

编者按 随着互联网、人工智能、大数据和5G技术的快速发展,手术机器人正在加速向更加智能化、精准化和远程化的方向发展。手术机器人作为创新型智能医疗设备,外科医生在其辅助下可在人体腔道、血管、腔隙等狭小空间完成精细的手术操作,具有定位准确、创伤小、感染风险低和术后康复快等优点,目前已广泛应用于普外科、泌尿外科、胸外科、妇科、头颈外科、血管外科等各个领域。机器人手术在不同学科的开展,为机器人手术系统的进一步发展积累了宝贵的临床数据。

在机器人辅助下实施的不同手术,积累大量的患者数据,机器人手术系统通过人工智能算法逐渐对患者不同的手术部位产生认知能力,并不断总结手术方案,逐步建立智能半自主、自主的手术能力。相信随着技术的进步和手术机器人的不断学习,机器人手术将会更加广泛地应用于更多的学科。

总体来看,目前我国机器人手术的开展和应用处于初步阶段,仅有一些大城市的高等医院配有机器人手术系统,且应用范围小、体量小、价格昂贵。但从临床应用效果和微创化的需求来看,机器人手术将在不久的将来实现规模化。得益于机器人手术的远程化和智能化,或许在不久的将来,即便是偏远地区的患者也可以享受到机器人手术带来的获益,这必然有利于我国医疗资源的优化配置。

机器人辅助腹腔镜技术在泌尿外科的应用与展望

魏华, 王德林, 甘祥芝, 程洪林, 高飞, 王丹

(重庆医科大学附属第一医院泌尿外科 重庆 400016)

摘要 随着现代科学的发展,机器人辅助腹腔镜技术以其高清3D手术视野、灵活的机械臂、颤抖滤除、精准定位操作、创伤小、恢复快等优势在泌尿外科的运用已逐渐成熟,但也面临不良事件、医疗公平、价格昂贵及法律责任认定等问题。本文对机器人辅助腹腔镜技术在泌尿外科手术的安全性和优势进行阐述,并展望其未来发展前景,以期对机器人辅助系统在泌尿外科的应用提供借鉴。

关键词 机器人辅助手术; 泌尿外科; 微创外科

中图分类号 R608 R69 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2023)03-0177-09

收稿日期: 2022-02-28 录用日期: 2022-10-16

Received Date: 2022-02-28 Accepted Date: 2022-10-16

基金项目: 重庆市科技攻关项目基金(应用技术研发类)(cstc2012gg-yyjs0454)

Foundation Item: Chongqing Science and Technology Project Fund (Applied Technology Research and Development) (cstc2012gg-yyjs0454).

通讯作者: 王德林, Email: dlwangws@sina.com

Corresponding Author: WANG Delin, Email: dlwangws@sina.com

引用格式: 魏华, 王德林, 甘祥芝, 等. 机器人辅助腹腔镜技术在泌尿外科的应用与展望[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2023, 4(3): 177-185.

Citation: WEI H, WANG D L, GAN X Z, et al. Application and prospects of robot-assisted laparoscopic technology in urology[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2023, 4(3): 177-185.

Application and prospects of robot-assisted laparoscopic technology in urology

WEI Hua, WANG Delin, GAN Xiangzhi, CHENG Honglin, GAO Fei, WANG Dan

(Department of Urological Surgery, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

Abstract With the development of modern science, robot-assisted laparoscopic technology has been more and more widely applied in urologic surgery for its 3D high-definition surgical field, flexible mechanical arms, tremble filtering system, precise positioning, minimally invasive and quick recovery. However, it also faces problems such as adverse events, medical justice, high cost and liability determination. The safety and advantages of robot-assisted laparoscopic technology in urologic surgery were reviewed, and its future development was prospected in this paper, hoping to provide references for the application of robot-assisted surgical system in urology.

Key words Robot-assisted surgery; Urology; Minimally invasive surgery

无论是早期的经尿道内镜手术，还是 20 世纪 90 年代初期的腹腔镜手术，泌尿外科一直是微创外科（Minimally Invasive Surgery, MIS）技术应用的先驱。随着微创外科的发展，机器人辅助手术系统进入外科领域，以达芬奇手术机器人为代表的机器人手术系统在泌尿外科的应用具有里程碑式的意义。机器人辅助腹腔镜手术的可行性和优势，为微创外科带来质的飞跃，也代表了未来外科技术的发展方向。本文对达芬奇机器人手术系统在泌尿外科中的最新应用及展望进行综述。

1 机器人手术系统发展史

达芬奇手术系统（Da Vinci Surgical System, DVSS）（Intuitive Surgical Inc. Sunnyvale, CA）于 1999 年被首次推出，并在 2000 年获得美国食品和药物管理局（Food and Drug Administration, FDA）批准使用。目前，共有 AESOP、EndoAssist、Neuromate、Zeus 和 Da Vinci 五种机器人系统，均应用于外科手术领域。随着直觉

外科公司（Intuitive Surgical Inc.）收购 Zeus 机器人，DVSS 成为迄今世界上最为完备且先进的外科机器人手术系统，主导了近 20 年的机器人手术领域。达芬奇机器人手术系统包括 3 个组件：外科医生控制台、床旁机械臂系统和成像可视系统，其具有可放大 10~15 倍的高清 3D 立体手术视野、7 个自由度模拟并超越人类手腕活动范围的机械臂、颤抖滤除系统，以及更好的空间显露、更精细的定位操作和更精准的分离和缝合功能，克服了传统腹腔镜手术的局限，彻底改变了微创手术。尤其在有限空间操作复杂的手术中，达芬奇手术机器人系统智能化、人性化的操控可以有效降低手术难度、缩短学习曲线，减少围手术期并发症的发生。目前达芬奇手术机器人系统已成为大多数泌尿外科疾病的首选治疗方法^[1]。

随着达芬奇手术系统的完善，2014 年发布的第四代达芬奇机器人（Da Vinci Xi）已经配备了更轻便的机械臂、更灵活的关节（顺时针和逆时针方向的旋转角度可达 171°）、更长的仪

表轴，以及可以安装在任何手臂上的 8mm 数字终端摄像头，使得达芬奇手术机器人成为世界上应用最广泛、最成功的临床外科手术机器人^[2]。

2 机器人手术在泌尿外科中的应用

2.1 机器人手术在前列腺肿瘤的应用

前列腺癌（Prostate Cancer, PCa）是男性生殖系统最常见的恶性肿瘤。根据美国癌症协会 2022 年最新数据统计，前列腺癌在欧美国家的发病率已经超过肺癌，高居首位^[3]。随着我国人口老龄化、生活方式改变，前列腺癌的发病率也在逐年上升。前列腺特异抗原（Prostate-specific Antigen, PSA）筛查与前列腺穿刺活检技术的普及，使得早期前列腺癌的诊断率明显升高。根治性前列腺切除术（Radical Prostatectomy, RP）被推荐作为非转移性 PCa 的首选治疗方式。随着机器人手术系统在临床的推广应用，机器人辅助前列腺根治性切除术（Robot-assisted Radical Prostatectomy, RARP）已经逐渐取代开放手术和普通腹腔镜手术成为欧美国家 RP 的首选术式。而随着对前列腺癌的深入研究，高危前列腺癌也不再是 RARP 的禁忌证。基于 2016 年 SEER-Medicare 数据库的一项研究结果显示，当前超过 70% 的 RP 由机器人完成^[4]。目前 RARP 的手术方法主要包括前入路、后入路、侧入路、耻骨后入路（腹膜外），另外经膀胱入路、经会阴入路、经自然腔道入路等也作为新的手术入路被探索开展和运用^[5]。许多研究证明，RARP 在临床上安全有效。尽管在肿瘤控制方面未见显著差异，但与传统腹腔镜及开放手术相比，RARP 在临床输血率、术后住院时间、神经保存率、勃起功能障碍发生率、尿控恢复率等指标上更能让患者获益^[6-7]。更值得一提的是，RARP+ 扩大盆腔淋巴结清扫术能清除潜在的转移淋巴结，提供精

确的肿瘤病理分期，为患者确定 PCa 的病理分级及精准的术后辅助治疗方案提供依据^[8]。临床上有少部分 PCa 患者通过经尿道前列腺电切术（Transurethral Resection of the Prostate, TURP）术后病理检查确诊，由于 TURP 术中前列腺包膜穿孔伴血液和灌注液外渗可能导致前列腺周围组织纤维化和手术平面变形，RP 术中直肠损伤的发生率更高，保留神经血管束（Neurovascular Bundle, NVB）的机会减少，需要重建膀胱颈，从而延长膀胱尿道吻合时间，术后影响尿控的恢复和勃起功能，这些都对术者提出了新的挑战，而机器人辅助腹腔镜下前列腺癌根治术对 TURP 术后 PCa 患者具有独特优势^[9]。

2.2 机器人手术在膀胱肿瘤的应用

自 Menon M 等人于 2003 年采用达芬奇机器人辅助腹腔镜完成根治性全膀胱全切除术（Robot-assisted Radical Cystectomy, RARC）以来，机器人辅助手术系统也逐渐运用于膀胱肿瘤手术中^[10]。Cochrane 系统评价显示，RARC 与开放手术及传统腹腔镜手术的肿瘤控制效果相当，但 RARC 在术中出血、术后并发症（尤其是胃肠道反应）方面具有显著优势^[11-12]。Nguyen D P 等人^[13]通过卡普兰—迈尔（Kaplan-Meier）生存曲线分析，结果显示 RARC 术后的短期肿瘤学效果良好，对于 ≥ 80 岁肌层浸润性或高风险肌层非浸润性的膀胱肿瘤患者而言，RARC 是一个有效且安全的选择。

尿流改道是根治性膀胱切除术（Radical Cystectomy, RC）的重要环节，尿流改道方式直接影响到术后并发症的发生率和患者的生存质量。据文献报道，与体外尿流改道术（Extracorporeal Urinary Diversion, ECU D）相比，RARC 体内尿流改道术（Intracorporeal Urinary Diversion, ICUD）在手术时间、住院时间、阴

性切缘率和淋巴结切除数方面没有显著差异^[14]，但在手术安全性、术后并发症（尤其是胃肠道并发症）、术后恢复等方面表现出色，并且术后 90d 出现术后并发症的风险更低^[15-16]。但 Katayama S 等人^[17]的 Meta 分析结果显示，ICUD 和 ECUD 的整体和主要并发症未见差异，考虑与医生的学习曲线有关。膀胱根治性切除术主要包括膀胱切除阶段和泌尿重建阶段，而在泌尿重建阶段进行体内尿流改道在技术上更复杂、更具有挑战性。想要排除学习曲线的干扰，需要对手术医生进行至少 30 例手术的集中训练，在学习曲线变平之后，才能体现出 ICUD 的真正优势，这要求医院建立成熟的机器人手术团队。

2.3 机器人手术在肾肿瘤的应用

肾部分切除术（Partial Nephrectomy, PN）是针对 T_{1a} 期、肿瘤直径 <4cm 的肾占位性病变的标准治疗手段。已有文献表明，机器人辅助肾部分切除术（Robot-assisted Partial Nephrectomy, RAPN）与开放手术和传统腹腔镜手术相比，其热缺血时间更短、手术切缘阳性率低，并且无严重并发症发生^[18]，而且 RAPN 还有着更短的手术时间、更少的止血药物需求以及更短的术后恢复时间等优势^[19]。在手术路径方面，国内也创造性地总结出具有中国特色的腰腹联合入路，使得 RARN 更好地服务于临床^[20]。

腹腔镜根治性肾切除术（Laparoscopic Radical Nephrectomy, LRN）一直是肾肿瘤的首选术式。对普通肾癌来说，机器人辅助根治性肾切除术（Robot-assisted Radical Nephrectomy, RARN）与传统腹腔镜的适应证相同，但机器人手术系统在巨大肾肿瘤尤其是肾癌伴下腔静脉癌栓中的应用比腹腔镜更有优势。由于肾细胞癌向肾静脉延伸，并可侵犯至下腔静脉，4%~10% 的肾癌患者会出现下腔静脉癌栓。肾癌伴下腔

静脉癌栓的风险极高，术中对操作的灵活度和精确度、大血管的控制以及侧支代偿的要求非常高，围手术期死亡率达 8.3%~37.5%^[21]。机器人手术在 Mayo 静脉癌栓分级 0~IV 级肾癌患者中的成功应用，推动了下腔静脉癌栓手术领域的重要技术进步^[22]。研究表明，与开放癌栓手术相比，机器人癌栓手术具有手术时间更短、失血量更少、并发症更少、住院时间更短等优势，但二者肿瘤学效果无显著差异^[23]。

2.4 机器人手术在肾上腺肿瘤的应用

腹腔镜肾上腺肿瘤切除术（Laparoscopic Resection of Adrenalectomy, LRA）是治疗肾上腺肿瘤的主要方式。机器人辅助系统用于肾上腺切除安全可行，与开放手术和传统腹腔镜手术相比，机器人辅助腹腔镜肾上腺切除术（Robot-assisted Laparoscopic Adrenalectomy, RALRA）在手术时间、出血量、中转开腹率、术后恢复时间等方面具有一定优势，并且没有任何技术特异性并发症。Asher K P 等人^[25]的回顾性研究提出，RALRA 的手术时间有时会比传统腹腔镜更长，这与外科医生的学习曲线有关。有经验的腹腔镜外科医生需要约 20 例手术，才能将机器人辅助系统熟练运用于肾上腺手术。尤其对于巨大肾上腺肿瘤（≥8cm），RALRA 在手术时间、转为开放手术的比率及住院时间方面比 LRA 具有显著优势^[24-25]，但在术后长期随访，尤其是类固醇补充、复发方面的研究较为薄弱。

2.5 机器人手术在非泌尿系统肿瘤的应用

2.5.1 机器人手术在尿路重建术的应用

肾盂输尿管连接部梗阻（Ureteropelvic Junction Obstruction, UPJO）是泌尿系统常见的先天性发育异常。机器人手术系统为泌尿科复杂重建手术提供了新的手术方式。成人可以通过机器人辅助完成自体口腔颊黏膜移植输尿管成

形术^[26]，在小儿外科复杂的泌尿系统重建手术中，机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(Robot-assisted Laparoscopic Pyeloplasty, RALP)具有安全性好、有效性高、缝合时间短、复发率低、住院时间短及成本效益低等优点，已经成为小儿 UPJO 最常用的手术方式^[27]。

2.5.2 机器人手术在肾移植术的应用

对于无法在原位行保留肾单位手术(Nephron Sparing Surgery, NSS)却具有绝对保肾指征的肾癌患者，机器人辅助系统能进行更精确的血管吻合和输尿管再植，施行自体肾移植术将成为此类患者 NSS 的终极手段^[28]。从 2002 年世界首例达芬奇机器人参与肾移植手术^[29]，到 2010 年达芬奇机器人完全应用于一例过度肥胖患者的肾移植手术，使得原本是肾移植禁忌证(体重指数 BMI $\geq 35\text{kg/m}^2$)的肾移植患者，同样能够获益于机器人手术的小伤口、轻疼痛、低切口感染率、小瘢痕等优势^[30]。Doumerc N 等人^[31]于 2015 年使用亚历克西斯牵开器(Alexis Retractor)改进肾脏的插入方式，首次成功将移植肾经阴道纳入受体体内，大大降低了器官损伤和细菌污染，也保证了美观和舒适。Vigués F 等人^[32]于 2021 年也报道了全球首例机器人原位肾移植术的成功实施。机器人手术下的移植肾功能，以及对移植肾总生存期的意义还有待进一步证实，但机器人辅助下肾移植术本身的优势已经凸显，随着机器人技术逐渐成熟完善，机器人手术系统必将在肾移植领域有更广的应用。

3 存在的问题

3.1 患者不良事件

患者安全是临床工作的核心，应用机器人手术系统发生的不良事件可能会威胁患者安全。美国食品药品监督管理局利用其 MAUDE 数据库

对现有达芬奇机器人手术系统所产生的不良事件进行了分析，将其分为由设备故障引起的不良事件，造成患者死亡的不良事件，造成患者受伤的不良事件，以及其他和未明确不良事件^[33-34]。根据文献分析，由于达芬奇机器人手术系统装机率及使用频率逐年增加，各类不良事件的报道也逐渐增多，且以仪器或机器人故障为主(84.9%)，患者身体伤害(8.2%)、死亡最少见(1.3%)。在 2007—2017 年泌尿外科手术报道的 2977 个不良事件中，前列腺切除术最高(74.0%)，其次是膀胱切除术(17.2%)和部分肾切除术(8.3%)，根治性肾切除术最少(0.4%)^[35]。因此在机器人手术系统的安装和操作中，要增加对外科手术团队的培训，配备专业的仪器维护人员，降低设备的故障率，减少安全事故，并且要建立专门的机器人系统安全小组，健全不良事件安全评价体系，以减少可预见性不良事件的发生。

3.2 医疗公平与经济负担

2017 年，达芬奇机器人手术系统装机的医院向主要供应商支付了超过 30 亿美元，相当于每台机器人手术费用高达 3568 美元^[36]。鉴于我国医疗体系、医疗条件和经济发展水平，达芬奇机器人大部分都集中在经济发达、人口密集的大城市内的三级医院。截至 2019 年 12 月，我国 3.3 万家医院中仅有 115 家配有达芬奇手术机器人系统，配备率不到 0.4%，平均每千万人口配有 1 台机器人，远低于美国的水平(105 台/千万人口)^[37]。2021 年，中国每 1 亿人机器人手术可及数为 17 台，与美国的 1170 台差距巨大。地域和经济条件的差异使得大部分患者享受不到医疗技术进步带来的福利。由于知识产权的保护，国内达芬奇机器人的装机单价约为 2500 万元，而 1 年的设备维护和损耗成本约为 1000

万元,折算到每台机器人手术中,其费用为4~5万元,手术费用非常昂贵^[38],并且目前国内医保无法报销,使得患者经济负担加重,对患者公平就医提出新的挑战。调查显示,RARP手术费用至少比LRP高出3万多元^[39]。国家应加大宏观调控力度,增加新技术的政策倾斜与扶持,纳入市场竞争机制,加大自主知识产权的国产机器人开发与投入,降低手术费用,将新技术下沉到基层,优化医疗资源,实现医学的公平公正原则。

3.3 法律责任认定

手术机器人是基于算法、数据和技术方法的人工智能,是外科医生开展手术的辅助工具,手术机器人离不开手术医生的操作,但它又在自有的装置、系统等载体上有智能表现。当患者不良事件发生时,手术的主体是医师,医师的法律责任问题占机器人辅助手术法律问题的主导地位。但手术机器人是法律主体还是医疗产品,这一问题是加强医疗机器人相关立法的当务之急。因此,我国立法部门应建立医疗机器人监管机制,明确手术机器人是否具有“法律人格”,在肯定手术机器人带来效益的同时,鼓励人工智能系统的发展^[40]。

3.4 力反馈机制缺乏

主刀医生在主手端对手术器械末端缺少力和触觉的直观感知,难以避免会发生扯断缝线、夹伤组织或夹持力度不够导致组织脱落等问题。目前主要通过前期训练来满足手术过程中对夹持的要求,外科医生依靠个人经验来判断机械手指所处的夹持状态和组织器官的硬度。此外,还可以通过机械工程学、电子信息科学等学科的应用,在手术器械上额外加装力传感器和减少器械自由度等,以改进主手端难以感知夹持力大小的问题。多学科联合进行力反馈的相关

研究,能大大增加主刀医生的临场感,提高手术效率^[41-42]。

4 展望

4.1 机器人辅助单孔腹腔镜技术

机器人辅助单孔腹腔镜技术(Robot-assisted Laparoendoscopic Single-site Surgery, R-LESS)是微创手术领域的重大突破,它不但具有极好的精度和最小的侵入性,对手术周边组织损害小,还具有术后瘢痕小、术后恢复快、痛感低等优势。2008年首次在猪身上使用R-LESS成功完成肾脏手术后,Kaouk J H等人^[43]成功进行了人体前列腺切除、肾盂成形术和根治性肾切除术。我国于2014年开始此类手术,至今已经逐渐与国外同步^[44],并且逐步向小儿外科深入^[45]。R-LESS作为一种新兴手术方式在泌尿外科应用前景广大。然而,因为所使用的机器人系统并非专门为R-LESS设计,会面临术中腹内三角定位丢失、仪器碰撞和助理工作空间有限等问题,因此促使了达芬奇SP系统的诞生。

4.2 达芬奇单端口手术系统

2018年直觉外科公司发布了达芬奇单端口手术系统(Da Vinci Single-Port),并获FDA批准用于泌尿外科手术,这是第一个向市场发布的单部位专用手术系统^[46]。达芬奇单端口手术系统将第1台全腕式3D高清摄像机和3个独立的多关节腕式仪器放进同一个25mm端口,其完全的手腕运动功能具有出色的活动范围,能够在复杂、狭窄的深部腔道进行手术。由于SP系统使用与现有达芬奇系统相同的外科医生控制台,这可以使外科医生能够快速、轻松地过渡到最新的机器人技术,并且解决了前面提到的三角定位消失、牵引不足等问题。目前,达芬奇单端口手术系统已经应用于泌尿系统常规手

术，尤其是泌尿系统重建手术^[47]，达芬奇单端口手术系统在行复杂的尿路重建手术方面，具有远大的应用前景。

4.3 机器人手术系统融合新技术

随着现代科技的飞速发展，全息影像技术已成功应用于机器人辅助腹腔镜泌尿系统手术^[48]，其具有三维立体、全角度旋转、自由缩放和调节透明度、多色标识组织结构等特点，在术前和术中都能高效辅助临床诊断及治疗，从而提高手术精准度，保障手术安全。同样，依靠计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）提供数据，并采用叠加成型的3D打印技术也已用于RARP的诊疗、尿路重建及组织功能修复等^[49-50]，科技的进步与发展，必定使达芬奇机器人手术系统在泌尿手术领域中拥有更广阔的应用前景。

5 结语

目前，除达芬奇手术系统外，国外临床在用在研的还有Senhance、Revo-I、Versius、Avatera、Hinotori等机器人手术系统。在我国，机器人手术系统的国产化也正在蓬勃发展。2021年3月9日，中国首个具有完全自主知识产权、真正意义上的纯单孔腹腔镜手术机器人“术锐”完成了首例前列腺癌根治术，这标志着国产手术机器人打破了美国达芬奇SP单孔腹腔镜手术机器人的垄断地位^[51]。“康多”内窥镜手术机器人已熟练运用于肾部分切除术^[52]，以“妙手”为代表的国产手术机器人已经依托5G网络实现远程手术^[53]，“精锋”手术机器人MP系统已经完成临床注册试验。据相关数据预测，中国手术机器人市场将由2020年的4亿美元增加至2026年的38亿美元。国产手术机器人的不断创新、改良和完善，必将降低机器人手术的技术门槛、使更加亲民化，也将会像传统腹腔镜手术一样普及^[54]。

参考文献

- [1] Koukourikis P, Rha K H. Robotic surgical systems in urology: what is currently available?[J]. *Investig Clin Urol*, 2021, 62(1): 14-22.
- [2] Kim D H, Kim H, Kwak S, et al. The settings, pros and cons of the new surgical robot da Vinci Xi system for transoral robotic surgery (TORS): a comparison with the popular da Vinci Si system[J]. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 2016, 26(5): 391-396.
- [3] Siegel R L, Miller K D, Fuchs H E, et al. Cancer Statistics, 2021[J]. *CA: A Cancer J Clin*, 2021, 71(1): 7-33.
- [4] Hu J C, O'Malley P, Chughtai B, et al. Comparative effectiveness of cancer control and survival after robot-assisted versus open radical prostatectomy[J]. *J Urol*, 2017, 197(1): 115-121.
- [5] 王共先, 刘伟鹏, 周晓晨. 前列腺癌根治术入路的选择[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2018, 33(6): 423-427.
- [6] Novara G, Ficarra V, Rosen R C, et al. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy[J]. *Eur Urol*, 2012, 62(3): 431-452.
- [7] 张驰宇. 机器人辅助前列腺癌根治术与腹腔镜下前列腺癌根治术疗效比较的荟萃分析[D]. 南昌大学, 2021.
- [8] 王亚楠, 肖俊, 熊泽众, 等. 机器人辅助腹腔镜下前列腺癌根治术加扩大盆腔淋巴结清扫术治疗局部进展期前列腺癌的回溯性临床分析[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2021, 36(11): 847-850+855.
- [9] HUNG C F, YANG C K, OU Y C. Robotic assisted laparoscopic radical prostatectomy following transurethral resection of the prostate: perioperative, oncologic and functional outcomes[J]. *Prostate Int*, 2014, 2(2): 82-89.
- [10] Novara G, Catto J W, Wilson T, et al. Systematic review and cumulative analysis of perioperative outcomes and complications after robot assisted radical cystectomy[J]. *Eur Urol*, 2015, 67(3): 376-401.
- [11] Satkunasivam R, Tallman C T, Taylor J M, et al. Robot-assisted radical cystectomy versus open radical cystectomy: a meta-analysis of oncologic, perioperative,

- and complication-related outcomes[J]. *Eur Urol Oncol*, 2019, 2(4): 443–447.
- [12] Kunath F. Robotic versus open radical cystectomy for adults with bladder cancer[J]. *Der Urologe*, 2020, 59(5): 595–599.
- [13] Nguyen D P, Al Hussein Al Awamlh B, Charles Osterberg E, et al. Postoperative complications and short-term oncological outcomes of patients aged ≥ 80 years undergoing robot-assisted radical cystectomy[J]. *World J Urol*, 2015, 33(9): 1315–1321.
- [14] Lenfant L, Verhoest G, Campi R, et al. Perioperative outcomes and complications of intracorporeal vs extracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy for bladder cancer: a real-life, multi-institutional french study[J]. *World J Urol*, 2018, 36(11): 1711–1718.
- [15] Ahmed K, Khan S A, Hayn M H, et al. Analysis of intracorporeal compared with extracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy: results from the International Robotic Cystectomy Consortium[J]. *Eur Urol*, 2014, 65(2): 340–347.
- [16] CAI Z Y, LI H H, HU J, et al. Intracorporeal versus extracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy: a pooled analysis[J]. *Gland Sur*, 2021, 10(2): 706–720.
- [17] Katayama S, Mori K, Pradere B, et al. Intracorporeal versus extracorporeal urinary diversion in robot-assisted radical cystectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Clin Oncol*, 2021, 26(9): 1587–1599.
- [18] Luciani L G, Chiodini S, Mattevi D, et al. Robotic-assisted partial nephrectomy provides better operative outcomes as compared to the laparoscopic and open approaches: results from a prospective cohort study[J]. *J Robot Sur*, 2017, 11(3): 333–339.
- [19] Masson-Lecomte A, Bensalah K, Seringe E, et al. A prospective comparison of surgical and pathological outcomes obtained after robot-assisted or pure laparoscopic partial nephrectomy in moderate to complex renal tumours: results from a French multicentre collaborative study[J]. *BJU Int*, 2013, 111(2): 256–263.
- [20] 陈晶, 梁朝朝, 周骏, 等. 达芬奇机器人辅助腹腔镜泌尿外科手术 500 例回顾性分析 [J]. *微创泌尿外科杂志*, 2018, 7(2): 77–82.
- [21] Shuch B, Crispen P L, Leibovich B C, et al. Cardiopulmonary bypass and renal cell carcinoma with level IV tumour thrombus: can deep hypothermic circulatory arrest limit perioperative mortality?[J]. *BJU Int*, 2011, 107(5): 724–728.
- [22] WANG B J, HUANG Q B, 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.
- [23] GU L Y, MA X, GAO Y, et al. Robotic versus open level I–II inferior vena cava thrombectomy: a matched group comparative analysis[J]. *J Urol*, 2017, 198(6): 1241–1246.
- [24] Materazzi G, Rossi L. Robot-assisted adrenalectomy: state of the art[J]. *Updates Surg*, 2021, 73(3): 1131–1146.
- [25] Asher K P, Gupta G N, Boris R S, et al. Robot-assisted laparoscopic partial adrenalectomy for pheochromocytoma: the National Cancer Institute technique[J]. *Eur Urol*, 2011, 60(1): 118–124.
- [26] 沈天一, 汤昊, 张征宇, 等. 机器人下自体口腔颊黏膜移植治疗输尿管长段狭窄 4 例报告 [J]. *微创泌尿外科杂志*, 2021, 10(4): 217–220.
- [27] Reddy M N, Nerli R B. The laparoscopic pyeloplasty: is there a role in the age of robotics? [J]. *Urol Clin North Am*, 2015, 42(1): 43–52.
- [28] 范阳, 董隽, 祖强, 等. 机器人患肾切取、工作台手术联合机器人自体肾移植术在复杂肾肿瘤保留肾单位手术中的应用 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2019, 40(5): 340–345.
- [29] Hoznek A, Zaki S K, Samadi D B, et al. Robotic assisted kidney transplantation: an initial experience[J]. *J Urol*, 2002, 167(4): 1604–1606.
- [30] Doumerc N, Roumiguie M, Beauval J B, et al. Robotic kidney transplantation for morbidly obese patients excluded from traditional transplantation[J]. *Obes Surg*, 2017, 27(4): 1056–1057.
- [31] Doumerc N, Roumiguie M, Rischmann P, et al. Totally robotic approach with transvaginal insertion for kidney transplantation[J]. *Eur Urol*, 2015, 68(6): 1103–1104.

- [32] Vigués F, Bonet X, Etcheverry B, et al. Orthotopic robot-assisted kidney transplantation: first case report[J]. *World J Urol*, 2021, 39(7): 2811–2813.
- [33] U.S. Food and Drug Administration (2011) MAUDE-Manufacturer and User Facility Device Experience Database[EB/OL]. <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfmaude/search.cfm>. Accessed 1 Jan 2019.
- [34] Alemzadeh H, Raman J, Leveson N, Kalbarczyk Z, Iyer R K. Adverse events in robotic surgery: a retrospective study of 14 years of FDA Data[J]. *PLoS One*, 2016, 20, 11(4): e0151470.
- [35] Nik-Ahd F, Souders CP, Houman J, et al. Robotic urologic surgery: trends in Food and Drug Administration-reported adverse events over the last decade[J]. *J Endourol*, 2019, 33(8): 649–654.
- [36] Childers C P, Maggard-Gibbons M. Estimation of the acquisition and operating costs for robotic surgery[J]. *JAMA*, 2018, 320(8): 835–836.
- [37] 王林辉. 机器人辅助腹腔镜技术在泌尿外科的临床应用：中国 15 年数据分析 [J]. *第二军医大学学报*, 2020, 41(7): 697–700.
- [38] 张旭, 范阳. 机器人手术在泌尿外科的应用现状与未来发展 [J]. *加速康复外科杂志*, 2021, 4(2): 49–54.
- [39] 李恒爱, 卢建军, 熊莺. 不同术式治疗前列腺癌的住院费用分析 [J]. *中国病案*, 2016, 17(10): 58–60.
- [40] 刘珍竹, 王建伯, 王雪剑. 达芬奇机器人手术在泌尿外科应用中的伦理问题及对策 [J]. *医学与哲学*, 2021, 42(13): 24–27+31.
- [41] 王涛. 微创手术机器人力反馈主手系统研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2020.
- [42] 毛德强. 微创手术机器人从手夹持力反馈研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [43] Kaouk J H, Goel R K, Haber G P, et al. Robotic single-port transumbilical surgery in humans: initial report[J]. *BJU Int*, 2009, 103(3): 366–369.
- [44] 吴震杰, 孙颖浩. 泌尿外科机器人辅助单孔腹腔镜手术应用现状和展望 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2014, 35(12): 945–948.
- [45] 刘一帆, 高贺云, 张文, 等. 机器人辅助单孔腹腔镜下小婴儿肾盂成形术一例：国内首例报道 [J]. *机器人外科学杂志 (中英文)*, 2022, 3(2): 140–148.
- [46] Intuitive Surgical I. Intuitive Surgical Announces Innovative Single Port Platform—the da Vinci SP® Surgical System. Intuitive Surgical [Internet] 2018 [cited 2019 Sep 1]. Available online: <http://investor.intuitivesurgical.com/news-releases/news-release-details/intuitive-surgical-announces-innovative-single-port-platform-da>
- [47] Billah M S, Stifelman M, Munver R, et al. Single port robotic assisted reconstructive urologic surgery-with the da Vinci SP surgical system[J]. *Transl Androl Uro*, 2020, 9(2): 870–878.
- [48] 朱刚, 邢金春, 翁国斌, 等. 全息影像术中导航在泌尿外科腹腔镜和机器人手术中的应用价值 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(2): 131–137.
- [49] 冯家乐, 程继文. 3D 打印技术在前列腺癌诊疗中的研究进展 [J]. *中国肿瘤外科杂志*, 2021, 13(2): 206–208.
- [50] JIN Y P, SHI C, WU Y Y, et al. Encapsulated three-dimensional bioprinted structure seeded with urothelial cells: a new construction technique for tissue-engineered urinary tract patch[J]. *Chin Med J*, 2020, 133(4): 424–434.
- [51] 张强. 打造中国的“达芬奇” 国产单孔手术机器人把手术变“艺术” [N]. *科技日报*, 2021–03–17(8).
- [52] 李学松, 樊书波, 熊盛炜, 等. 国产内窥镜手术机器人系统在肾部分切除术中的初步临床应用 [J]. *中华泌尿外科杂志*, 2021, 42(5): 375–380.
- [53] 王延斌. 国产手术机器人“妙手”回春 [N]. *科技日报*, 2021–10–08(8).
- [54] 马爱平. 国产手术机器人冲击“达芬奇”垄断地位 [N]. *科技日报*, 2021–10–13(8).