

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20220577

• 技术方法 •

基于虚拟现实技术的机器人辅助腹腔镜肾盂成形术分段式培训体系的建立和应用

叶宸¹, 杨懿人¹, 徐梦璐², 施晓磊¹, 薛庆¹, 庞庆阳¹, 柳文强¹, 肖成武¹, 张威^{1,3*}

1. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院泌尿外科, 上海 200433

2. 直观复星医疗器械技术(上海)有限公司, 上海 201200

3. 海军军医大学(第二军医大学)第一附属医院外科学与野战外科学教研室, 上海 200433

[摘要] **目的** 建立一种基于虚拟现实技术的分段式培训体系, 并应用于机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(RALP)的手术培训。**方法** 采用虚拟现实技术, 通过机器人模拟培训系统对3名泌尿外科医师进行基础操作培训和缝合相关技能培训, 对比培训前后受训医师术中吻合时间等关键指标的变化。将RALP分为游离、裁剪、吻合、缝合4个分段, 受训医师通过机器人系统参与真实手术操作, 先以分段为单位完成学习曲线, 再独立完成完整的RALP。**结果** 经虚拟现实培训后, 受训医师术中的吻合时间 $[(141.0 \pm 9.0) \text{ s vs } (312.6 \pm 34.5) \text{ s}]$ 和运动距离 $[(140.9 \pm 16.2) \text{ cm vs } (323.1 \pm 50.6) \text{ cm}]$ 显著缩短($P < 0.01$), 机械臂碰撞次数 $[(1.6 \pm 0.6) \text{ 次 vs } (7.1 \pm 1.0) \text{ 次}]$ 和器械离开视野次数 $[(0.8 \pm 0.5) \text{ 次 vs } (3.2 \pm 0.9) \text{ 次}]$ 显著减少($P < 0.05$), 脱离目标次数在训练前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。经每人2轮的分段式真实手术训练后, 受训医师独立完成RALP, 其手术时间较具备成熟RALP手术经验医师同期的手术时间略长 $[(149.0 \pm 36.0) \text{ min vs } (117.0 \pm 10.0) \text{ min}]$, 但差异无统计学意义($P = 0.060$); 术中出血量、漏尿发生率和术后住院时间等围手术期指标差异也均无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 基于虚拟现实技术的分段式培训体系可成功应用于RALP的手术培训, 其可在保证手术安全性和质量的前提下提高受训医师的操作水平, 使其具备独立完成RALP的能力。

[关键词] 机器人手术; 腹腔镜肾盂成形术; 虚拟现实; 分段式培训体系

[中图分类号] R 699.2

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-1338(2023)04-0493-06

Establishment and application of a segmented training system for robot-assisted laparoscopic pyeloplasty based on virtual reality technology

YE Chen¹, YANG Yi-ren¹, XU Meng-lu², SHI Xiao-lei¹, XUE Qing¹, PANG Qing-yang¹, LIU Wen-qiang¹, XIAO Cheng-wu¹, ZHANG Wei^{1,3*}

1. Department of Urology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

2. Intuitive Surgical-Fosun Medical Technology (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201200, China

3. Department of Surgery and Field Surgery, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To establish a virtual reality technology-based segmented training system and apply it to the surgical training of robot-assisted laparoscopic pyeloplasty (RALP). **Methods** Virtual reality technology was used to conduct basic operation training and intensive training of suture-related skills for 3 urologists through a robotic simulation training system, and the changes in key indicators such as anastomosis time of the trained urologists were compared before and after the training. The RALP was divided into 4 segments: separating, cutting, anastomosis, and suturing. The trained surgeons participated in real surgical operations through the robotic system, first completing the learning curve in segments and then completing the whole RALP independently. **Results** After virtual reality training, the anastomotic time $[(141.0 \pm 9.0) \text{ s vs } (312.6 \pm 34.5) \text{ s}]$ and motion distance $[(140.9 \pm 16.2) \text{ cm vs } (323.1 \pm 50.6) \text{ cm}]$ were significantly shortened (both $P < 0.01$), and the times of both instrument collisions $(1.6 \pm 0.6 \text{ vs } 7.1 \pm 1.0)$ and instrument out of sight $(0.8 \pm 0.5 \text{ vs } 3.2 \pm 0.9)$ were

[收稿日期] 2022-07-12 **[接受日期]** 2022-11-14

[基金项目] 海军军医大学(第二军医大学)启航人才培养计划(2021)。Supported by Sailing Plan of Naval Medical University (Second Military Medical University) (2021).

[作者简介] 叶宸, 博士, 讲师、主治医师. E-mail: yechen12358@qq.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81887805, E-mail: zhweismmu@163.com

significantly reduced (both $P < 0.05$). However, the times of missed target did not change significantly before and after training ($P > 0.05$). After 2 rounds of segmented training per person, trainees were able to conduct RALP independently. Their operation time was longer than that of senior surgeons ($[149.0 \pm 36.0] \text{ min}$ vs $[117.0 \pm 10.0] \text{ min}$), but the difference was not statistically significant ($P > 0.05$). In addition, there were no significant differences in perioperative indicators such as intraoperative blood loss, incidence of urine leakage, or postoperative hospital stay (all $P > 0.05$). **Conclusion** The virtual reality technology-based segmented training system can be successfully applied to the surgical training of RALP, and it can improve the operational skills of trainees on the premise of ensuring the safety and quality of the operation.

[Key words] robotic surgical procedures; laparoscopic pyeloplasty; virtual reality; segmented training system

[Acad J Naval Med Univ, 2023, 44(4): 493-498]

肾盂输尿管连接部梗阻 (ureteropelvic junction obstruction, UPJO) 是导致上尿路梗阻、积水的常见原因之一, 多为先天性发育异常所致。手术重建是解除梗阻的核心治疗手段。开放肾盂成形术最早由 Anderson 和 Hynes 于 1949 年开展, 该经典术式目前仍是 UPJO 治疗的金标准^[1]。Schuessler 等^[2] 于 1993 年率先开展了腹腔镜肾盂成形术 (laparoscopic pyeloplasty, LP), 随着腹腔镜技术的成熟完善, 手术成功率可达 95% 以上^[3]。相比开放手术, 腹腔镜手术具有创伤小、出血少、术后恢复快等优点, 逐渐成为 UPJO 外科治疗的主要手术方式^[3-4]。LP 中最关键的步骤是离断后的肾盂输尿管重建, 需要大量的缝合、打结操作以准确、安全地闭合集合系统, 因而要求术者有较高的缝合精准度和稳定性。肾盂成形术操作空间狭小, 技术难度大^[5]。

Binder 等^[6] 和 Gettman 等^[7] 于 2002 年首次报道了达芬奇 (da Vinci) 机器人辅助腹腔镜肾盂成形术 (robot-assisted laparoscopic pyeloplasty, RALP)。与传统腹腔镜相比, 达芬奇手术机器人系统具有仿真手腕、超高清 3D 视野、颤动过滤等优势技术, 使术者的分离、缝合、打结等复杂操作更加灵活、稳定, 克服了腹腔镜操作的难点, 在进行精准解剖游离与体内缝合时具有明显优势^[8-10], 因此 RALP 已成为 UPJO 手术治疗的新方向。但机器人手术系统的术者视野、机械臂操控模式等与传统腹腔镜差别较大, 且缺乏触觉反馈, 尤其是在外科缝合及组织的精细处理方面, 通过简单的短期模拟操作和动物实验, 受训医师无法较好地掌握操作技术^[11]。如何系统、规范、高效地培训初学医师掌握该手术的关键技术, 显得尤为重要。为此, 我们拟建立一种基于虚拟现实技术的分段式培训体系, 在保证手术安全性和质量的前提下提升受训医师的机器人系统操作技能, 缩短 RALP 的学习曲线。

1 对象和方法

1.1 受训对象 选择 3 名同年资且具有 LP 手术经验的泌尿外科医师, 均在近期取得达芬奇机器人系统手术操作证书, 但无 RALP 操作经验。本研究获得我院伦理委员会审批。

1.2 虚拟现实培训 虚拟现实培训分 3 个阶段: 第一阶段为基础操作训练, 利用机器人模拟培训系统 SimNow® 的虚拟现实培训技术完成镜头操控、机械臂操控、腕部操作、能量运用等技能训练 (图 1); 第二阶段为缝合相关技能训练, 包括定点入针/出针、打结、纵向/横向切口缝合、多角度缝合、连续缝合等 (图 2), 共完成练习 20 次; 第三阶段为虚拟手术训练, 针对 RALP 术中“肾盂输尿管吻合”这一关键步骤, 利用“共同开口闭合”训练模块进行仿真手术训练 (图 3), 共完成练习 20 次。

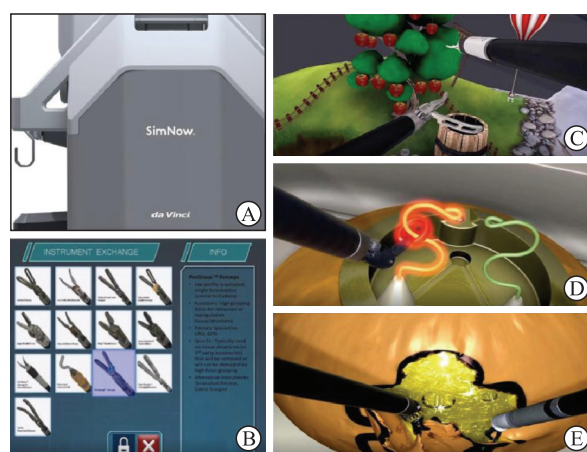


图 1 利用机器人模拟培训系统 SimNow® 完成基础操作技能训练

Fig 1 Complete basic operational skills training using the robotic stimulation training system SimNow®

A: Appearance of SimNow®; B: Information of surgical instruments; C: Robotic arm control; D: Wrist operation; E: Energy utilization.

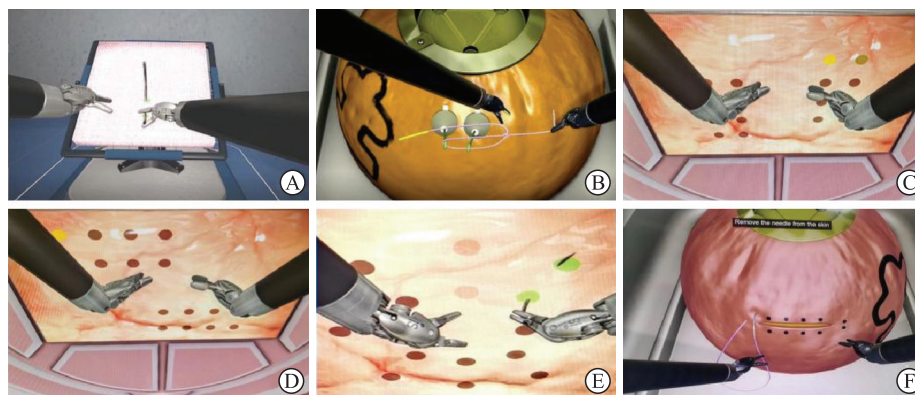


图2 利用机器人模拟培训系统 SimNow[®] 完成缝合基本技能训练

Fig 2 Complete basic suturing skills training using the robotic stimulation training system SimNow[®]

A: Needle entry/exit at fixed point; B: Knotting; C: Longitudinal suture; D: Horizontal suture; E: Multi-angle suture; F: Continuous suture.

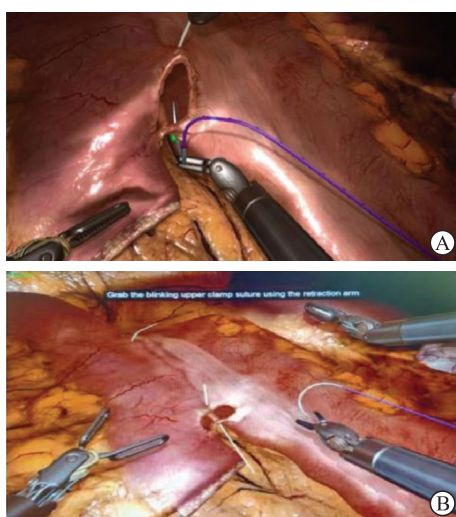


图3 利用机器人模拟培训系统 SimNow[®] 的“共同开口闭合”模块进行仿真手术训练

Fig 3 Simulated surgical training using the “common opening closure” module of the robotic stimulation training system SimNow[®]

A: Suture from bottom to top; B: Suture from top to bottom.

得分高于90分时可进入分段手术训练。评分由系统依据任务完成时间、器械运动轨迹的有效性进行综合评判,对出现机械臂碰撞、多余针刺、用力过重、落针、不恰当使用能量等操作失误的作减分处理。对比初次练习和第20次练习时的总得分,评估虚拟现实培训的效果,若末次总得分低于90分,需继续强化虚拟现实培训。

1.3 分段操作培训 将经腹腔镜RALP分为4个步骤。(1)肾盂输尿管游离:在Toldt's线处打开侧腹膜,离断肝结肠韧带(左侧为脾结肠韧带),将结肠翻至对侧,沿腹膜与Gerota's筋膜之间的无血

管间隙游离,分离可能的纤维条索粘连,直至充分显露肾盂及上段输尿管;(2)肾盂输尿管连接部裁剪:于梗阻段上方切开肾盂并裁剪多余肾盂,暂不完全离断肾盂与输尿管,于梗阻段下方斜行切开输尿管,并向下剖开输尿管远端;(3)肾盂前壁吻合:于肾盂瓣最低点与输尿管劈开处最低点缝合1针,离断狭窄段后连续缝合输尿管与肾盂的后壁,再连续缝合裁剪后的肾盂,使其呈“漏斗状”;(4)肾盂后壁缝合:经吻合口置入导丝,并沿导丝放置F6-F7双J管1根,下至膀胱,上至肾盂,然后间断缝合输尿管与肾盂的前壁。受训医师在已独立完成RALP 15台以上、具备成熟手术经验的医师指导下参与实际手术操作,在每次手术中,受训医师完成4个手术步骤中的1个,其余步骤由其指导教师完成。若术中受训医师操作出现出血严重、手术困难的情况,则立即由其指导教师进行手术。每人均完成2轮训练。

1.4 独立开展完整手术 虚拟现实培训和分段操作培训后,3名受训医师在已独立完成15台以上RALP、具备成熟手术经验的医师指导下各自独立开展2台RALP,左侧和右侧病变各1例。记录手术时间、术中出血量、术后尿漏发生情况、住院时间等围手术期指标,与经验成熟指导教师同期手术的相应指标进行比较。

1.5 患者筛选标准 本研究中接受手术的患者共30例,其中男20例,女10例,年龄20~45岁,BMI 20~25 kg/m²;均为先天性UPJO,其中左侧16例,右侧14例,狭窄长度1~2 cm,集合系统分离程度4~6 cm;无腹部及泌尿系统手术病史。

1.6 统计学处理 应用SPSS 18.0软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用配对样本或两独立样本 t 检验;计数资料以例数和百分数表示,组间比较采用Pearson χ^2 检验。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 虚拟现实培训结果 3名受训医师均在SimNow®模拟培训系统中顺利完成基础操作、缝合相关技能以及共同开口闭合模块的培训。在仿真手术训练中,受训医师对机械臂操作的熟练程度

明显提高,总得分从第1次训练的(65.2 ± 4.8)分提高到(93.8 ± 3.9)分,差异有统计学意义($P < 0.05$)。其中吻合时间[(141.0 ± 9.0) s vs (312.6 ± 34.5) s]和运动距离[(140.9 ± 16.2) cm vs (323.1 ± 50.6) cm]均显著缩短(P 均 < 0.01),机械臂碰撞次数[(1.6 ± 0.6)次 vs (7.1 ± 1.0)次]和器械离开视野次数[(0.8 ± 0.5)次 vs (3.2 ± 0.9)次]均显著减少(P 均 < 0.05),脱离目标次数在训练后减少,但训练前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

表1 受训医师利用机器人模拟培训系统完成虚拟现实培训前后的考核指标比较

Tab 1 Comparison of the evaluation indexes of trained surgeons before and after robot virtual reality training using the robotic stimulation training system

Index	$n=3, \bar{x} \pm s$		
	The 1 st training	The 20 th training	P value
Anastomotic time/s	312.6 ± 34.5	141.0 ± 9.0	0.001
Motion distance/cm	323.1 ± 50.6	140.9 ± 16.2	0.004
Times of instrument collisions	7.1 ± 1.0	1.6 ± 0.6	0.001
Times of instrument out of sight	3.2 ± 0.9	0.8 ± 0.5	0.016
Times of missed target	4.9 ± 0.7	3.2 ± 1.0	0.073
Total score	65.2 ± 4.8	93.8 ± 3.9	0.004

2.2 分段操作培训结果 在分段操作阶段,每名受训医师参与完成2轮RALP,均采用经腹腔路径,顺利完成肾盂输尿管游离、肾盂输尿管连接部裁剪、肾盂前壁吻合和肾盂后壁缝合各2例。24例患者术后均未出现尿漏。肾盂前壁吻合和肾盂后壁缝合是肾盂输尿管重建的关键步骤,与经验成熟的指导医师相比,受训医师完成时间分别延长16 min和12 min,但差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 独立开展完整手术结果 分段操作训练结束后,3名受训医师分别独立开展2台RALP,均采用经腹腔路径,手术顺利完成,患者术后未出现尿漏。与经验成熟的指导医师相比,受训医师的手术总用时延长了32 min [(149.0 ± 36.0) min vs (117.0 ± 10.0) min],但差异无统计学意义($P > 0.05$);术中出血量[(88 ± 24) mL vs (63 ± 16) mL]、术后尿漏发生率(0 vs 0)、术后住院时间[(3.9 ± 0.5) d vs (4.0 ± 0.6) d]差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。

3 讨论

达芬奇手术机器人在前列腺癌根治术、肾部分切除术、肾盂成形术等手术中已被广泛应

用,极大地推动了微创技术在泌尿外科领域的发展^[8,12-13]。目前,采用腹腔镜技术的LP仍是UPJO手术治疗的主要方式。术中需要对肾盂壁进行较大范围的裁剪,吻合肾盂和输尿管时也需要大量的缝合操作,因腹腔镜直杆器械的局限性,剪裁范围有限,缝合操作难度大^[14]。达芬奇手术机器人系统有诸多优势,缝合时可灵活调整进针角度,缝合更精准,手术效果更佳^[15]。

我院于2017年成立了大陆首家达芬奇手术机器人国际培训中心,可开展模拟训练和动物实验^[16],受训者接受2 d的培训即可获得机器人手术操作证书。但有研究认为,主刀医师仅熟练操作手术机器人系统就需10 h以上的训练时间^[17],还要适应在没有触觉反馈情况下的手术操作,2 d的培训无法满足临床医师的实际训练需求。若大量开展基于动物模型的练习,则成本过高,且缺乏统一标准,培训效果欠佳^[18-19]。利用机器人模拟培训系统进行虚拟现实培训可大大降低初学者的训练成本,且可根据不同技术要点、不同类型手术设置个性化的练习模式和评价指标,可有效缩短初学者的学习曲线^[20-21]。

本研究采用 SimNow[®] 机器人模拟培训系统进行虚拟现实培训。该系统是最新开发的与达芬奇手术机器人匹配的模拟系统,其硬件部分可悬挂于控制台背侧,与操作系统直接连接,其软件部分具有大量技能练习和高度仿真手术的模拟场景。RALP 术中对肾盂壁精准的裁剪与缝合是解除梗阻及避免术后出现尿漏的重要保证,也是机器人手术的优势所在。因此,我们主要针对缝合进行了强化训练。经过缝合相关技能训练、仿真手术训练,受训医师操作的吻合时间、运动距离、机械臂碰撞次数、器械离开视野次数和脱离目标次数等方面均有较大进步,3 位受训医师总得分均高于 93 分。

完成虚拟现实培训后,我们采用分段式培训模式让受训医师在经验成熟的医师指导下分段完成实际手术。分段式培训模式将手术分段完成,可降低单次手术难度,并通过单一步骤反复训练积累经验,保证患者的安全和手术的效果^[22-23]。3 名受训医师各自开展了 8 台 RALP 的分段操作,手术过程顺利,术后患者未出现尿漏。在肾盂前壁吻合和肾盂后壁缝合 2 个关键步骤中,与经验成熟的指导医师相比,受训医师完成时间略有延长,但差异并无统计学意义($P>0.05$)。

在经过虚拟现实和分段操作培训后,3 名受训医师在经验成熟的医师指导下独立开展 RALP,各顺利完成 2 台手术,术后患者未出现尿漏,总手术时间较经验成熟的指导医师延长约半小时,但差异无统计学意义($P>0.05$)。整体而言,本研究中 3 名受训医师取得了满意的培训效果,能较好地独立完成 RALP,说明基于虚拟现实技术的分段式培训体系是安全和高效的。

本研究有以下不足:第一,受训医师数量较少且均具备良好的腹腔镜手术经验,后期需针对更多不同层次的医师开展训练,进一步论证该培训体系在 RALP 学习中的价值;第二,本研究中所选的 UJPO 病例均为成年患者,但仍有大量手术患者为儿童,对该类患者的手术难度更大,后期应增加儿童病例,使研究更完整。

总之,将基于虚拟现实技术的分段式培训体系应用于 RALP 的培训可在保证手术安全性和高质量的前提下提高受训医师的操作水平,有利于受训医师更好、更快地学习掌握 RALP 手术技能,进而具备独立完成该手术的能力。

[参考文献]

- [1] TOBIS S, VENIGALLA S, BALAKUMARAN K, SCOSYREV E, LLOYD G L, GOLIJANIN D J, et al. Analysis of a large single-center experience with robot-assisted pyeloplasty[J]. *Int J Urol*, 2013, 20: 230-234.
- [2] SCHUESSLER W W, GRUNE M T, TECUANHUEY L V, PREMINGER G M. Laparoscopic dismembered pyeloplasty[J]. *J Urol*, 1993, 150: 1795-1799.
- [3] MOON D A, EL-SHAZLY M A, CHANG C M, GIANDUZZO T R, EDEN C G. Laparoscopic pyeloplasty: evolution of a new gold standard[J]. *Urology*, 2006, 67: 932-936.
- [4] 袁平成,郭刚,马鑫,李亚健,陈小刚,张旭.不同途径腹腔镜肾盂成形术的术式选择与疗效比较[J/CD]. *中华腔镜外科杂志(电子版)*, 2014, 7: 454-457.
- [5] BIRD V G, LEVEILLEE R J, ELDEFRAWY A, BRACHO J, AZIZ M S. Comparison of robot-assisted versus conventional laparoscopic transperitoneal pyeloplasty for patients with ureteropelvic junction obstruction: a single-center study[J]. *Urology*, 2011, 77: 730-734.
- [6] BINDER J, JONES J, BENTAS W, WOLFRAM M, BRÄUTIGAM R, PROBST M, et al. [Robot-assisted laparoscopy in urology. Radical prostatectomy and reconstructive retroperitoneal interventions][J]. *Urologe A*, 2002, 41: 144-149.
- [7] GETTMAN M T, NEURURER R, BARTSCH G, PESCHEL R. Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty performed using the da Vinci robotic system[J]. *Urology*, 2002, 60: 509-513.
- [8] 杨罗佳,张鹏,彭程,杨阳,贾通宇,黄庆波,等.挽救性机器人辅助腹腔镜肾盂成形术治疗复发性肾盂输尿管连接部梗阻[J]. *第二军医大学学报*, 2020, 41: 725-730.
- [8] YANG L J, ZHANG P, PENG C, YANG Y, JIA T Y, HUANG Q B, et al. Salvage robot-assisted laparoscopic pyeloplasty for recurrent ureteropelvic junction obstruction[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2020, 41: 725-730.
- [9] PASSEROTTI C C, PASSEROTTI A M A M S, DALL'OGGIO M F, LEITE K R M, NUNES R L V, SROUGI M, et al. Comparing the quality of the suture anastomosis and the learning curves associated with performing open, freehand, and robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty in a swine animal model[J]. *J Am Coll Surg*, 2009, 208: 576-586.
- [10] HEMAL A K, MUKHERJEE S, SINGH K. Laparoscopic pyeloplasty versus robotic pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction: a series of 60 cases performed by a single surgeon[J]. *Can J Urol*, 2010, 17: 5012-5016.

- [11] 张超,花梅免,王富博,过菲,王辉清,彭广,等.虚拟现实培训在机器人辅助腹腔镜前列腺癌根治术膀胱尿道吻合中的应用[J].第二军医大学学报,2018,39:1381-1384.
ZHANG C, HUA M M, WANG F B, GUO F, WANG H Q, PENG G, et al. Application of virtual reality training in urethrovesical anastomosis of robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39: 1381-1384.
- [12] LEI K Y, XIE W J, FU S Q, MA M, SUN T. A comparison of the da Vinci Xi vs. da Vinci Si surgical systems for radical prostatectomy[J/OL]. BMC Surg, 2021, 21: 409. DOI: 10.1186/s12893-021-01406-w.
- [13] SHIROKI R, FUKAMI N, FUKAYA K, KUSAKA M, NATSUME T, ICHIHARA T, et al. Robot-assisted partial nephrectomy: superiority over laparoscopic partial nephrectomy[J]. Int J Urol, 2016, 23: 122-131.
- [14] 蒋昊,刘光香,赵晓智,齐伟,张士伟,李笑弓,等.机器人辅助经腹腔镜与传统经腹腔镜肾盂输尿管成形术治疗肾盂输尿管连接部梗阻的临床对照研究[J].现代泌尿外科杂志,2017,22:495-499.
- [15] TASIAN G E, CASALE P. The robotic-assisted laparoscopic pyeloplasty: gateway to advanced reconstruction[J]. Urol Clin North Am, 2015, 42: 89-97.
- [16] 李建萍,刘意抒,蔡丽萍,袁鹏群,马丽萍,张从昕.达芬奇手术机器人国际培训中心建设[J].解放军医院管理杂志,2017,24:1156-1158.
- [17] 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.
- [18] PATEL H R H, LINARES A, JOSEPH J V. Robotic and laparoscopic surgery: cost and training[J]. Surg Oncol, 2009, 18: 242-246.
- [19] ZHAO B Q, LAM J, HOLLANDSWORTH H M, LEE A M, LOPEZ N E, ABBADESSA B, et al. General surgery training in the era of robotic surgery: a qualitative analysis of perceptions from resident and attending surgeons[J]. Surg Endosc, 2020, 34: 1712-1721.
- [20] FINNEGAN K T, MERANEY A M, STAFF I, SHICHMAN S J. Da vinci skills simulator construct validation study: correlation of prior robotic experience with overall score and time score simulator performance[J]. Urology, 2012, 80: 330-336.
- [21] MCGUINNESS L A, PRASAD RAI B. Robotics in urology[J]. Ann R Coll Surg Engl, 2018, 100: 38-44.
- [22] 张超,过菲,王富博,叶宸,杨悦,王辉清,等.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[J].第二军医大学学报,2020,41:764-768.
ZHANG C, GUO F, WANG F B, YE C, YANG Y, WANG H Q, et al. Establishment of a training system for robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy based on virtual reality technology and segmented operation concept[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2020, 41: 764-768.
- [23] FUJIMURA T, MENON M, FUKUHARA H, KUME H, SUZUKI M, YAMADA Y, et al. Validation of an educational program balancing surgeon training and surgical quality control during robot-assisted radical prostatectomy[J]. Int J Urol, 2016, 23: 160-166.

[本文编辑] 魏莎莎