

三维可视化重建技术在机器人辅助肾部分切除术中的应用

段鑫鑫, 廖文峰, 张超, 张振庭, 王坤, 刁磊, 陈旭升, 杨庆, 姚欣

(天津医科大学肿瘤医院泌尿肿瘤科·国家肿瘤临床医学研究中心·天津市“肿瘤防治”重点实验室·天津市恶性肿瘤临床医学研究中心 天津 300060)

摘要 **目的:** 探讨三维可视化重建技术在机器人辅助肾部分切除术中的应用价值。**方法:** 回顾分析 2016 年 8 月~2019 年 10 月天津医科大学肿瘤医院 145 例行机器人辅助肾部分切除术患者的临床资料, 分为三维重建组($n=77$)和传统影像组($n=68$)。对两组患者的一般资料进行倾向评分匹配, 比较两组患者的手术时间、热缺血时间、术后住院时间、术后拔管时间、术后并发症等临床指标, 评价并分析三维可视化重建在机器人辅助肾部分切除术中的应用价值。**结果:** 145 例患者均顺利完成手术, 未出现严重术中并发症和围手术期死亡。倾向评分匹配分析显示, 三维重建组手术时间显著短于传统影像组 [(133.92 ± 30.76) min Vs (157.70 ± 36.13) min, $P<0.05$]、术后住院时间显著短于传统影像组 [(6.94 ± 1.41) d Vs (8.24 ± 3.32) d, $P<0.05$]。两组患者术中出血量、热缺血时间、术后拔管时间、术后 24h 内肌酐上升值和血红蛋白下降值比较, 差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。**结论:** 术前完善三维可视化重建有助于行手术前规划, 可提高复杂肾部分切除手术成功率, 缩短机器人辅助肾部分切除术的手术时间和术后住院时间。

关键词 肾肿瘤; 肾部分切除术; 机器人辅助手术; 三维可视化重建

中图分类号 R699.2 R737.1 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2021) 03-0205-08

收稿日期: 2021-01-08 录用日期: 2021-04-09

Received Date: 2021-01-08 Accepted Date: 2021-04-09

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目 (81602245)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (81602245)

通讯作者: 姚欣, Email: yaixin@tjmuch.com

Corresponding Author: YAO Xin, Email: yaixin@tjmuch.com

引用格式: 段鑫鑫, 廖文峰, 张超, 等. 三维可视化重建技术在机器人辅助肾部分切除术中的应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2021, 2 (3): 205-212.

Citation: DUAN X X, LIAO W F, ZHANG C, et al. Application of three-dimensional visualization reconstruction technology in robot-assisted partial nephrectomy[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2021, 2(3): 205-212.

注: 段鑫鑫, 廖文峰为共同第一作者

Co-first Author: DUAN Xinxin, LIAO Wenfeng

Application of three-dimensional visualization reconstruction technology in robot-assisted partial nephrectomy

DUAN Xinxin, LIAO Wenfeng, ZHANG Chao, ZHANG Zhenting, WANG Kun, DIAO Lei, CHEN Xusheng, YANG Qing, YAO Xin

(Department of Genitourinary Oncology, Tianjin Medical University Cancer Institute and Hospital/National Clinical Research Center for Cancer/Tianjin Key Laboratory of Cancer Prevention and Therapy/Tianjin Clinical Research Center for Cancer, Tianjin 300060, China)

Abstract **Objective:** To explore the application value of three-dimensional visualization reconstruction technology in robot-assisted partial nephrectomy. **Methods:** The clinical data of 145 patients with renal carcinoma underwent robot-assisted partial nephrectomy from August 2016 to October 2018 in Tianjin Medical University Cancer Hospital were reviewed. 145 patients were divided into three-dimensional reconstruction group ($n=77$) and traditional image group ($n=68$). Propensity score matching (PSM) was applied to reduce the effects of observed confounding between the two groups. The operation time, warm ischemia time, postoperative hospital stay, drainage tube removal time and complications between the two groups were compared. The application value of three-dimensional visualization reconstruction technology in robot-assisted partial nephrectomy was evaluated. **Results:** All the 145 cases were successfully completed without intraoperative complications and perioperative death. Propensity score matching analysis showed that the operation time of three-dimensional reconstruction group was significantly shorter than the traditional image group [(133.92 ± 30.76)min Vs (157.70 ± 36.13)min, $P<0.05$] and the postoperative hospital stay was significantly less than the traditional image group [(6.94 ± 1.41)d Vs (8.24 ± 3.32)d, $P<0.05$]. There were no significant differences between the two groups on the intraoperative blood loss, warm ischemia time, drainage tube removal time, the increasing of creatinine and decreasing of hemoglobin within 24 hours after operation ($P>0.05$). **Conclusion:** Preoperative three-dimensional visualization reconstruction is conducive to perform preoperative planning and improve the success rate of surgery for complex partial nephrectomy. Meanwhile, it can shorten the operation time and postoperative hospitalization of robot-assisted partial nephrectomy.

Key words Kidney neoplasms; Partial nephrectomy; Robot-assisted surgery; Three-dimensional visualization reconstruction

肾部分切除术 (Partial nephrectomy, PN) 是 T₁ 期肾癌患者的首选治疗方式^[1]。机器人手术系统具有高清三维视野和灵活的机械臂手腕, 特别适合于重建缝合手术, 机器人辅助肾部分切除术 (Robot-assisted partial nephrectomy, RAPN) 极大地扩展了 PN 的适应证^[2], 目前在泌尿外科广泛开展。三维可视化重建技术可以准确重建肾脏和肿瘤形态, 为 RAPN 术做术前规划和术中操作提供了帮助。本研究通过对比

三维重建组与传统影像组在 RAPN 术中和术后的相关指标, 探讨三维可视化重建技术在 RAPN 中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析 2016 年 8 月 ~2019 年 10 月天津医科大学肿瘤医院泌尿肿瘤科 145 例行 RAPN

术肾肿瘤患者的临床资料，根据术前是否行三维可视化重建将其分为三维重建组（77例）及传统影像组（68例）。

1.2 方法

1.2.1 倾向评分匹配

由于手术结果可能会受到患者临床特征的影响，采用倾向评分匹配（Propensity score matching, PSM）比较两组人群，根据是否行三维可视化重建构建二分类 Logistic 回归模型。使用半自动化方法以 1:1 的比例和 0.1 的卡尺距离进行匹配，降低由于混杂因素引起的偏差。

1.2.2 三维可视化重建方法

提取患者增强 CT 或 MRI 检查的 DICOM 格式文件，使用医学影像算法平台和三维医学影像

数据处理平台 3D 对数据进行后处理。人工去除肾脏周围脂肪组织，保留并重建肾动脉、肾静脉、集合系统和输尿管，区分正常肾脏和肿瘤组织，并对肾脏模型进行纵切、横切等不同断面重建，以显示肿瘤部位及其与周围结构的关系。然后进行降噪、平滑及精细填充，最后输出标准化的 3D 打印格式文件（如图 1）。

1.2.3 手术方法

①经腰入路：取腋中线髭嵴上 2cm 做切口，注入空气扩张腹膜后间隙，两侧相距 6~8cm 穿刺置入 8mm 套管作为操作孔通道，髭嵴内侧 3cm 穿刺置入 10mm 套管作为辅助孔通道。连接好各器械臂，直视下调整器械至目标区。按照常规腹腔镜操作顺序施行手术：清理腹膜外脂肪，打开侧椎筋膜，沿背侧在肾脏中部找到肾

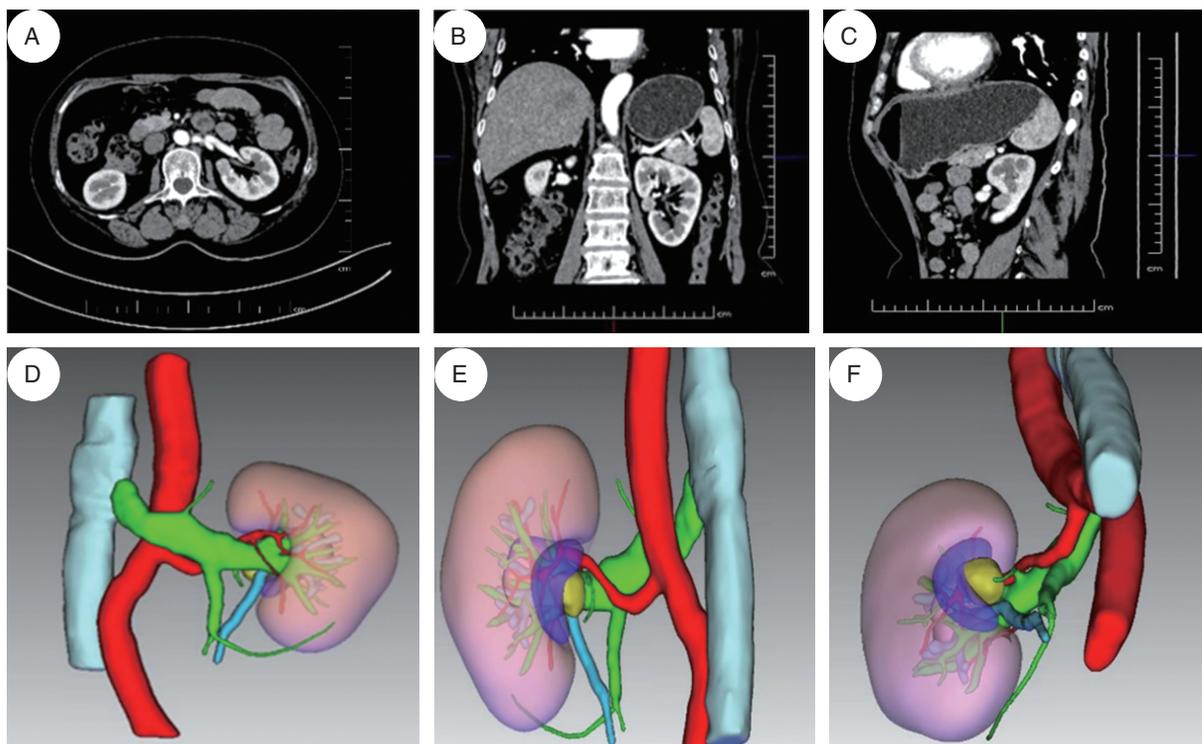


图 1 强化 CT 与三维可视化重建图像

Figure 1 Images of contrast-enhanced CT and 3D visualization reconstruction

注：A. 横断位；B. 冠状位；C. 矢状位；D. 前面；E. 后面；F. 下方；D~F. 红色为动脉，绿色为静脉，黄色为肿瘤，蓝色为肾盂集合系统。

动脉，分离寻找肿瘤边界，阻断肾动脉，切除肿瘤，缝合创面。②经腹入路：经脐建立气腹，于平脐腹直肌缘留置机器人操作臂 Trocar，肋缘下 2cm 放置第一个 Trocar，其余 Trocar 依次相距 6~8cm。腹上/下放置 12mm 套管作为辅助孔。沿结肠旁沟打开侧腹膜，将结肠推向内侧，显露生殖腺静脉，游离结扎，游离肾脏下极，3 号臂将肾脏下极挑起，向上游离，显露并标记肾动脉，寻找肿瘤，阻断肾动脉，切除肿瘤，缝合创面。

1.2.4 观察指标

收集并记录两组患者术中及术后观察指标，包括手术时间、术中出血量、热缺血时间、术后并发症（包括发热、创面出血、漏尿等）、术后拔管时间、术后住院时间、手术标本切缘阳性率、术后病理类型等相关指标。

1.3 统计学方法

所有数据采用 SPSS 24.0 统计学软件进行处理。符合正态分布的计量资料采用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，计数资料以百分比 (%) 表示。各组间计量资料比较采用两独立样本 *t* 检验，计数资料分析采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料情况

本研究共纳入 145 例肾肿瘤患者，其中三维重建组 77 例，传统影像组 68 例，所有手术均由同一术者完成。两组患者的年龄、性别、BMI、肿瘤直径、肿瘤侧别、手术入路、术前肌酐比较，差异无统计学意义 ($P > 0.05$)；两组患者的腹部手术史及 RENAL 评分有明显统计学差异 ($P < 0.05$)。应用倾向评分匹配对两组患者的年龄、性别、BMI、肿瘤直径、肿瘤侧别、腹部

手术史、手术入路、RENAL 评分进行 1:1 匹配，经过匹配后两组间的混杂因素均达到平衡，临床特征间无明显统计学差异 ($P > 0.05$ ，见表 1)。

2.2 术中和术后观察指标

145 例患者手术均顺利完成。三维重建组 2 例患者中转开放手术，其中 1 例中转为肾根治性切除术，1 例中转为开放肾根治性切除术。2 例患者术后出现肉眼血尿，1 例患者出现术后术区血肿，均经保守治疗好转。传统影像组 3 例患者中转开放手术，其中 1 例中转为开放肾部分切除，2 例中转为开放肾癌根治性切除术；1 例患者出现术后术区血肿，1 例患者出现术后漏尿，留置导尿管后恢复，2 例患者出现术后肠梗阻，均保守治疗后好转。两组患者无围手术期死亡。术后病理均提示切缘阴性，其中 117 例病理诊断为透明细胞肾细胞癌，4 例为乳头状肾细胞癌，4 例为嫌色性肾细胞癌，8 例为嗜酸细胞腺瘤，2 例为 Xp11.2 易位相关性肾细胞癌，10 例为肾血管平滑肌脂肪瘤。

PSM 分析显示，三维重建组在手术时间上显著短于传统影像组 [(133.92 ± 30.76) min Vs (157.70 ± 36.13) min, $P < 0.05$]、术后住院时间显著少于传统影像组 [(6.94 ± 1.41) ml Vs (8.24 ± 3.32) ml, $P < 0.05$]。两组患者术中出血量、热缺血时间、术后拔管时间、术后 24h 内肌酐上升值及血红蛋白下降值比较，差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)，见表 2。

3 讨论

PN 术治疗早期肾癌的肿瘤学效果与根治性肾切除术 (Radical nephrectomy, RN) 相当^[3]，但研究表明，PN 更好地保留了肾功能，降低了发生代谢或心血管疾病的风险，减少了 RN 术后心血管事件导致的死亡率^[4]。相比传统的开放手

表 1 两组患者一般资料比较 ($\bar{x} \pm s$)Table 1 Comparison of general information between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

项目	PSM 前			PSM 后		
	三维重建组 (<i>n</i> =77)	传统影像组 (<i>n</i> =68)	<i>P</i> 值	三维重建组 (<i>n</i> =50)	传统影像组 (<i>n</i> =50)	<i>P</i> 值
年龄 (岁)	54.09 ± 11.20	56.38 ± 11.92	0.235	52.98 ± 11.85	56.14 ± 12.83	0.204
性别			0.357			0.517
男	51	40		33	36	
女	26	28		17	14	
BMI (kg/m ²)	25.15 ± 3.90	26.13 ± 3.75	0.124	25.58 ± 3.97	25.57 ± 3.33	0.986
肿瘤直径 (cm)	3.73 ± 1.15	3.37 ± 1.27	0.081	3.55 ± 1.04	3.64 ± 1.30	0.703
肿瘤侧别			0.711			0.841
左	35	33		26	25	
右	42	35		24	25	
腹部手术史	15	5	0.035	10	5	0.161
手术入路			0.267			0.674
经腰	55	54		36	37	
经腹	22	14		14	13	
术前肌酐 (μmol/L)	70.88 ± 15.11	68.10 ± 16.85	0.297	71.58 ± 14.19	70.14 ± 18.10	0.659
RENAL 评分	7.73 ± 1.47	7.21 ± 1.49	0.036	7.50 ± 1.48	7.56 ± 1.43	0.837

表 2 两组患者术中与术后观察指标比较 ($\bar{x} \pm s$)Table 2 Comparison of intraoperative and postoperative observation indexes of the two groups ($\bar{x} \pm s$)

项目	PSM 前			PSM 后		
	三维重建组 (<i>n</i> =77)	传统影像组 (<i>n</i> =68)	<i>P</i> 值	三维重建组 (<i>n</i> =50)	传统影像组 (<i>n</i> =50)	<i>P</i> 值
手术时间 (min)	138.69 ± 30.30	148.28 ± 37.42	0.091	133.92 ± 30.76	157.70 ± 36.13	0.001
术中出血量 (ml)	47.40 ± 40.21	52.94 ± 87.67	0.619	44.00 ± 39.74	60.60 ± 100.52	0.280
热缺血时间 (min)	24.71 ± 6.71	22.66 ± 5.60	0.049	23.28 ± 5.95	23.42 ± 5.89	0.906
术后拔管时间 (d)	5.17 ± 1.49	4.90 ± 1.72	0.310	5.12 ± 1.45	5.08 ± 1.84	0.904
术后住院时间 (d)	6.90 ± 1.42	7.74 ± 2.99	0.037	6.94 ± 1.41	8.24 ± 3.32	0.012
术后 24h 内肌酐上升值 (μmol/L)	16.53 ± 13.30	17.51 ± 14.94	0.676	13.90 ± 12.87	17.86 ± 2.04	0.151
术后 24h 血红蛋白下降值 (g/L)	19.25 ± 10.64	16.81 ± 10.79	0.174	24.30 ± 24.65	17.86 ± 11.92	0.099

术和腹腔镜手术, RAPN 术可以达到相同的肿瘤控制效果, 住院时间缩短, 并发症降低, 住院费用降低^[5-6]。达芬奇机器人手术系统具有清晰的手术视野、灵活的机械手臂及精准的手术操作传导等特点, 适合于进行重建缝合手术。这些优势有利于缩短 PN 术的学习曲线, 增加术者开展

复杂 PN 术的信心^[7]。同时其特殊的人体工程学设计, 极大程度地减少了外科医生的肌肉骨骼与精神压力相关疾病, 减轻了外科医生的生理和认知负荷^[8]。Tachibana H 等^[9]对 253 例行 RAPN 术或腹腔镜肾部分切除术 (Laparoscopic partial nephrectomy, LPN) 的肾肿瘤患者通过 PSM 调整

其临床资料后发现,在手术时间、热缺血时间、术后肾体积保留及残肾功能等方面 RAPN 术均优于 LPN 术。

近年来,三维可视化重建逐渐在外科手术中得到广泛应用。三维可视化重建可将传统 MRI 或 CT 二维影像数据重建为三维可视化模型,通过不同组织颜色差别化标记和不同透明度显示观察组织和肿瘤的解剖结构,并可以在不同轴向行不同角度的旋转,准确识别肿瘤的位置、周围血管结构、肿瘤的穿透深度以及与集合系统的关系^[10-11]。因此,三维重建技术在手术中有很好的指导作用。对于微创 PN 手术,手术入路的选择、动脉的寻找处理、肿瘤的寻找切除、创面缝合,都需要提前做好术前规划。传统的 CT/MRI 影像学检查仅是在二维平面显示肾脏及肿瘤特点,图像多为黑白显示,肿瘤解剖特点识别度不高,对于一些特殊部位肿瘤,如完全内生性肿瘤、肾门部位肿瘤、肾内侧缘部位肿瘤,需要对肿瘤外凸方向、肿瘤与皮质距离、肿瘤周围解剖特点做更详细的了解,这样才能规避可能出现的风险,减少并发症,提高手术成功率。因此,对于复杂肾肿瘤,精准的术前规划显得更为重要。此外,对于低年资医师,术前三维重建可以帮助术者建立直观的解剖图像,做好术前规划,缩短学习曲线^[12]。Bertolo R 等^[13]评估三维重建技术在协助高度复杂的肾肿瘤术前规划方面的研究,发现无论是经验丰富的专家、泌尿外科医生或是住院医师,经过三维重建技术后,均改变了对于术式的观点。

本中心患者三维重建使用情况显示,两组患者一般资料无明显差异,但三维重建组 RENAL 评分高于传统影像组 [(7.73 ± 1.47) Vs (7.21 ± 1.49) , $P < 0.05$],热缺血时间及术中出血量差异不明显 ($P > 0.05$),可能与病例选择有关。虽然三维重建组肾肿瘤位置相对复杂,但

通过三维重建图像,术者可以更详细地制定术前规划,对术中可能出现的问题做预演,手术过程将更加流畅,这有利于更为复杂的肾肿瘤手术顺利完成,同时缩短了手术时间 [(138.69 ± 30.30) min Vs (148.28 ± 37.42) min, $P < 0.05$]。本团队认为,相比于传统 CT/MRI,三维重建优势主要体现在以下几个方面:①肿瘤解剖位置定位:对于单纯腹侧或背侧肿瘤,传统影像学检查比较容易判断,但是对于肾脏内/外侧缘肿瘤、完全上极/下极肿瘤,需要根据肿瘤外凸方向决定选择经后腹腔或经腹腔入路手术,这样可以更好地显露肿瘤,简化手术流程。完全内生性肿瘤可根据三维图像判断肿瘤距肾皮质最近位置的方向选择手术入路。②肾血管位置定位:肾蒂血管常存在变异,研究表明肾动脉总变异率为 39.3%,男性的发生率明显高于女性;副肾动脉的发生率为 16.1%,是发生率最高的肾动脉变异类型^[14]。在经腹腔途径机器人肾部分切除时,一般从肾脏下方寻找肾动脉,如果动脉出现位置变异,对手术操作影响很大,包括动静脉数目、走行异常,都会影响手术成败。三维重建后图像可以清楚显示肾动脉走行、有无分支血管,协助判断是否可行分支血管阻断,更重要的是可以同时显示动静脉相对位置,便于经腹腔手术时寻找动脉。三维重建上可以显示三级血管,对于肾门周围肿瘤,即使肿瘤不大,但紧贴血管及肾盂集合系统,三维图像上可清晰显示肿瘤及周围血管情况,术前规划并规避可能发生的出血风险,可为手术安全保驾护航(如图 2)。③协助判断肿瘤外形:很多肾脏肿瘤外形不规则,局部凸起呈分叶状,在肿瘤切/剝除中可能切开肿瘤,有扩散种植风险。三维重建立体显示肿瘤形状,可以在电脑终端上不同轴线旋转观看,便于了解肿瘤外形,减少切破肿瘤风险(如图 3A、3B)。④多发肿瘤的提

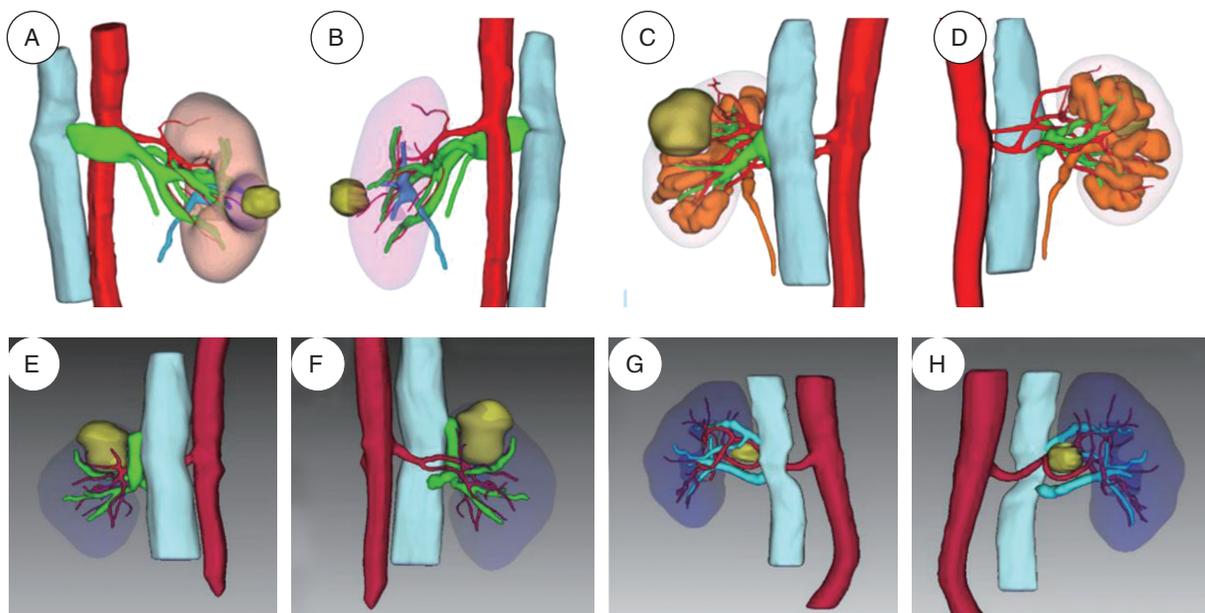


图2 三维可视化重建图像提示血管变异

Figure 2 Images of 3D visualization reconstruction suggests vascular variation

注：A、B. 腹侧肿瘤，动静脉位置异常动脉位于静脉上方；C、D. 腹侧肿瘤，多支肾动脉异常；E、F. 上极肿瘤，动静脉交叉异常；G、H. 肾门后唇肿瘤，动脉分支包绕肿瘤；A~H. 红色为动脉、绿色为静脉、黄色为肿瘤、蓝色或橙色为肾盂集合系统。

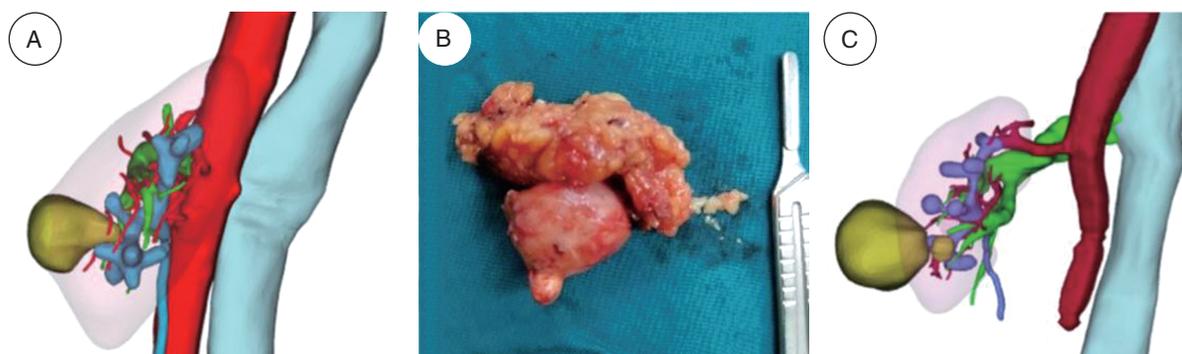


图3 三维可视化重建图像提示分叶肿瘤与多发肿瘤

Figure 3 Images of 3D visualization reconstruction suggests lobulated tumors and multiple tumors

注：A、B. 分叶状肿瘤；C. 多发肿瘤；A~C. 红色为动脉、绿色为静脉、黄色为肿瘤、蓝色或紫色为肾盂集合系统。

示：临床上术前阅片大部分是清洗出来的胶片，只能显示部分层面，对于一些小肿瘤可能显示不全。三维重建基于 CT/MRI 电子信息合成，根据扫描层厚决定重建清晰度，可以最大程度减少肿瘤遗漏（如图 3C）。

三维可视化重建技术结合机器人手术系统，可以将重建的三维影像与术中所见实时同步显

示，清晰显示重要解剖学标志，协助术者进行精准操作，进而做到术前 3D 直观规划、术中 3D 视野操作。由三维重建图像衍生的 3D 打印模型、虚拟混合现实图像，以及术中融合全息影像，目前也在不断开发应用之中，给外科手术带来极大便利^[15]。Furukawa J 等^[16]通过 TilePro 显示功能，在机器人控制台外科医生视野中使用 OsiriX

直接可视化重建的三维图像,对17例肾肿瘤患者进行选择性动脉钳夹的RAPN术,结果显示其热缺血时间、切缘阳性率和并发症等均优于传统RAPN术。

综上所述,三维可视化重建技术有助于术前评估RAPN手术风险,术中缩短手术时间及减少术后住院时间,提高了RAPN手术的安全性,值得临床进一步推广应用。

参考文献

- [1] Ljungberg B, Albiges L, Abu-Ghanem Y, et al. European association of urology guidelines on renal cell carcinoma: the 2019 update[J]. *Eur Urol*, 2019, 75(5): 799–810.
- [2] Grivas N, Kalampokis N, Larcher A, et al. Robot-assisted versus open partial nephrectomy: comparison of outcomes. a systematic review[J]. *Minerva Urol Nefrol*, 2019, 71(2): 113–120.
- [3] Antonelli A, Ficarra V, Bertini R, et al. Elective partial nephrectomy is equivalent to radical nephrectomy in patients with clinical T1 renal cell carcinoma: results of a retrospective, comparative, multi-institutional study[J]. *BJU Int*, 2012, 109(7): 1013–1018.
- [4] Krebs R K, Andreoni C, Ortiz V. Impact of radical and partial nephrectomy on renal function in patients with renal cancer[J]. *Urol Int*, 2014, 92(4): 449–454.
- [5] Choi J E, You J H, Kim D K, et al. Comparison of perioperative outcomes between robotic and laparoscopic partial nephrectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Urol*, 2015, 67(5): 891–901.
- [6] XIA L, WANG X, XU T, et al. Systematic review and meta-analysis of comparative studies reporting perioperative outcomes of robot-assisted partial nephrectomy versus open partial nephrectomy[J]. *J Endourol*, 2017, 31(9): 893–909.
- [7] Motoyama D, Matsushita Y, Watanabe H, et al. Initial learning curve for robot-assisted partial nephrectomy performed by a single experienced robotic surgeon[J]. *Asian J Endosc Surg*, 2020, 13(1): 59–64.
- [8] 董海燕, 窦磊, 庞晓燕, 等. 机器人手术与腹腔镜手术对外科医生影响的比较[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2020, 1(3): 195–201.
- [9] Tachibana H, Takagi T, Kondo T, et al. Robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy versus laparoscopic partial nephrectomy: a propensity score-matched comparative analysis of surgical outcomes and preserved renal parenchymal volume[J]. *Int J Urol*, 2018, 25(4): 359–364.
- [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]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2017, 27(5): 516–523.
- [11] Porpiglia F, Fiori C, Checcucci E, et al. Hyperaccuracy three-dimensional reconstruction is able to maximize the efficacy of selective clamping during robot-assisted partial nephrectomy for complex renal masses[J]. *Eur Urol*, 2018, 74(5): 651–660.
- [12] Lee H, Nguyen N H, Hwang S I, et al. Personalized 3D kidney model produced by rapid prototyping method and its usefulness in clinical applications[J]. *Int Braz J Urol*, 2018, 44(5): 952–957.
- [13] Bertolo R, Autorino R, Fiori C, et al. Expanding the indications of robotic partial nephrectomy for highly complex renal tumors: urologists' perception of the impact of hyperaccuracy three-dimensional reconstruction[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2019, 29(2): 233–239.
- [14] 赵健, 王忠新, 宋勇, 等. 肾血管三维成像技术在机器人辅助腹腔镜肾部分切除术前肾动脉变异评估中的应用[J]. *现代泌尿外科杂志*, 2017, 22(12): 921–924.
- [15] Wake N, Nussbaum J E, Elias M I, et al. 3D Printing, augmented reality, and virtual reality for the assessment and management of kidney and prostate cancer: a systematic review[J]. *Urology*, 2020, 143: 20–32.
- [16] Furukawa J, Miyake H, Tanaka K, et al. Console-integrated real-time three-dimensional image overlay navigation for robot-assisted partial nephrectomy with selective arterial clamping: early single-centre experience with 17 cases[J]. *Int J Med Robot*, 2014, 10(4): 385–390.