

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2020.07.0764

· 专题报道 ·

基于虚拟现实技术和分段操作理念的机器人辅助腹腔镜肾部分切除术培训体系的建立

张超, 过菲, 王富博, 叶宸, 杨悦, 王辉清, 杨波*

海军军医大学(第二军医大学)长海医院泌尿外科, 上海 200433

[摘要] **目的** 针对机器人辅助腹腔镜肾部分切除术(RAPN), 建立一种基于虚拟现实技术和分段操作理念的渐进式分段培训体系。**方法** 选择1名近期取得达芬奇(da Vinci)机器人手术资格的泌尿外科医师, 采用虚拟现实技术进行基础操作培训和缝合强化培训。随后将RAPN分为6个步骤, 受训医师参与实际手术操作, 每次手术完成其中的1个步骤, 在减少对患者影响的前提下获得实践操作经验。最后受训医师独立开展RAPN。**结果** 受训医师顺利完成虚拟现实培训。在分段操作阶段共参与手术18例, 与同期上级医师独自开展的手术相比, 手术时间由(134±41) min 延长至(161±51) min, 但差异无统计学意义($P=0.087$)。术中出血量、并发症发生率和术后住院时间等围手术期指标与同期上级医师独自开展的手术相比差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。通过培训后, 受训医师能够独立开展RAPN。**结论** 通过虚拟培训、分段操作的方式, 可以在较好地保证手术安全性和效果的前提下培养受训医师的操作技能, 使其高效、高质量地完成RAPN。

[关键词] 机器人手术; 腹腔镜技术; 肾部分切除术; 培训; 虚拟现实技术; 分段操作

[中图分类号] R 699.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2020)07-0764-05

Establishment of a training system for robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy based on virtual reality technology and segmented operation concept

ZHANG Chao, GUO Fei, WANG Fu-bo, YE Chen, YANG Yue, WANG Hui-qing, YANG Bo*

Department of Urology, Changhai Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To establish a training system for robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy (RAPN) based on virtual reality technology and segmented operation concept. **Methods** A urologist who has recently been qualified for da Vinci robotic surgery was selected to receive basic operation training and suture strengthening training using virtual reality technology. The procedures of the RAPN were divided into six steps. The trained doctor completed one step each time in the actual operation, and gained practical operation experience with minimal impact on patients. Finally, the trained urologist tried to carry out RAPN independently. **Results** The trained urologist successfully completed the virtual reality training, and participated in 18 cases of actual operation during the segmented operation. Compared with the operation carried out by superior doctor alone, the average operation time of the segmented operation was prolonged from (134±41) min to (161±51) min, but the difference was not statistically significant ($P=0.087$). There was no significant difference in perioperative indexes such as estimated blood loss, incidence of complications or postoperative hospital stay. After training, the trained urologist was able to carry out RAPN independently. **Conclusion** With the help of virtual reality training and segmented operation, the safety and efficacy of the RAPN can be guaranteed, and the trained urologist can complete the operation with high efficiency and quality.

[Key words] robotic surgical procedures; laparoscopy; partial nephrectomy; training; virtual reality technology; segmented operation

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2020, 41(7): 764-768]

[收稿日期] 2020-04-18 **[接受日期]** 2020-06-15

[基金项目] 海军军医大学(第二军医大学)长海医院教改课题(CHJG2018017)。Supported by Educational Reform Project of Changhai Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) (CHJG2018017)。

[作者简介] 张超, 博士, 副主任医师。E-mail: tony373@163.com

*通信作者(Corresponding author)。Tel: 021-31161719, E-mail: yangbochanghai@126.com

在过去的几十年中,肾脏肿瘤的发病率一直呈上升趋势^[1],其中小肾肿瘤(T1a)的比例越来越高,可能与检查手段的提高、健康体检的普及有关^[2]。肾部分切除术是治疗T1a期肾肿瘤的“金标准”,与根治性切除术相比,肾部分切除术的肿瘤学疗效类似,肾功能保护效果更好,并且远期心血管事件风险更低^[3-5]。随着手术技术的进步,肾部分切除术的适应证进一步放宽,对于T1b期肿瘤甚至T2期肿瘤,在技术允许的情况下,也建议行肾部分切除术^[6]。因此,肾部分切除术在肾脏肿瘤手术中的比例逐渐升高。

由于能够减少手术创伤、加快术后恢复、缩短住院时间,微创手术在近30年得到了极大发展。1993年,Winfield等^[7]首次报道了腹腔镜肾部分切除术,开启了微创肾部分切除术的新纪元,随后越来越多的手术得以在腹腔镜下完成。肾部分切除术中最关键的步骤是肿瘤的切除和肾脏的重建,同时这也是难度最大的步骤,需准确切除肿瘤,确切、安全地缝合创面,并尽可能缩短肾脏热缺血时间。与传统开放手术不同,腹腔镜手术通过细长的器械进行操作,无疑增加了该步骤的难度,往往只有大型中心、高年资的医师才能够顺利、安全地开展该术式。机器人系统具有操作灵活、稳定性好、配备3D视野等特点,极大地改善了这一困境。2004年,Gettman等^[8]率先报道了机器人辅助腹腔镜肾部分切除术(robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy, RAPN),取得了良好的效果。与传统腹腔镜肾部分切除术相比,RAPN肾脏热缺血时间更短、并发症发生率更低^[9],值得推广。我国近年达芬奇(da Vinci)手术机器人系统的数量急剧增加,截至2020年4月12日,我国内地共装机144台,急需培养能够熟练操作机器人系统的泌尿外科医师。目前达芬奇手术机器人公司为医师提供为期2d的培训,主要内容包括熟悉设备的基本原理和操作方式、简单的动物实验。机器人手术的视野及手术操作与传统腹腔镜存在较大差异,而肾部分切除手术难度也较高,由公司提供的简单的操作培训无法满足需求。本研究采用虚拟现实技术和分段操作相结合的培训方式,建立了RAPN培训体系,希望在保证手术安全性、有效性的基础上,培养更多优秀的泌尿外科机器人手术医师。

1 对象和方法

1.1 受训对象 选择1名近期取得达芬奇机器人

手术资格的泌尿外科医师,具有腹腔镜肾部分切除术操作经验,但无RAPN操作经验。

1.2 虚拟现实培训 在熟悉达芬奇手术机器人系统基本操作的基础上,采用MimicTM虚拟培训系统进行培训,完成镜头操控、机械臂操控、能量运用等训练。随后,针对RAPN肾脏重建这一关键步骤,反复进行包括运针、缝合、缝针控制在内的多项缝合相关强化练习。记录初次练习和第20次练习时的得分,对比训练前后的数据。虚拟培训各项目平均分达到90分以上,则可进入分段操作培训阶段;若平均分未达90分,需进行强化虚拟培训,直至平均分达到90分以上为止。

1.3 分段操作培训 将经腹腔RAPN分为6个步骤。(1)结肠的游离:手术开始至升结肠或降结肠完全游离完毕;(2)肝脏或脾脏的游离:离断肝肾韧带或脾肾韧带,将肝脏或脾脏向腹侧、头侧游离,直至不遮挡肾脏手术区域;(3)输尿管的寻找:于髂窝区域寻及输尿管,上挑输尿管后,沿腰大肌平面游离至肾门;(4)肾动脉的游离:在肾门处游离肾动脉,便于后续阻断;(5)肿瘤的游离:打开脂肪囊,沿肾脏表面充分游离,暴露肿瘤及其周边正常肾组织;(6)肿瘤的切除和肾脏的重建:阻断肾动脉后,沿肿瘤边缘小心切除肿瘤,将肿瘤置入标本袋中,以倒刺线重建创面,并开放肾动脉。受训医师在上级医师的带领下参与实际手术操作,在每次手术中,受训医师操作6个手术步骤中的1个,其余步骤由其上级医师完成。记录患者的年龄、性别、BMI、肿瘤大小、手术时间、术中出血量、围手术期并发症、术后住院时间,并与其上级医师同期独自所开展手术的相关指标进行比较。

1.4 完整手术实践 完成虚拟现实培训和分段操作培训后,选取T1a期外生性肿瘤,受训医师在上级医师指导下独立开展手术。记录患者的年龄、性别、BMI、肿瘤大小、手术时间、术中出血量、肾脏热缺血时间、围手术期并发症、术后住院时间及手术切缘情况。

1.5 统计学处理 采用SPSS 16.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,虚拟培训前后操作技能指标的比较采用配对样本 t 检验,同期手术数据的比较采用独立样本 t 检验;计数资料以例数和百分数表示,同期手术数据的比较采用Fisher确切概率法。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 虚拟现实培训结果 受训医师顺利完成基础操作,并完成各项缝合相关训练。缝合相关训练包括海绵缝合、棋盘缝合、管状吻合、缝针穿环、缝针定位等(图1)。经过20次训练后,效果明显,受训医师在操作时间、器械碰撞、掉针、脱离目标

次数等方面均有较大提高,总得分从第1次训练时的(63.4±5.9)分提高到(94.8±3.2)分,差异有统计学意义($P<0.05$)。随后受训医师反复进行纵向切口缝合、横向切口缝合、连续缝合、多角度缝合等进阶缝合训练(图2),在打结、缝针控制、缝合效率3个方面均达到90分以上。

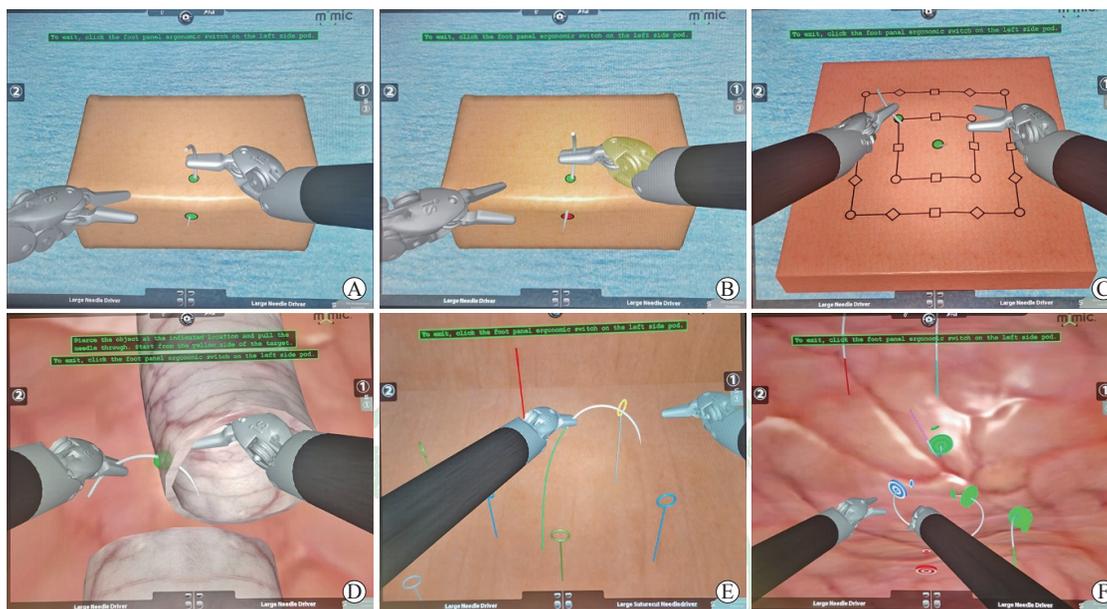


图1 缝合相关训练

Fig 1 Suture-related trainings

A: Sponge sutures with accurate needle in and out points; B: Sponge sutures with inaccurate needle out points; C: Chessboard suture; D: Tube anastomosis; E: Needle through the rings; F: Needle puncture

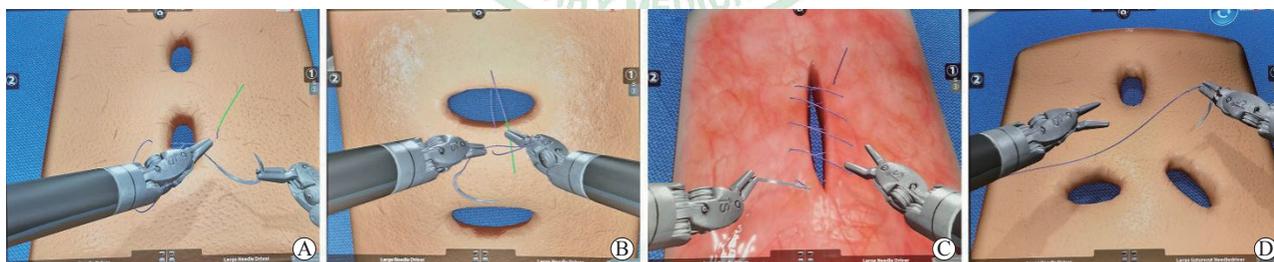


图2 缝合进阶训练

Fig 2 Advanced suture trainings

A: Vertical suture; B: Horizontal suture; C: Continuous suture; D: Multi-angle suture

2.2 分段操作培训结果 在分段操作阶段,受训医师参与完成手术共计18例,其中完成结肠的游离2例,肝脏的游离和脾脏的游离各2例,输尿管的寻找2例,肾动脉的游离3例,肿瘤的游离2例,肿瘤的切除和肾脏的重建5例。在受训医师完成肿瘤的切除和肾脏的重建手术过程中,1例患者出现术后血尿,予以持续膀胱冲洗后改善。其余病例未发现围手术期并发症。由表1可见,与上级医师同期手

术相比,受训医师参加的分段操作手术平均手术时间延长27 min,但差异无统计学意义($P=0.087$);术中出血量、围手术期并发症发生率、术后住院时间等指标差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。

2.3 独立开展手术结果 分段操作训练结束后,受训医师独立开展3例T1a期肾肿瘤RAPN,均顺利完成,未发生围手术期并发症,手术切缘均为阴性(表2)。

表1 受训医师分段操作病例与上级医师同期手术病例的比较

Tab 1 Comparison between cases of segmented operation participated by the trained urologist and operation carried out by superior doctor during the same period

Index	N=18	
	Segmented operation	Operation by superior doctor
Age (year), $\bar{x} \pm s$	56.4 ± 10.4	60.4 ± 8.5
Male <i>n</i> (%)	13 (72.2)	11 (61.1)
BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), $\bar{x} \pm s$	25.0 ± 3.1	26.6 ± 3.6
Tumor diameter (cm), $\bar{x} \pm s$	2.7 ± 0.7	3.0 ± 0.8
Operation time (min), $\bar{x} \pm s$	161 ± 51	134 ± 41
Estimated blood loss (mL), $\bar{x} \pm s$	121 ± 81	128 ± 48
Complication <i>n</i> (%)	1 (5.6)	0
Postoperative hospital stay (d), $\bar{x} \pm s$	4.1 ± 0.7	3.9 ± 0.8

BMI: Body mass index

表2 受训医师独立完成的RAPN病例情况

Tab 2 Case data of RAPN performed by the trained urologist independently

Index	Case 1	Case 2	Case 3
Age (year)	67	55	51
Gender	Male	Male	Female
BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	25.7	26.4	22.1
Tumor diameter (cm)	2.5	2.7	3.1
Operation time (min)	185	220	160
Estimated blood loss (mL)	150	200	100
Warm ischemia time (min)	28	27	24
Surgical margin	Negative	Negative	Negative
Complication	No	No	No
Postoperative hospital stay (d)	5	5	4

RAPN: Robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy;

BMI: Body mass index

3 讨论

随着手术机器人应用的逐渐成熟, 应用RAPN治疗的肿瘤越来越复杂, 手术越来越精准。Buffi等^[10]回顾了RAPN治疗的255例PADUA评分≥10分的患者资料, 平均手术时间为165 min, 平均肾脏热缺血时间为18.6 min, 约5.1%的患者出现Clavien-Dindo分级Ⅱ级以上并发症, 切缘阳性率为1.9%, 62.0%的患者“三连胜”(trifecta)达标(无严重并发症、热缺血时间<20 min、手术切缘阴性)。虽然仍有提升的空间, 但对于复杂肿瘤来说, 该结果尚令人满意。2009年Mottrie等^[11]提出利用手术机器人系统进行肾脏肿瘤切除术是

未来的趋势, 随后越来越多的肾脏肿瘤切除术利用手术机器人系统完成, 在保证手术安全和疗效的前提下, 更好地保护了肾功能^[12-13]。此外, 手术机器人系统可与多种影像学技术进行融合, 如将术前重建的血管图像导入术中画面, 进行实时引导, 可大大降低手术难度^[14]。鉴于RAPN的诸多优势, 其应用也越来越广泛, 需要建立规范、系统的培训体系, 以培养更多优秀的泌尿外科机器人手术医师。

有研究认为, 仅熟练操作手术机器人系统就需要10 h以上的训练时间^[15]。在此基础上, 主刀医师还要适应在没有触觉反馈的情况下进行手术操作。然而, 目前机器人公司仅提供为期2 d的适应性训练, 无法满足实际需要。利用Mimic™系统进行虚拟现实培训是最常用的方法之一^[9]。由于RAPN对缝合技术要求较高, 除了基础操作之外, 我们对受训医师进行了缝合强化培训, 精确规定了进出针点的位置, 希望受训医师经过强化训练后, 在进行创面缝合时能够精确掌控进出针点的位置, 提高出血点缝合的准确性和安全性。经过20次训练后, 受训医师在操作时间、器械碰撞、掉针、脱离目标次数等方面均有较大的提高, 总得分由(63.4±5.9)分提高到(94.8±3.2)分, 效果显著。随后受训医师反复进行纵向切口缝合、横向切口缝合、连续缝合、多角度缝合等进阶缝合训练, 在打结、缝针控制、缝合效率3个方面均达到90分以上。

如何在保证手术安全性和质量的前提下使受训医师获得实战经验是非常重要的课题。我们采取分段操作的方法, 将RAPN分割为多个步骤, 受训医师参与手术操作, 每次手术操作其中的一个步骤。采用该方式能够使受训医师获得手术全程的操作经验, 同时减少其在每台手术中的操作比例, 从而控制手术时间, 保证手术安全性。本研究中, 受训医师对18例RAPN进行了分段操作, 平均手术时间与上级医师同期手术相比延长了27 min, 差异无统计学意义($P < 0.05$), 其他围手术期指标与上级医师同期手术相比也均无统计学意义, 说明分段操作可以较好地保证手术安全。受训医师每次仅完成手术的一小部分、通过多例手术获得全程手术操作经验的培训方式能够有效控制手术时间, 减轻对患者的影响。

通过虚拟现实培训和分段操作训练后, 受训医师在上级医师指导下独立开展手术, 顺利完成3例

RAPN, 手术切缘均为阴性, 围手术期未见明显并发症, 取得了良好的效果。RAPN 的学习曲线比腹腔镜手术更短, 通常只需要 15~25 例即可达到较好的结果^[16]。本研究中的受训医师具有腹腔镜手术经验, 配合团队也经过相关培训^[17], 提高了手术流畅性, 培训全程仅参与 18 例手术, 且操作仅为手术的一小部分, 取得了满意的效果。对于无腹腔镜手术经验的医师, 可能需要参与更多病例的手术才能达到较好的培训效果。

总之, 手术机器人系统具有操作灵活等特点, 适合在肾部分切除术中应用。通过虚拟培训、分段操作的方式, 可以较好地培养受训医师, 使其高效、高质量地完成 RAPN。

[参 考 文 献]

- [1] LJUNGBERG B, CAMPBELL S C, CHOI H Y, JACQMIN D, LEE J E, WEIKERT S, et al. The epidemiology of renal cell carcinoma[J]. *Eur Urol*, 2011, 60: 615-621.
- [2] GILL I S, ARON M, GERVAIS D A, JEWETT M A. Clinical practice. Small renal mass[J]. *N Engl J Med*, 2010, 362: 624-634.
- [3] MUKKAMALA A, HE C, WEIZER A Z, HAFEZ K S, MILLER D C, MONTGOMERY J S, et al. Long-term oncologic outcomes of minimally invasive partial nephrectomy for renal-cell carcinoma[J]. *J Endourol*, 2014, 28: 649-654.
- [4] VAN POPPEL H, DA POZZO L, ALBRECHT W, MATVEEV V, BONO A, BORKOWSKI A, et al. A prospective, randomised EORTC intergroup phase 3 study comparing the oncologic outcome of elective nephron-sparing surgery and radical nephrectomy for low-stage renal cell carcinoma[J]. *Eur Urol*, 2011, 59: 543-552.
- [5] CAPITANIO U, TERRONE C, ANTONELLI A, MINERVINI A, VOLPE A, FURLAN M, et al. Nephron-sparing techniques independently decrease the risk of cardiovascular events relative to radical nephrectomy in patients with a T1a-T1b renal mass and normal preoperative renal function[J]. *Eur Urol*, 2015, 67: 683-689.
- [6] MIR M C, DERWEESH I, PORPIGLIA F, ZARGAR H, MOTTRIE A, AUTORINO R. Partial nephrectomy versus radical nephrectomy for clinical T1b and T2 renal tumors: a systematic review and meta-analysis of comparative studies[J]. *Eur Urol*, 2017, 71: 606-617.
- [7] WINFIELD H N, DONOVAN J F, GODET A S, CLAYMAN R V. Laparoscopic partial nephrectomy: initial case report for benign disease[J]. *J Endourol*, 1993, 7: 521-526.
- [8] GETTMAN M T, BLUTE M L, CHOW G K, NEURURER R, BARTSCH G, PESCHEL R. Robotic-assisted laparoscopic partial nephrectomy: technique and initial clinical experience with DaVinci robotic system[J]. *Urology*, 2004, 64: 914-918.
- [9] MCGUINNESS L A, PRASAD RAI B. Robotics in urology[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2018, 100(6_sup): 38-44.
- [10] BUFFI N M, SAITA A, LUGHEZZANI G, PORTER J, DELL'OGGIO P, AMPARORE D, et al; ERUS Scientific Working Group. Robot-assisted partial nephrectomy for complex (PADUA score ≥ 10) tumors: techniques and results from a multicenter experience at four high-volume centers[J]. *Eur Urol*, 2020, 77: 95-100.
- [11] MOTTRIE A, CESTARI A, BUFFI N, GUAZZONI G, IRWIN B H, ARON M, et al. Open to debate. The motion: a robot is necessary for laparoscopic enucleation of renal masses[J]. *Eur Urol*, 2009, 55: 1229-1232.
- [12] MARI A, TELLINI R, DI MAIDA F, CAMPI R, BARZAGHI P, TASSO G, et al. Predictors of early postoperative and mid-term functional outcomes in patients treated with Endoscopic Robot Assisted Simple Enucleation (ERASE): results from a tertiary referral centre[J/OL]. *Minerva Urol Nefrol*, 2019. doi: 10.23736/S0393-2249.19.03640-3.
- [13] TAKAGI T, KONDO T, TACHIBANA H, IIZUKA J, OMAE K, YOSHIDA K, et al. Comparison of surgical outcomes between resection and enucleation in robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy for renal tumors according to the surface-intermediate-base margin score: a propensity score-matched study[J]. *J Endourol*, 2017, 31: 756-761.
- [14] WANG F, ZHANG C, GUO F, JI J, LYU J, CAO Z, et al. Navigation of intelligent/interactive qualitative and quantitative analysis three-dimensional reconstruction technique in laparoscopic or robotic assisted partial nephrectomy for renal hilar tumors[J]. *J Endourol*, 2019, 33: 641-646.
- [15] WIENER S, HADDOCK P, SHICHMAN S, DORIN R. Construction of a urologic robotic surgery training curriculum: how many simulator sessions are required for residents to achieve proficiency?[J]. *J Endourol*, 2015, 29: 1289-1293.
- [16] LAVIANA A A, HU J C. Current controversies and challenges in robotic-assisted, laparoscopic, and open partial nephrectomies[J]. *World J Urol*, 2014, 32: 591-596.
- [17] GUO F, ZHANG C, WANG H Q, SHENG X, XIAO L, SUN Y H, et al. Application of a laser-guided docking system in robot-assisted urologic surgery[J]. *Int J Med Robot*, 2016, 12: 524-527.