

编者按 近年来,国家大力鼓励、支持人工智能的发展,人工智能技术已广泛普及。在医学领域,机器人手术系统是人工智能与传统外科治疗手段完美结合的产物。2007年10月,解放军总医院泌尿外科完成了中国大陆地区首例机器人手术。随着机器人手术系统在中国泌尿外科广泛普及,其手术适应证更加广泛,越来越多的泌尿外科医生在临床中应用机器人手术系统,并积累了丰富的实践经验。

早于2016年1月甘肃省人民医院安装“甘青宁新”地区首台达芬奇机器人外科手术系统,并开展了全院第一台前列腺癌根治术,目前已积累了大量的临床经验。鉴于此,甘肃省人民医院泌尿外科周逢海主任牵头组织了本期专栏,从机器人单孔腹腔镜手术在泌尿外科的现状与展望、机器人辅助腹腔镜前列腺癌根治术联合新辅助内分泌治疗前列腺癌的临床研究、机器人辅助腹腔镜前列腺癌根治术后性功能恢复的研究进展、快速康复理念在机器人辅助膀胱癌根治术中的应用进展等方面深入探讨了手术机器人系统在泌尿外科的应用现状及临床研究进展。机器人手术系统作为腹腔镜器械的进化产物,在泌尿外科手术中具有诸多优势。它实现了机器人辅助下膀胱癌根治术、前列腺癌根治术、肾癌根治术、肾脏部分切除术、肾盂成形术等复杂外科手术的精准化治疗。

随着人工智能技术的进步、医工融合技术的发展,相信在不久的将来,机器人手术技术的发展将会超越现有的微创外科学技术,为患者提供更精准、更微创、更简便的治疗,促进泌尿外科医学事业的发展。同时,本刊为广大同仁提供一个专业、严谨、开放的学术讨论平台,欢迎广大专家、学者不吝赐稿。

机器人单孔腹腔镜手术在泌尿外科的发展现状及展望

周逢海¹, 王星^{1,2}

(1. 甘肃省人民医院泌尿外科 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃中医药大学第一临床医学院 甘肃 兰州 730000)

摘要 随着微创观念在外科手术中的进一步深入,医生和患者都期待无瘢痕手术的实现。如今,机器人单孔腹腔镜(Robotic laparoendoscopic single-site, R-LESS)手术无疑是最接近此目标的方法之一,其不仅具有单孔腹腔镜手术微创、美观、少痛、恢复快等优点,同时具有机器人独有的3D手术视野、术者震颤消除等优点。单孔腹腔镜和机器人手术系统结合而生的R-LESS使得微创手术向前迈进了一大步。本综述以R-LESS的发展历史为切入点,总结国内外发展现状,分析其优势与不足,并对未来进行展望,旨在促进R-LESS在泌尿外科领域的发展。

关键词 单孔腹腔镜; 机器人手术; 微创; 泌尿外科

中图分类号 R608 R699 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2022)03-0165-06

收稿日期: 2021-03-18 录用日期: 2021-10-02

Received Date: 2021-03-18 Accepted Date: 2021-10-02

基金项目: 甘肃省重点研发计划(21YF5FA016)

Foundation Item: Key Research and Development Program of Gansu Province (21YF5FA016)

通讯作者: 周逢海, Email: zhoufengh@163.com

Corresponding Author: ZHOU Fenghai, Email: zhoufengh@163.com

引用格式: 周逢海, 王星. 机器人单孔腹腔镜手术在泌尿外科的发展现状及展望[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(3): 165-170.

Citation: ZHOU F H, WANG X. Current status and prospects of robotic laparoscopic single-site surgery in urology[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2022, 3(3):165-170.

Current status and prospects of robotic laparoscopic single-site surgery in urology

ZHOU Fenghai¹, WANG Xing^{1,2}

(1. Department of Urology, Gansu Provincial People's Hospital, Lanzhou 730000, China; 2. The First Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

Abstract With the further deepening of the concept of minimally invasive surgery, both doctors and patients look forward to the realization of scarless surgery. Nowadays, robotic laparoendoscopic single-site (R-LESS) is undoubtedly one of the methods closest to this goal. It has the advantages of single-port laparoscopic surgery, which is minimally invasive, aesthetic, less painful, and quick to recover. Meanwhile, it has 3D surgical field of vision and tremor filtering system. By combining single port laparoscopic and robotic surgery system, R-LESS makes minimally invasive surgery a big step forward. This article presents the development history of R-LESS as an entry point, summarizes the current status of R-LESS at home and abroad, analyzes its advantages and disadvantages, and looks forward to its future, aiming to promote the development of R-LESS in urology.

Key words Single port laparoscope; Robotic surgery; Minimally invasive; Urinary surgery

机器人单孔腹腔镜 (Robotic laparoendoscopic single-site, R-LESS) 已经在国内外泌尿外科领域成功开展, 但它仍然是一项新型的微创技术, 尤其是第 5 代 Da Vinci SP[®] 系统的开发与应用, 使得单孔腹腔镜技术在泌尿外科领域的应用踏上一个新的台阶。相信随着设备的进步和技术经验的积累, 单孔机器人手术的适应证将会越来越多, 在泌尿外科中的应用将会越来越广泛。本综述以 R-LESS 的发展历史为切入点, 总结其国内外发展现状、不足与成因, 并对未来 R-LESS 手术进行展望。

1 机器人单孔腹腔镜手术的发展

1.1 机器人单孔腹腔镜手术的发展历程

自 20 世纪以来, 随着微创内镜技术的迅猛发展, 腹腔镜手术逐渐取代了开腹手术。而由于患者对术后瘢痕的严格要求, 单孔腹腔镜手术又

代替了部分开腹手术。1969 年, Wheelless C R^[1] 最早将单孔腹腔镜手术用于妇科疾病中。1991 年, Clayman R V 等^[2] 将此技术应用于泌尿外科, 成功实施了单孔腹腔镜肾切除术, 并取得了满意的疗效。2000 年, 达芬奇手术机器人通过美国食品药品监督管理局 (FDA) 认证并应用于临床, 自此外科手术进入机器人时代。该手术系统独有的 3D 手术视野、术者震颤消除等优点被外科医生接纳, 于是有学者试想能否将达芬奇机器人与单孔腹腔镜结合后实施微创手术。2009 年, Escobar P F 等^[3] 将 R-LESS 技术应用于妇产科, 该技术发挥机器人系统稳定性与灵活性的同时, 单孔的选择也极大地减少了术后瘢痕的产生。自此以后, 有多位临床专家探索此技术在泌尿外科中的应用。2017 年, 吴震杰等^[4] 利用 R-LESS 技术成功实施了肾上腺肿瘤切除术。2019 年, 姜帅等^[5] 又实施了前列腺根治性切除术, 并取得成功, 自

此R-LESS技术已经成熟地应用于泌尿外科。如今，单孔设计、更小巧的柔性操作手臂、切口更小、操控性更强的第五代达芬奇机器人和其拥有的SP系统在泌尿外科手术中表现出极大的优越性^[6]。

1.2 机器人单孔腹腔镜手术的原理

与临床上常用的多孔机器人手术系统类似，单孔机器人手术平台由操作控制台、机械臂及成像系统三大部分组成。①操作控制台：术者可在手术室无菌区范围之外的主控制台上操作两个主控制器，并通过脚踏板实施手术。②床旁机械臂系统：主要起支撑作用，其有利于助手在一旁及时更换手术器械，协助术者完成手术操作；另外，机械臂拥有比人手更高的灵活性，在狭小的解剖区域中可进行更加灵活、细致的操作^[7]；床旁机械臂系统还具有消除震动和动作定位作用，可减少术者手臂的不稳定性^[8]。③视频处理成像系统：视频处理成像系统能够放大数倍的手术视野，并以三维立体的影像呈现给术者，有助于提高治疗的精确性。与多孔机器人手术平台不同的是，单孔手术平台只需开一个孔，仅用一个单臂将三种操作器械和内窥镜头通过套管送入腹腔进行手术^[9-10]，可减少对患者的创伤。

2 机器人单孔腹腔镜在泌尿外科的应用现状

国内外达芬奇 R-LESS 手术系统已广泛应用于泌尿外科的各类手术，如前列腺癌根治性切除术^[11]、根治性膀胱切除术^[12]、肾脏及肾上腺病变等^[4, 13]，其中应用最广泛的是前列腺癌根治性切除术^[11, 14]。

2.1 在前列腺癌根治性切除术中的应用

Moschovas M C 等^[15]的一项初步研究从多方面评估了 R-LESS 在前列腺癌根治术中的安全性

及可行性。在此项研究中，研究者前瞻性收集机器人单孔腹腔镜前列腺癌根治术 50 例患者的资料，在术后进行早期功能和肿瘤结局的随访，结果显示中位手术时间为 118min，中位失血量约为 50ml，无 1 例患者出现并发症或输血，总体手术阳性率为 14%，且共有 39 例患者在术后 21d 达到完全排尿。由此可见，机器人单孔手术在技术上是安全、可行的，具有可接受的早期功能和肿瘤学结果，初步体现了单孔机器人平台的潜在技术优势。

另一项机器人辅助下腹腔镜多孔术式与单孔术式前列腺根治术的对比研究中^[16]，在经过倾向评分匹配后，分别选择使用单孔术式和多孔术式治疗 71 例患者，并进行足够时间的随访。虽然单孔组中位总手术时间看起来更高，但单孔组失血量 >100ml 的患者比例显著降低；两组患者均无术中或术后并发症，且术后两组患者间在 6h、12h、18h 时的疼痛评分或手术切缘阳性率差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。随访期间，单孔组和多孔组在术后 45d 的尿失禁率差异为 11%，无患者发生复发。由此得出结论：尽管两种方法中机器人控制台之间的套管针放置和技术有所不同，但与多孔组相比，单孔组的术中表现令人满意。相似的对比研究中还发现，与传统的机器人手术相比，使用单端口机器人平台进行的局限性前列腺癌手术治疗可缩短住院时间，减轻疼痛，并可减少阿片类药物的使用，且不会增加发病率^[17]。同时有文献显示，单孔机器人手术系统不同于传统多孔操作平台，需要术者进一步加强学习以使手术更加安全^[18]。综上所述，应用 R-LESS 行前列腺根治性切除术是安全、可行的，可在具备条件的医院开展，且单孔机器人在术中出血量、手术时间等方面具有一定优势，术后瘢痕产生少，能达到“美容”要求，唯一不足的是需要术者进行一定时间的学习。

2.2 在肾部分切除术中的应用

为了改善手术的美容效果，术者越来越多地选择机器人单孔腹腔镜内镜局部肾切除术。2014年，Mathieu R等^[19]报道使用R-LESS手术平台进行腹腔镜根治性肾切除术，该研究通过收集患者特征、手术指征、术中和术后资料后进行分析，结果表明中位操作、对接和控制台时间的中位数分别为179min、19min和129min，失血量中位数为100ml。在此过程中，未发现与机器人手术系统相关的重大问题，无术中或术后重大并发症，住院时间中位数为3d。由此证明，应用R-LESS平台进行肾切除术可以获得满意的手术疗效，同时可减少术后瘢痕的产生。

机器人辅助单孔腹腔镜肾切除术是在可接受的手术时间长度内进行的可行手术，可以带来理想的美容效果，并减少患者术后疼痛。然而也有相似的研究表明，对于部分患者而言，机器人辅助单孔腹腔镜肾切除术不如常规方法，尤其是在缺血时间方面。目前，机器人辅助单孔腹腔镜肾切除术可能适用于肿瘤较小和复杂性较低的患者，并不应该在所有情况下常规使用^[20]。Komninos C等^[21]回顾性分析常规腹腔镜、R-LESS和多孔腹腔镜肾部分切除术之间的治疗效果，多孔组治疗89例患者，单孔组治疗78例患者。单孔组患者平均手术时间更长，且肾小球滤过率百分比增加，而两组患者在住院天数、失血量、手术切缘阳性和手术并发症方面，差异无统计学意义($P>0.05$)。因此，当使用机器人平台时，单孔术式不应常规应用于所有肾脏病变的患者。综上所述，尽管未来出现的新手术机器人系统会使得单孔手术更容易用于常规肾部分切除，但是目前对于肿瘤体积较小、复杂度低、没有肾窦或收集系统受累的患者，单孔术式仅仅为一种有用的替代方法。

2.3 在其他泌尿外科手术中的应用

R-LESS手术还广泛应用于其他方面。有研究机构分享了使用第4代达芬奇机器人单孔外科手术系统行单纯输尿管单侧机器人辅助肾盂成形术治疗输尿管盆腔连接梗阻(Ureteropelvic junction obstruction, UPJO)的初步经验，3例被诊断为UPJO的患者在单孔手术系统辅助下行此手术，且手术过程顺利，总手术时间分别为139min、180min和213min，术中无并发症发生，且失血量极少；所有患者术后状态均平稳，无并发症发生，表明在肾盂成形术中使用单孔术式是安全、可行的^[22-23]。2012年White M A^[24]首先报道了行R-LESS下根治性膀胱切除术的初步经验，证明了该术式在膀胱切除术中的可行性和安全性。时佳子等^[12]回顾性分析同一术者完成的9例机器人辅助单孔腹腔镜下根治性膀胱切除术，患者均采用经脐单一切口(4.5~5.5cm)建立单孔机器人操作通道，安装机器人手术系统1号臂、2号臂，采用镜头向上30°，在镜下依次行全膀胱切除、盆腔淋巴结清扫，所有患者切口均愈合良好，无肾积水和输尿管狭窄，无肿瘤复发或转移。结果显示：对于有经验的术者，R-LESS下根治性膀胱切除术切口小、恢复快，短期肿瘤控制效果满意，无严重并发症发生，手术安全、可行；同时它以真正的单端口方式进行手术，不需要额外的辅助端口；如果需要吸引，也可以在不增加切口或扩大切口的情況下完成。

3 机器人单孔腹腔镜手术的优势与局限

3.1 手术优势

R-LESS手术将多孔操作汇聚于一孔，创伤更小，单孔通道的建立和机械臂装机更加快捷，

不需要使用其他臂，此降低了手术成本。除此之外，其还具有其他优势：①具备普通单孔腹腔镜手术的优点，包括减少术后疼痛、减少神经损伤的风险、改善美容效果、提高患者满意度、缩短住院时间等；②可借助机器人系统清晰的三维视野弥补深度感的缺失，精准地进行组织定位和器械操作；③可以借助稳定的机械臂及弯曲 Trocar 重建手术三角，更好地解决单孔手术中器械间的冲突问题（即筷子效应）^[25]，使得手术操作更加灵活，有助于完成人手无法触及的狭小空间内的精细操作；④达芬奇单孔机器人所具有的内腕功能的持针器，使单孔下的缝合变得更容易；⑤术者术中采取坐姿有利于开展时间长、操作复杂精细的手术，在一定程度上减轻了疲劳感。

3.2 手术局限性

单孔机器人手术虽然有较多优势，但仍然有一定的局限性^[26]，主要表现在：①用于各科的机器人单孔手术系统存在外部机器体积过大的情况，体外部分器械难免发生拥挤、碰撞；②尽管拥有 3D 视野，但是触觉反馈体系的缺乏是无法避免的问题；③由于开孔部位仅有一个，通过单孔进入的手术器械的移动范围明显有限，若遇切除范围较大的手术时需再次打孔，甚至不得不转为开刀手术；④单孔机器人手术操作平台复杂，发生故障的概率大于普通内镜手术系统；⑤单孔机器人设备成本及维护费用均高，加之高昂的手术费用，可以影响其推广使用；⑥该项技术的学习曲线较长^[27]，国内使用达芬奇机器人单孔手术平台的医院较少，故而该技术尚处于起步阶段。

4 小结与展望

近几年，机器人单孔技术在泌尿外科领域快速发展，尤其是国外第 5 代 Da Vinci SP[®] 系统的开发给单孔技术带来了新的方向，但该系统

尚未在国内注册，相比较而言，国内单孔技术稍落后于国外。再者，目前存在的单孔平台还存在客观的局限性（如价格、渠道等），此限制了其广泛应用。2021 年 3 月 9 日，我国第一台自主知识产权的单孔机器人正式应用于临床，随着我国制造业的进一步发展完善，相信未来会有与国外达芬奇机器人单孔手术系统相媲美甚至更优的机器人单孔手术平台的诞生，进而推动泌尿外科微创手术再上新台阶。

参考文献

- [1] Wheelless C R. A rapid inexpensive and effective method of surgical sterilization by laparoscopy[J]. *Reprod Med*, 1969, 3(5): 65-69.
- [2] Clayman R V, Kavoussi L R, Figenshau R S, et al. Laparoscopic nephroureterectomy: initial clinical case report[J]. *J Laparoendosc Surg*, 1991, 1(6): 343-349.
- [3] Escobar P F, Fader A N, Paraiso M F, et al. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site surgery in gynecology: initial report and technique[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2009, 16(5): 589-591.
- [4] 吴震杰, 王坚超, 王杰, 等. 机器人单孔腹腔镜肾上腺肿瘤切除术初步临床应用报告 [J]. *临床泌尿外科杂志*, 2017, 32(6): 437-439, 443.
- [5] 姜帅, 许培榕, 姚家喜, 等. 耻骨上经膀胱单孔机器人前列腺癌根治术的初步尝试 [J]. *中国临床医学*, 2019, 26(2): 215-217.
- [6] Kaouk J H, Bertolo R. Single-site robotic platform in clinical practice: first cases in the USA[J]. *Minerva Urol Nefrol*, 2019, 71(3): 294-298.
- [7] Ahmad N Z, Naqvi S, Sagias F, et al. Portsmouth TABLE Rotation Robotic technique for pan proctocolectomy using Da Vinci Si robotic system; P-STARR technique[J]. *Tech Coloproctol*, 2018, 22(6): 449-452.
- [8] Hagen M E, Stein H, Curet M J. Introduction to the robotic system[J]. *RGS*, 2014, 2(2): 9-15.
- [9] Alkatout I, Mettler L, Maass N, et al. Robotic surgery in gynecology[J]. *J Turk Ger Gynecol Assoc*, 2016, 17(4): 224-232.

- [10] Dobbs R W, Halgrimson W R, Madueke I, et al. Single-port robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: initial experience and technique with the da Vinci[®] SP platform[J]. *BJU Int*, 2019, 124(6): 1022–1027.
- [11] Lai A, Dobbs R W, Talamini S, et al. Single port robotic radical prostatectomy: a systematic review[J]. *Translational Andrology and Urology*, 2020, 9(2): 898–905.
- [12] 时佳子, 王志军, 据官群, 等. 机器人单孔腹腔镜根治性膀胱切除术的初步疗效分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(11): 811–814.
- [13] 吴震杰, 刘冰, 王坚超, 等. 机器人单孔腹腔镜下零缺血肾部分切除术的初步应用经验[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2017, 38(7): 498–501.
- [14] Mattevi D, Luciani L G, Vattovani V, et al. First case of robotic, laparoendoscopic single-site radical prostatectomy with single-site VesPa platform[J]. *Journal of Robotic Surgery*, 2018, 12(2): 381–385.
- [15] Moschovas M C, Bhat S, Onol F, et al. Early outcomes of single-port robot-assisted radical prostatectomy: lessons learned from the learning-curve experience[J]. *BJU Int*, 2021, 127(1): 114–121.
- [16] Moschovas M C, Bhat S, Onol F, et al. Comparing the approach to radical prostatectomy using the multiport da Vinci Xi and da Vinci SP robots: a propensity score analysis of perioperative outcomes[J]. *Eur Urol*, 2021, 79(3): 393–404.
- [17] Lenfant L, Sawczyn G, Aminsharifi A, et al. Pure single-site robot-assisted radical prostatectomy using single-port versus multiport robotic radical prostatectomy: a single-institution comparative study[J]. *Eur Urol Focus*, 2020. DOI: 10.1016/j.euf.2020.10.006.
- [18] Francavilla S, Veccia A, Dobbs R W, et al. Radical prostatectomy technique in the robotic evolution: from da Vinci standard to single port-a single surgeon pathway[J]. *J Robot Surg*, 2021. DOI: 10.1007/s11701-021-01194-8.
- [19] Mathieu R, Verhoest G, Vincendeau S, et al. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site radical nephrectomy: first experience with the novel Da Vinci single-site platform[J]. *World J Urol*, 2014, 32(1): 273–276.
- [20] Komninos C, Tuliao P, Rha K H. Current status of robotic laparoendoscopic single-site partial nephrectomy[J]. *Int J Urol*, 2014, 21(10): 954–959.
- [21] Komninos C, Shin T Y, Tuliao P, et al. R-LESS partial nephrectomy trifecta outcome is inferior to multiport robotic partial nephrectomy: comparative analysis[J]. *Eur Urol*, 2014, 66(3): 512–517.
- [22] Heo J E, Kang S K, Koh D H, et al. Pure single-site robot-assisted pyeloplasty with the da Vinci SP surgical system: initial experience[J]. *Investig Clin Urol*, 2019, 60(4): 326–330.
- [23] Agarwal D K, Hebert K J, Gettman M T, et al. How to perform a robotic pyeloplasty utilizing the da Vinci SP platform: tips and tricks[J]. *Translational Andrology and Urology*, 2020, 9(2): 919–924.
- [24] White M A. Robotic laparoendoscopic single site urological surgery: analysis of 50 consecutive cases[J]. *The Journal of Urology*, 2012, 187(5): 1696–1701.
- [25] Morelli L, Guadagni S, Di Franco G, et al. Da Vinci single site[®] surgical platform in clinical practice: a systematic review[J]. *Int J Med Robot*, 2016, 12(4): 724–734.
- [26] Sendag F, Akdemir A, Zeybek B, et al. Single-site robotic total hysterectomy: standardization of technique and surgical outcomes[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2014, 21(4): 689–694.
- [27] Kaouk J, Garisto J, Bertolo R, et al. Robotic urologic surgical, interventions performed with the single port dedicated platform: first clinical investigation[J]. *European Urology*, 2019, 75(4): 684–691.