

机器人辅助根治性前列腺切除术中相关解剖结构的保留方法及策略进展

赵浩辰¹ 鲍一歌¹ 杨璐¹ 魏强¹

[摘要] 前列腺癌是男性泌尿系统常见恶性肿瘤,机器人辅助根治性前列腺切除术(robot-assisted radical prostatectomy, RARP)凭借高清立体视觉和精细操作能力等技术优势,已成为治疗局限性前列腺癌的重要手术方式。本文重点讨论 RARP 中关键解剖结构的保护策略,包括神经血管束、背深静脉复合体、膀胱颈、尿道及尿道周围结构的保留或重建技术。在保证肿瘤有效切除和控制的前提下,这些技术对于进一步提升患者术后功能恢复和生活质量具有良好效果。最后,本文展望了 RARP 的未来发展方向,旨在不断提高手术精准度和优化患者术后恢复状况。

[关键词] 前列腺肿瘤;机器人辅助根治性前列腺切除术;尿控;尿控相关结构

DOI:10.13201/j.issn.1001-1420.2024.08.008

[中图分类号] R737.25 **[文献标志码]** A

Advances in methods and strategies for preservation of relevant anatomical structures in robot-assisted radical prostatectomy

ZHAO Haochen BAO Yige YANG Lu WEI Qiang

(Department of Urology & Institute of Urology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, 610041, China)

Corresponding author: WEI Qiang, E-mail: wq933@hotmail.com

Abstract Prostate cancer is the most common malignant tumor of the male urinary system, and robot-assisted radical prostatectomy (RARP) has emerged as a vital surgical approach to localized prostate cancer due to its technological advantages, including high-definition 3D visualization and precise manipulation capabilities. This article focuses on the protective strategies for critical anatomical structures during RARP, such as the neurovascular bundle, dorsal vascular complex, bladder neck, urethra, and periurethral tissues, which are pivotal for enhancing postoperative functional recovery and improving patients' quality of life on the premise of ensuring effective tumor resection and control. Moreover, the article contemplates the future advancements in RARP, with the goal of increasing the precision of surgery and accelerating postoperative recovery efficiency.

Key words prostatic neoplasms; robot-assisted radical prostatectomy; urinary continence; related structures of urinary continence

前列腺癌是我国男性泌尿系统最常见的恶性肿瘤之一,近年来发病率持续上升,为患者带来沉重的疾病负担^[1]。根治性前列腺切除术(radical prostatectomy, RP)作为局限性前列腺癌治疗的金标准,虽已在不断改良中实现了较为满意的肿瘤控制和临床治愈结局,但术后尿失禁和勃起功能障碍等并发症显著影响了患者的生活质量^[2]。针对如何最大程度减少术后并发症这一难题,医学界做出了优化手术技术、完善围术期管理等诸多有益的尝试,共同构成减少术后并发症的综合策略。在开放手术时代,就已经认识到保护关键解剖结构对于改善患者术后生活质量至关重要,从而确立了功能保

护理念。从 21 世纪初发展起来的机器人辅助根治性前列腺切除术(robot-assisted radical prostatectomy, RARP)相较于开放性或腹腔镜手术途径,因视野立体清晰、解剖标志易于定位、在狭窄空间内操作更灵活、精准、舒适,尿控恢复率高的同时可保证良好的肿瘤控制率等一系列优势,已在国内外大型医疗机构中广泛开展并不断成熟与完善^[3-4]。得益于 RARP 的高精度操作平台与三维可视化界面,术中保留相关解剖结构变得更加准确、便捷与高效,在确保肿瘤根治性切除的同时最大限度地减少对邻近正常组织的损伤。因此,尽管解剖结构保留技术并非 RARP 独有,但在该术式的辅助下,其效果得到了更充分的展现——对于局限性前列腺癌患者,在优先保证肿瘤有效切除与良好控制的前提下,在 RARP 中有意识地保留或重建相关解剖结构有助于减少并发症和改善术后尿控与勃起功

¹四川大学华西医院泌尿外科 泌尿外科研究所(成都, 610041)

通信作者:魏强, E-mail: wq933@hotmail.com

能,从而实现“无手术并发症、切缘阴性、长期肿瘤控制、保留尿控及勃起功能”的“五连胜”目标。本文通过梳理 RARP 中保留或重建相关解剖结构的策略,探讨未来可能的技术改良方向。

1 保留 RARP 相关解剖结构的重要性

RARP 涉及的相关解剖部位包括毗邻前列腺的神经血管网、膀胱颈、尿道及尿道周围结构等盆底结构,其中肌肉和神经等关键解剖结构的精确识别与保护是实现术后尿控和勃起功能恢复的关键。肌肉组织包括膀胱颈、盆底肌群、尿道内外括约肌等。由三层逼尿肌构成的膀胱颈和环绕尿道开口的尿道内括约肌部分融合,与包绕膜部尿道的外括约肌共同起到维持尿道张力和尿控的作用^[5]。膜部尿道位于阴部横膜和前列腺尖部之间,其保留的长度越长,术后外括约肌功能和尿道张力改善越显著,尿控恢复速度越快^[6]。环绕前列腺的逼尿肌将前列腺和膀胱颈固定至耻骨,与前列腺组织分隔明确,因此可以安全剥离,但若离断悬吊尿道括约肌的狄氏筋膜则可致压力性尿失禁,将其固定至后尿道则有助于术后的尿控恢复^[7]。此外,保留相关神经功能对减少术后并发症影响显著。例如,阴部神经支配盆底肌和外括约肌,盆丛神经的交感与副交感成分分别协调膀胱颈及尿道张力和控制逼尿肌收缩,二者对尿道功能的正常维持至关重要,易在术中受损进而影响尿控^[8]。保留解剖结构和恢复神经功能直接决定了尿失禁等并发症的发生概率,而精细解剖操作和减少过度缝合可将相关结构的损伤减少到最小。因此,对于 RARP 涉及的相关组织结构,术者必须深入理解与细致识别,确保每一处细节都了然于胸,以便在手术过程中准确无误地进行操作。

2 保留或重建 RARP 相关解剖结构的策略

2.1 保留神经血管束

神经血管束(neurovascular bundle, NVB)由盆丛神经分支和髂内动脉血管支两部分构成,邻近精囊尖端,沿盆丛神经延伸至前列腺后外侧,穿行于多层筋膜间^[9]。NVB 由 Walsh 等^[10]最早描述,且在临床研究中证实了保护 NVB 有利于术后勃起功能的恢复。虽然少数学者对保留 NVB 的临床意义持不同看法,如 Marien 等^[11]认为该术式无法有效改善术后尿控,但大多数研究均认为通过“逆行法”或“顺行法”等手术途径保留 NVB 有利于术后尿控和性功能恢复^[12-13]。本团队 2018 年首次报道在保留盆底稳定结构的 RARP 的基础上进一步改良该术式,提出保留盆底稳定结构合并前方高位逆向松解 NVB 的 RARP,且证实后者的尿控和性功能恢复均优于未保留 NVB 的术式,纳入研究的全部 54 例均为切缘阴性^[14]。在具体操作层面, Moschovas 等^[15]强调应最大程度减少手术操作中对 NVB 功能完整性的机械损伤和灼烧损伤。值得注意的是,与其他尽可能保留相关解剖结构的尝试类

似,保留 NVB 若操作不当有可能增加肿瘤局部浸润的切缘阳性和生化复发的风险。因此,需在术前准确临床分期和评估的基础上严格遵循手术适应证,谨慎选择保留范围和术式。

2.2 保留背深静脉复合体

背深静脉复合体(dorsal vascular complex, DVC)覆盖前列腺和尿道外括约肌的腹侧,与耻骨前列腺韧带相接,阴茎背深静脉及阴部内静脉参与其构成。术中缝扎 DVC 虽然可以有效减少出血和暴露术野,但增加了尿道外括约肌和毗邻神经损伤的风险,因此在控制出血量和保证肿瘤组织有效切除的前提下尽可能保护 DVC 已成为 RARP 中研究广泛的改良方向^[16]。目前对 DVC 较为成熟的保护方式包括免缝合技术和延迟缝扎技术等,已证实均有利于患者术后早期尿控的恢复。如秦海波等^[17]回顾性分析了 41 例行腹腔镜前列腺癌根治术的患者临床资料,免缝合组术后 30 d 的尿控率显著高于传统缝合组(73.68% vs 13.64%, $P < 0.05$),且不增加术中出血量。保护 DVC 在其他泌尿系统手术中同样具有积极的临床意义,如陈梦杰等^[18]证实了在腹腔镜下膀胱根治性切除术中采用免缝扎 DVC 保留前列腺尖部包膜技术,可改善术后尿控及勃起功能,且不增加并发症风险。

2.3 保留膀胱颈

前列腺基底部膀胱颈处的尿道内括约肌对尿控起到关键作用,在可能的情况下最大限度保留或重建膀胱颈已成为共识,如 2024 欧洲泌尿外科指南建议将保留膀胱颈作为肿瘤远离基底部的前列腺癌患者的常规术式^[19]。姜勇男等^[20]回顾性分析了 53 例 RARP 的术中术后情况,发现研究组(保留膀胱颈)与对照组(未保留膀胱颈)术后即刻和术后 1、2、3 个月尿垫使用量差异有统计学意义,表明在保证手术切缘阴性和疗效的前提下,RARP 中保留膀胱颈可提高术后即刻尿控率及早期尿控率,进而提升患者生存质量。季倩莹等^[21]同样证实了上述发现,并且证明 RARP 中完整保留膀胱颈的患者术后引流管放置时间和住院时间均更短,术后康复更快。何威等^[22]、Deliveliotis 等^[23]也证实了保留膀胱颈对于早期尿控恢复的重要性。在实际操作中,术者需深入膀胱与前列腺间隙,将膀胱颈保留至具有括约肌功能的环形纤维处仔细剥离,实现膀胱尿道吻合,并注意避免误伤输尿管组织。相较于其他手术入路,后入路 RARP 通过从膀胱颈后方分离前列腺膀胱颈间隙,更易完整保留膀胱颈且减少膀胱颈狭窄可能^[3,9]。对于部分不适合保留膀胱颈的患者,可考虑膀胱颈重建,降低尿管长期留置和尿控恢复不佳的风险。如张保等^[24]在对 31 例腹腔镜根治性前列腺切除术中行膀胱颈延长抬高重建及黏膜外翻减张吻合的患者术后尿控恢复时间的分析中指出,该术式的术后早期尿控恢复较好,同时保证了较低的切缘阳性率(6.45%),安全

性与可靠性较高。

2.4 保留尿道

如前所述,膜部尿道保留的长度与术后并发症紧密相关。Coakley 等^[25]在对 180 例行 RP 患者的术后随访中证实了膜部尿道较长与术后尿控恢复速度更快之间的正向相关性。在 RP 中,准确识别前列腺尖部与近端膜部尿道的连接部位是手术的关键点和难点,而 RARP 的高清晰度可视化界面相较于传统的 RP 更有助于解决这一问题,有利于膜部尿道的保护。手术中保留尿道的具体方法主要为:使用机器人第三臂牵引并细致分离至尿道外括约肌,翻转前列腺以显露后唇,冷刀离断从而保留膜部尿道。此外,应注意前列腺尖部与括约肌的重叠,完整切除位于前列腺尖部的肿瘤,在减少相关解剖结构损伤的同时减少阳性切缘率,保证 RARP 的“五连胜”目标^[26]。此外,Liu 等^[27]提出以保护远端尿道括约肌复合体为目的的联合技术,在尽可能保留尿道长度的同时保证尿道结构的稳定性,进一步改良了保留尿道的术式且验证了改良后的安全性和有效性。

2.5 保留及重建尿道周围结构

尿道周围重建包括前方重建、后方重建,以及在此基础上发展出的联合重建和完全解剖性重建(total anatomical reconstruction, TAR)等。前方重建通过固定膀胱尿道吻合口至耻骨联合或耻骨前列腺韧带,增强吻合口稳定性;后方重建通过固定狄氏筋膜与尿道后壁组织,降低吻合口张力,保持尿道长度,稳定盆底肌群。二者同时实施则称为联合重建,以上方案均有利于术后患者尿控的恢复^[26,28]。由 Porpiglia 等^[29]首次提出的 TAR 技术,可最大程度上恢复和重建尿道周围结构。邵金鹏等^[30]将 Porpiglia 等的前壁两层重建、后壁三层重建的 TAR 优化为前壁一层重建、后壁两层重建,发现 TAR 组术后 3 个月尿控恢复率高于非 TAR 组(86.8% vs 65.6%, $P=0.019$),证实改良后的 TAR 可促进 RARP 术后短期尿控恢复。一项荟萃分析同样显示, TAR 比单纯实施前方或后方重建的术后尿控恢复更快、效果更佳^[31]。王帅等^[32]证实使用尿道周围结构解剖性复位技术可减少 RARP 术后尿管留置时间,有助于提升短期术后尿控恢复率。总体来说,综合前方和后方重建优势的联合重建及 TAR,可有效保证盆底解剖结构的稳定性,利于术后患者尿控和性功能的恢复。此外,许多创新技术也相继提出,例如杨俊等^[33]采用 Hood 技术,通过前入路实现不显露 Retzius 间隙条件下的 RARP,尽可能保留耻骨后尿道周围悬吊支撑结构,并证实具有良好的早期尿控和较低的手术切缘阳性率。

3 对 RARP 的未来展望

RARP 作为前列腺癌微创手术领域的代表性技术,正处于蓬勃发展和不断革新的阶段。尽管其

发展道路充满曲折和挑战,但正是这些挑战推动了 RARP 的持续改良与优化,使其在持续的临床实践与技术创新中更加精准、安全、高效,为患者带来更佳的手术体验与生活质量。由于 RARP 的“五连胜”目标有赖于术前评估的精确性和不同术者差异化的解剖结构保留与重建策略,在一定程度上造成了客观评价不同技术或术式效果的困难,我们期待开展更多前瞻性、多中心的临床试验和长期随访来全面评估与论证 RARP 的疗效与安全性,进一步发展和完善前入路、后入路、侧入路、经膀胱入路与经会阴入路等不同 RARP 手术入路的具体操作规范,为其在临床实践中的广泛应用提供更加有力的证据支撑。

近年来,跨学科领域的广泛参与正逐步推动 RARP 走向更为精准的医疗实践。其中,尤为引人注目的是 5G 远程手术技术、增强现实技术以及人工智能技术的深度融合与应用。这些前沿技术的引入,不仅丰富了 RARP 的操作手段,还显著提升手术的精确性与安全性,为实现 RARP 的精准医疗提供了有力的技术支持,展现了广阔的应用前景。此外,对 RARP 相关精细解剖结构的认识将更为深化,有望揭示更多前列腺相关解剖结构与功能保留的复杂机制,从而为 RARP 的精准操作提供更坚实的理论基础。目前,国产手术机器人系统的蓬勃发展,体现出我国在高端医疗器械自主研发道路上的坚实步伐,未来的 RARP 设备或将更加小型化、便捷化,术者使用操作系统也将更加舒适。我们期待将来进一步实现有迹可循地制定、选择各项个性化术式与解剖结构保留或重建的策略,连同术后早期、全程、有效的功能康复训练,最大程度预防和减少尿失禁等手术并发症的发生^[34]。最终,在保证肿瘤切除效果、延长前列腺癌患者生存时间的基础上,不断满足患者对生活质量的追求。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中华医学会泌尿外科学分会前列腺癌联盟. 中国前列腺癌早期诊断专家共识[J]. 中华泌尿外科杂志, 2015, 36(8): 561-564.
- [2] 王建业, 廖利民, 张耀光. 提高我国前列腺癌术后尿失禁的防治水平[J]. 中华泌尿外科杂志, 2022, 43(9): 648-650.
- [3] 刘子豪, 刘洋, 牛远杰, 等. 不同入路途径机器人辅助腹腔镜根治性前列腺切除术的研究进展[J]. 临床泌尿外科杂志, 2024, 39(1): 65-68, 71.
- [4] Cao L, Yang ZY, Qi L, et al. Robot-assisted and laparoscopic vs open radical prostatectomy in clinically localized prostate cancer: perioperative, functional, and oncological outcomes: a Systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine*, 2019, 98(22): e15770.
- [5] Zattoni F, Artibani W, Patel V, et al. Technical innovations to optimize continence recovery after robotic assisted radical prostatectomy[J]. *Ital J Urol Nephrol*, 2019, 71(4): 324-338.

- [6] Kim LHC, Patel A, Kinsella N, et al. Association between preoperative magnetic resonance imaging-based urethral parameters and continence recovery following robot-assisted radical prostatectomy[J]. *Eur Urol Focus*, 2020, 6(5):1013-1020.
- [7] Choi HM, Jung SY, Kim SJ, et al. Clinical anatomy of the puboprostatic ligament for the safe guidance for the prostate surgery[J]. *Urology*, 2020, 136:190-195.
- [8] Zhu L, Zhou ZB, Shen D, et al. Ipsilateral S2 nerve root transfer to pudendal nerve for restoration of external anal and urethral sphincter function: an anatomical study[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1):13993.
- [9] 何民心, 田庚, 种铁, 等. 根治性前列腺切除术中尿控相关结构解剖及术中保护技巧[J]. *现代泌尿外科杂志*, 2023, 28(12):1086-1091.
- [10] Walsh PC, Lepor H, Eggleston JC. Radical prostatectomy with preservation of sexual function: anatomical and pathological considerations[J]. *Prostate*, 1983, 4(5):473-485.
- [11] Marien TP, Lepor H. Does a nerve-sparing technique or potency affect continence after open radical retropubic prostatectomy? [J]. *BJU Int*, 2008, 102(11):1581-1584.
- [12] Nguyen LN, Head L, Witiuk K, et al. The risks and benefits of cavernous neurovascular bundle sparing during radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Urol*, 2017, 198(4):760-769.
- [13] Görgen ARH, Burtet LM, Cachoeira ET, et al. Association of nerve-sparing grading in robotic radical prostatectomy and trifecta outcome[J]. *World J Urol*, 2022, 40(12):2925-2930.
- [14] 廖鑫扬, 鲍一歌, 刘振华, 等. 保留盆底稳定结构合并前方高位逆向松解神经血管束的机器人辅助根治性前列腺切除术功能结局指标分析[J]. *中华外科杂志*, 2024, 62(2):128-134.
- [15] Moschovas MC, Patel V. Neurovascular bundle preservation in robotic-assisted radical prostatectomy: How I do it after 15,000 cases[J]. *Int Braz J Urol*, 2022, 48(2):212-219.
- [16] Ganzer R, Stolzenburg JU, Neuhaus J, et al. Is the striated urethral sphincter at risk by standard suture ligation of the dorsal vascular complex in radical prostatectomy? An anatomic study[J]. *Urology*, 2014, 84(6):1453-1458.
- [17] 秦海波, 陶凌松, 陈弋生, 等. 背深静脉复合体的免缝合技术在腹腔镜前列腺癌根治术中的应用效果[J]. *国际泌尿系统杂志*, 2019, 39(3):461-464.
- [18] 陈梦杰, 高旭东, 王金行, 等. 免缝扎 DVC 保留前列腺尖部包膜的腹腔镜下膀胱根治性切除原位新膀胱术对尿控与勃起功能的影响[J]. *国际泌尿系统杂志*, 2023, 43(3):452-457.
- [19] Cornford P, van den Bergh RCN, Briers E, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG guidelines on prostate cancer-2024 update, part I: screening, diagnosis, and local treatment with curative intent[J]. *Eur Urol*, 2024: S0302-2838(24)02254-1.
- [20] 姜勇男, 王凯晨, 刘斌, 等. 保留膀胱颈对机器人辅助腹腔镜前列腺根治性切除术后早期尿控恢复的研究[J]. *长春中医药大学学报*, 2024, 40(1):83-86.
- [21] 季倩莹, 王俊, 魏勇, 等. 机器人辅助单孔腹腔镜前列腺根治性切除术中保留膀胱颈技术对术后尿控的效果研究(附视频)[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2024, 5(1):7-12.
- [22] 何威, 邢思伟, 徐丹枫, 等. 局限性前列腺癌行保留膀胱颈的腹腔镜根治性前列腺切除术对控尿的影响[J]. *临床泌尿外科杂志*, 2024, 39(7):567-570.
- [23] Deliveliotis C, Protogerou V, Alargof E, et al. Radical prostatectomy: bladder neck preservation and puboprostatic ligament sparing: effects on continence and positive margins[J]. *Urology*, 2002, 60(5):855-858.
- [24] 张保, 史玉强, 高强, 等. 腹腔镜根治性前列腺切除术中行膀胱颈延长抬高重建及黏膜外翻减张吻合的尿控分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2019, 40(8):587-591.
- [25] Coakley FV, Eberhardt S, Kattan MW, et al. Urinary continence after radical retropubic prostatectomy: relationship with membranous urethral length on preoperative endorectal magnetic resonance imaging [J]. *J Urol*, 2002, 168(3):1032-1035.
- [26] 张旭. 前列腺根治性切除术尿控之关键外科因素解析: 从解剖基础到临床应用[J]. *现代泌尿生殖肿瘤杂志*, 2022, 14(6):321-324.
- [27] Liu A, Gao Y, Huang H, et al. A combined technology to protect the anatomic integrity of distal urethral sphincter complex in radical prostatectomy improves early urinary continence recovery without sacrifice of oncological outcomes [J]. *Front Oncol*, 2021, 11:711093.
- [28] Gautam G, Rocco B, Patel VR, et al. Posterior rhabdosphincter reconstruction during robot-assisted radical prostatectomy: critical analysis of techniques and outcomes[J]. *Urology*, 2010, 76(3):734-741.
- [29] Porpiglia F, Bertolo R, Manfredi M, et al. Total anatomical reconstruction during robot-assisted radical prostatectomy: implications on early recovery of urinary continence[J]. *Eur Urol*, 2016, 69(3):485-495.
- [30] 邵金鹏, 宋勇, 孙圣坤, 等. 完全解剖性重建在机器人辅助根治性前列腺切除术中的应用研究[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2023, 44(7):502-506.
- [31] Checcucci E, Pecoraro A, Cillis SD, et al. The importance of anatomical reconstruction for continence recovery after robot assisted radical prostatectomy: a systematic review and pooled analysis from referral centers[J]. *Minerva Urol Nephrol*, 2021, 73(2):165-177.
- [32] 王帅, 祁小龙, 刘锋, 等. 尿道周围结构解剖性复位技术在机器人辅助腹腔镜根治性前列腺切除术中的应用效果[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2019, 40(3):194-199.
- [33] 杨俊, 胡焜, 管维, 等. Hood 技术在机器人辅助根治性前列腺切除术中的应用及疗效分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2022, 43(3):176-180.
- [34] 韩邦旻, 李文智, 马鑫, 等. 机器人辅助前列腺癌根治术尿控功能的保留专家共识[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2023, 12(1):25-29.