min·1.73 m^2),反映出该机器人系统在狭窄空间内的精确解剖对残肾功能具有良好保护。中位术前血清肌酐(serum creatinine,Scr)为100.0(90.5,116.0) μmol/L,中位术后1周Scr为103.0(90.0, 121.0) μmol/L。中位住院时间为6(5,8) d。

为评估对比国产精锋机器人系统与进口达芬奇机器人系统的手术临床效果,本研究从同期接受进口达芬奇机器人手术的RCC伴静脉癌栓患者中,纳入227例作为对照组。两组患者在年龄、性别、BMI、肿瘤侧别、肿瘤直径、癌栓Mayo分级和ASA分级等基线资料方面差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。围手术期指标比较显示,精锋机器人系统组与进口达芬奇机器人系统组的中位手术时间分别为233.0 min *vs.* 224.0 min,中位术中出血量分别为250.0 mL *vs.* 400.0 mL,输血率分别为33.3% *vs.* 47.1%,中位术后住院时间分别为6 d *vs.* 7 d,术后总并发症发生率分别为6.7% *vs.* 25.1%,两组间上述指标差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),表明在RCC根治联合静脉癌栓取出术中,精锋机器人系统可获得与进口达芬奇机器人手术系统相当的围手术期效果。

本组15例患者的组织病理诊断为:肾透明细胞癌12例,乳头状肾细胞癌1例,未分类的肾细胞癌2例。世界卫生组织/国际泌尿病理协会(World Health Organization/International Society for Urological Pathology,WHO/ISUP)核分级评估为Ⅱ级5例,Ⅲ级6例,Ⅳ级3例,1例核分级无法评估。病理T分期方面,pT3a期4例,pT3b期3例,pT3c期6例,pT4期2例。术后组织病理与术中探查共同证实,8例(53.3%)患者存在静脉壁侵犯。未发现肾上腺受累和淋巴结侵犯。2例患者术前已有肺转移,2例肝转移,1例脑转移。

术后仅观察到1例Clavien-Dindo Ⅱ级并发症,表现为淋巴漏,经引流及对症保守治疗后好转,无围术期严重并发症或死亡事件发生。患者中位随访时间为4.4个月(1.1~19.5个月),仅1例患者术后10个月因肿瘤进展发生十二指肠转移。1例患者术后接受了靶向药物阿昔替尼和免疫检查点抑制剂特瑞普利单抗的辅助治疗。

3 讨论

根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术是治疗RCC合并静脉癌栓的传统术式,其技术难点在于肾门区血管的精细解剖、癌栓的完整切除以及下腔静脉的血管缝合重建。随着微创外科理念的深入,如何在确保肿瘤学疗效与手术安全性的前提下,减少手术创伤、加速患者康复,已成为泌尿外科领域的重要探索方向。机器人辅助腹腔镜手术系统凭借其三维高清视野、震颤滤过功能及高度灵活的腕式器械,理论上突破了传统腹腔镜在该领域的应用瓶颈。目前,以达芬奇机器人手术系统为代表的进口机器人平台在处理此类复杂病例方面已积累了较为丰富的经验,但高昂的设备购置与维护成本限制了其在临床的广泛应用。近年来,国产手术机器人取得了突破性进展,但针对RCC伴静脉癌栓这一高难度术式的应用报道尚少[13]。本研究初步总结了采用国产精锋机器人系统,辅助完成15例根治性肾切除术联合静脉癌栓取出术的临床资料,并评估了其围手术期的安全性及可行性。

本研究的核心价值不仅在于验证了国产精锋机器人系统在RCC伴静脉癌栓这一高难度手术中的安全性与可行性,更在于为打破高端手术机器人领域长期由进口产品主导的格局提供了初步的临床证据。既往关于机器人辅助RCC伴静脉癌栓手术的报道多基于达芬奇机器人手术系统,而国产机器人系统在该领域的应用数据极为匮乏。随着我国高端医疗装备国产化战略的推进,具备自主知识产权的手术机器人系统(如精锋MP1000)在临床的验证和推广应用,对于降低医疗系统对进口设备的依赖、控制医疗成本、促进优质医疗资源下沉具有深远的战略意义。本研究通过单中心、同质化手术团队的初步经验,证实了国产机器人系统能够胜任此类高复杂度手术,为其后续在多中心、更广泛泌尿外科肿瘤手术中的普及奠定了基础。

本研究结果显示,15例RCC伴静脉癌栓手术均在精锋机器人系统辅助下顺利完成,无中转开放病例,中位手术时长233.0 min,中位术中失血量250.0 mL,33.3%(5/15)的患者接受了输血治疗。上述指标与此前国内外关于机器人辅助RCC癌栓手术的报道基本相当。Wang等[22]报道,使用达芬奇机器人辅助下腔静脉癌栓取出术(Ⅰ~Ⅲ级)的中位手术时间为245 min,中位失血量为300 mL。国内多中心研究亦报道了相似的手术时间及失血量[23]。本组病例中,Mayo分级Ⅱ级及以上者共6例(40.0%),中位肿瘤直径达9.1 cm,提示本组病例的复杂程度较高。在此背景下,国产精锋机器人系统仍能保障手术顺利完成,初步印证了其在高难

度解剖区域的操控稳定性与可靠性。

术后并发症是评价手术安全性的关键指标。本组仅观察到 1 例 Clavien-Dindo Ⅱ级并发症(淋巴漏),经保守治疗后好转,无 Clavien-Dindo Ⅲ级及以上严重并发症发生,亦无围手术期死亡病例。这一较低的并发症发生率,可能与机器人系统提供的精细解剖条件有关,其使得术者能够在肾门区及下腔静脉周围更准确地辨认淋巴管并予以结扎,同时减少了对十二指肠、肝脏及周围血管的副损伤[6]。此外,本研究中患者的中位术后住院时间为 6 d,肾功能(以 eGFR 和 Scr 评估)在术后一周内保持稳定,反映了手术对残肾功能的良好保护,这些数据进一步支持了国产机器人系统在复杂泌尿外科肿瘤手术中应用的安全性。

值得提及的是,本研究在手术技术层面进行了若干创新与探索。针对右侧 RCC 伴下腔静脉癌栓,我们采用"腔静脉-主动脉入路"寻找右肾动脉,并常规应用 DOPI 技术,该技术通过先阻断远心端及左肾静脉、暂不阻断近心端,在切开静脉壁取出癌栓后再行近心端阻断,理论上可减少因完全阻断下腔静脉导致的血流动力学波动,同时避免癌栓在操作过程中发生脱落[18,24]。本组病例中,DOPI 技术应用顺利,未见术中癌栓脱落或严重血流动力学不稳定事件。对于左侧 RCC 伴静脉癌栓,我们采用"双体位、两阶段"策略,并在第一阶段应用"下极上翻法"处理左肾动脉,该方法的优势在于避免在静脉癌栓充盈状态下于肾静脉背侧盲目解剖动脉,从而降低静脉破裂或癌栓脱落的风险,本组 5 例左侧病变患者均成功完成手术,验证了该策略的可行性。此外,本组中 1 例行腔静脉节段性切除,1 例合并下腔静脉血栓,1 例辅以经食道超声实时监测,体现了针对不同解剖特点病例的个体化处理策略,也反映了国产机器人系统在处理极端复杂情况时具备的潜在适应性。

从肿瘤学角度分析,本组患者中 53.3%(8/15)存在静脉壁侵犯,术后病理 T3c 期及以上者占 53.3%(8/15),提示局部进展期肿瘤占比较高。WHO/ISUP 核分级以Ⅲ级及以上为主(60.0%,9/15)。术后中位随访时间为4.4 个月,仅 1 例患者于术后 10 个月发生十二指肠转移,其余患者未见早期局部复发或远处转移。由于随访时间尚短,长期肿瘤学疗效仍需进一步观察。本组病例术中癌栓均完整取出,术后组织病理显示切缘阴性,为后续可能的辅助治疗奠定了良好基础[25]。

本研究进一步将国产精锋机器人系统与同期进口达芬奇机器人系统的围手术期指标进行了比较,结果显示,两组在手术时间、术中出血量、输血率、术后住院时间及并发症发生率等关键指标上均无显著差异,表明国产机器人手术系统在操作精度、稳定性及复杂解剖环境下的适应能力已达到国际主流平台的同等水平。这一发现初步回应了临床医生对于国产机器人能否胜任高难度、高风险手术的核心关切。然而,在卫生经济学方面,尽管本研究未系统收集直接医疗费用数据,但从现有文献及临床实践可知,进口达芬奇机器人手术系统存在较高的设备购置费、维护费及一次性耗材成本,一定程度上限制了其广泛应用。国产精锋机器人手术系统在设备定价、耗材成本及维护费用方面具有明显优势,有望在保证同等手术效果的前提下,显著降低患者的经济负担。未来需要开展前瞻性的成本-效果分析或成本-效用分析,结合手术效果、并发症处理费用、住院天数及远期肿瘤学结局,量化评估国产机器人手术的卫生经济学价值,为其临床推广提供更充分的决策依据。

本研究作为国产精锋机器人系统在 RCC 伴静脉癌栓手术中的初期临床应用报告,存在以下局限性:第一,研究设计为单中心、回顾性病例系列,样本量较小(仅 15 例),且为非随机对照,可能存在选择偏倚,证据等级较低,对结论的外推性需持审慎态度;第二,尽管与同期进口机器人队列进行了比较,但仍无法完全消除混杂偏倚,且缺乏与开放手术的直接对比;第三,中位随访时间仅 4.4 个月,尚无法评估长期肿瘤学结局(如无复发生存期、总生存期);第四,本组病例最高为 Mayo Ⅲ级,对于需要开胸或体外循环的Ⅳ级癌栓,国产机器人的应用经验尚属空白;第五,未进行卫生经济学评价,国产机器人在降低医疗成本方面的优势尚待量化。因此,本研究仅为初步探索性报告,结论应被视为探索性的,而非验证性的,未来需要开展前瞻性、多中心、大样本的对照研究,进一步验证国产机器人手术系统的长期肿瘤学疗效,并探索其在更高分级癌栓中的应用价值。同时,随着国产机器人技术的持续迭代、功能模块(如荧光成像、术中导航)的完善以及术者经验的积累,该系统有望为 RCC 伴静脉癌栓患者提供一种兼具微创优势与成本效益的治疗选择,推动高端医疗装备国产化的临床转化进程。

本研究结果显示,机器人辅助手术在实现癌栓完整切除的同时,围手术期指标良好,术中出血量及并发症发生率控制在可接受范围,尤其患者无 Clavien-Dindo Ⅲ级及以上严重并发症发生,凸显了

其安全性。精锋机器人系统特有的技术优势,如低延时的影像传输保障了操作的实时性,符合人体工程学的主控台设计降低了术者疲劳等,均有助于提高手术效率与稳定性。尤其值得关注的是,该系统平台具备支持荧光成像、术中超声联动等进阶功能的潜力,为未来实现更精准的肿瘤边界识别、淋巴结示踪及评估癌栓浸润程度提供了技术升级空间,有望进一步提升疗效。

综上所述,应用国产精锋机器人系统辅助腹腔镜下根治性肾切除联合静脉癌栓取出术,在本组有限病例中显示出技术上的安全性与可行性,围手术期指标良好,但其长期疗效有待进一步大样本、前瞻性研究验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明 刘苗、马潞林、张树栋:设计研究方案;刘帅、王国良、田晓军、张洪宪、刘磊、马潞林、张树栋:收集、分析、整理数据;刘帅、刘苗:撰写论文;刘苗、张树栋:提出研究思路,总体把关和审定论文。所有作者均参与论文修改,并对最终文稿进行审读和确认。

参考文献

[1] Siegel RL, Giaquinto AN, Jemal A. Cancer statistics, 2024 [J]. CA A Cancer J Clin, 2024, 74(1): 12 – 49.
[2] Garg H, Psutka SP, Hakimi AA, et al. A decade of robotic-assisted radical nephrectomy with inferior vena cava thrombectomy: A systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes [J]. J Urol, 2022, 208(3): 542 – 560.
[3] Psutka SP, Leibovich BC. Management of inferior vena cava tumor thrombus in locally advanced renal cell carcinoma [J]. Ther Adv Urol, 2015, 7(4): 216 – 229.
[4] Pyrgidis N, Schulz GB, Stief CG, et al. Perioperative outcomes after radical nephrectomy with inferior vena cava thrombectomy [J]. Cancers, 2025, 17(7): 1083.
[5] Vuong NS, Ferriere JM, Michiels C, et al. Robot-assisted versus open surgery for radical nephrectomy with level 1 – 2 vena cava tumor thrombectomy: A French monocenter experience (UroCCR study #73) [J]. Minerva Urol Nephrol, 2021, 73(4): 498 – 508.
[6] Campi R, Tellini R, Sessa F, et al. Techniques and outcomes of minimally-invasive surgery for nonmetastatic renal cell carcinoma with inferior vena cava thrombosis: A systematic review of the literature [J]. Minerva Urol Nefrol, 2019, 71(4): 339 – 358.
[7] 张树栋, 谢睿扬. 机器人手术时代的肾癌合并腔静脉瘤栓治疗策略 [J]. 北京大学学报(医学版), 2024, 56(4): 562 – 564.
[8] Wang B, Huang Q, Liu K, et al. Robot-assisted level Ⅲ – Ⅳ inferior vena cava thrombectomy: Initial series with step-by-step procedures and 1-yr outcomes [J]. Eur Urol, 2020, 78(1): 77 – 86.
[9] Shah MS, Wang KR, Shah YB, et al. A narrative review on robotic surgery as treatment for renal cell carcinoma with inferior vena cava thrombus [J]. J Clin Med, 2024, 13(5): 1308.
[10] Bosscha SRJ, Amiri R, Jamaludin F, et al. Cost analyses in randomized trials on robot-assisted surgery: Systematic review [J]. BJS Open, 2025, 10(1): zraf161.
[11] 刘世豪, 徐丽清, 李新飞, 等. 国产模块化手术机器人系统辅助肾盂成形术的可行性和安全性评价 [J]. 北京大学学报(医学版), 2025, 57(4): 779 – 783.
[12] 陈劲果, 王之仕, 朱礼乐, 等. 国产手术机器人在泌尿外科中的应用与展望 [J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2025, 6(6): 916 – 921.
[13] Wang B, Gao W, Yang K, et al. Robot-assisted upper urinary tract repair surgery using the MP1000 system: A prospective, single-center, single-arm clinical study [J]. Transl Androl Urol, 2025, 14(6): 1723 – 1733.
[14] Hanaoka M, Hino H, Shiomi A, et al. The Eastern Cooperative Oncology Group Performance Status as a prognostic factor of stage Ⅰ – Ⅲ colorectal cancer surgery for elderly patients: A multi-institutional retrospective analysis [J]. Surg Today, 2022, 52(7): 1081 – 1089.
[15] Shen D, Wang H, Wang C, et al. Cumulative sum analysis of the operator learning curve for robot-assisted mayo clinic level Ⅰ – Ⅳ inferior vena cava thrombectomy associated with renal carcinoma: A study of 120 cases at a single center [J]. Med Sci Monit, 2020, 26: e922987.
[16] Trpkov K, Hes O, Williamson SR, et al. New developments in existing WHO entities and evolving molecular concepts: The Genitourinary Pathology Society (GUPS) update on renal neoplasia [J]. Mod Pathol, 2021, 34(7): 1392 – 1424.
[17] Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: A new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey [J]. Ann Surg, 2004, 240(2): 205 – 213.
[18] Liu Z, Hong P, Zhu G, et al. Pure retroperitoneal laparoscopic radical nephrectomy and thrombectomy with delayed occlusion of the proximal inferior vena cava (DOPI) technique for renal tumor with level Ⅱ – Ⅲ venous tumor thrombus [J]. BMC Cancer, 2021, 21(1): 627.
[19] 刘帅, 刘苗, 管允鹤, 等. 机器人辅助腹腔镜下腔静脉节段性切除术治疗肾肿瘤瘤栓侵犯血管壁 [J]. 北京大学学报(医学版), 2025, 57(4): 796 – 802.
[20] Bang S, Hong SH. Robot-assisted radical nephrectomy with inferior vena cava thrombectomy: A narrative review with step-by-step procedures [J]. J Urol Oncol, 2024, 22(2): 105 – 114.
[21] Essandoh M, Tang J, Essandoh G, et al. Transesophageal echocardiography guidance for robot-assisted level Ⅲ inferior vena cava tumor thrombectomy: A novel approach to intraoperative care [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2018, 32(6): 2623 – 2627.
[22] Wang B, Li H, Ma X, et al. Robot-assisted laparoscopic inferior vena cava thrombectomy: Different sides require different techniques [J]. Eur Urol, 2016, 69(6): 1112 – 1119.
[23] 黄庆波, 彭程, 马鑫, 等. 机器人辅助腹腔镜 Mayo Ⅲ ~ Ⅳ级下腔静脉癌栓取出术的经验总结(附5例报告) [J]. 中华泌尿外科杂志, 2019, 40(2): 81 – 85.
[24] Abaza R, Shabsigh A, Castle E, et al. Multi-institutional experience with robotic nephrectomy with inferior vena cava tumor thrombectomy [J]. J Urol, 2016, 195(4 Pt 1): 865 – 871.
[25] Miranda M, Polido J, Fernandes M, et al. Renal cell carcinoma with inferior vena cava thrombus: Survival and prognostic factors in surgically treated patients [J]. Urol Ann, 2024, 16(4): 277 – 283.

(2026-02-27 收稿)
(本文编辑:任英慧)