

## 外科机器人在头颈部肿瘤手术中的应用进展

孟令照<sup>1</sup>, 房居高<sup>2</sup>

(1. 首都医科大学附属北京天坛医院耳鼻咽喉头颈外科 北京 100070; 2. 首都医科大学附属北京同仁医院耳鼻咽喉头颈外科 北京 100730)

**摘要** 近年来, 适用于头颈部肿瘤的外科机器人的研发取得了长足的进步, 达芬奇机器人手术系统已经更新到第4代, 单孔柔性机器人、Flex 机器人等外科机器人不断涌现, 增强现实、术中超声、荧光成像等新技术也相继被应用到外科机器人研发中。本综述主要阐述了这些外科机器人的特点, 并依次对其在口咽、喉、下咽、咽旁间隙等头颈部肿瘤中的应用现状、优势及不足等进行概述。

**关键词** 机器人手术; 头颈部肿瘤; 口咽癌; 喉癌; 下咽癌

**中图分类号** R608 R651 R653 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721(2022)05-0388-08

## Surgical robots for head and neck tumors: applications and advances

MENG Lingzhao<sup>1</sup>, FANG Jugao<sup>2</sup>

(1. Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China; 2. Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China)

**Abstract** Recently, great progress has been made in the research and development of surgical robots for head and neck tumors. Da Vinci robots have been updated to the fourth generation. Meanwhile, surgical robots such as flexible single-port robots and Flex robots are emerging. Augmented reality, intraoperative ultrasound and fluorescence imaging have also been applied

收稿日期: 2021-06-28 录用日期: 2021-11-02

Received Date: 2021-06-28 Accepted Date: 2021-11-02

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFB1312805)

Foundation Item: National Key R&D Program of China (2020YFB1312805)

通讯作者: 房居高, Email: fangjugao@163.com

Corresponding Author: FANG Jugao, Email: fangjugao@163.com

引用格式: 孟令照, 房居高. 外科机器人在头颈部肿瘤手术中的应用进展[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(5): 388-395.

Citation: MENG L Z, FANG J G. Surgical robots for head and neck tumors: applications and advances [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2022, 3(5): 388-395.

to surgical robots. This article mainly reviews the characteristics of these surgical robots for head and neck tumors, and their application status, advantages and disadvantages in head and neck tumors (such as tumors in oropharynx, larynx, hypopharynx, parapharyngeal space, et al).

**Key words** Robotic surgery; Head and neck tumor; Oropharyngeal cancer; Laryngeal cancer; Hypopharyngeal cancer

随着科技的不断发展,各种机器人广泛应用于广大群众的生产和生活中。由于机器人具有定位精准、操作灵活、可重复性强、稳定性高等优点,有学者不断尝试将机器人应用于外科领域。1985年,有学者借助工业机器人 Puma 560 完成了机器人辅助定位的神经外科活检手术,标志着机器人手术从设想走向临床<sup>[1]</sup>。此后,持镜机器人伊索(AESOP)和操作机器人宙斯(ZEUS)相继被研发出来,并被美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准用于临床。1999年达芬奇机器人手术系统被推出,并于2000年被美国FDA批准用于腹腔手术,这标志着外科机器人的初步定型。此后,达芬奇机器人不断进行更新换代,目前已经是第4代,且单孔柔性机器人 Single-port(SP)也已经被研发出来。

## 1 外科机器人的研究进展

近年来,国外一些有远见的科研团队和公司纷纷加入到外科机器人的研发中。外科机器人的总体研究倾向于柔性更佳、精度更高、定位更精确、带有触觉反馈等方向,如Flex机器人、森汉斯外科机器人(Senhance Surgical Robotic System)、单孔技术机器人(Single Port Orifice Robotic Technology, SPORT)、Versius机器人等<sup>[2]</sup>,其特点见表1。我国也加大了对外科机器人研发的投入,科技部已连续多年立项多个科研课题以进行外科机器人的研发。可喜的是,目前一些适合头颈部肿瘤的外科机器人已经投入临床,如“妙手”微创手术机器人系统等<sup>[3]</sup>。除了单孔、触觉反馈等技术外,其他外科机器人的新技术还包括以下方面。

表1 目前市面上主要适用于头颈部肿瘤外科的机器人手术系统

Table 1 Main robotic surgical systems for head and neck tumors in market

机器人系统名称	公司名称	美国 FDA 批准	国内 引进	单孔 柔性	机械臂 数量	内镜系统	操作端的直径	触觉 反馈
Da Vinci (S, Si, Xi, X)	美国 Intuitive Surgical 公司	已批准	是	否	3	高清三维	8mm, 5mm	无
Da Vinci (SP)	美国 Intuitive Surgical 公司	已批准	是	是	3	高清三维	6mm	无
Flex	美国 Medrobotics 公司	已批准	否	是	3	高清二维	3mm	有
Senhance Surgical Robotic System	美国 TransEnterix 公司	尚未批准	否	否	4	高清三维	5mm	有
Single Port Orifice Robotic Technology (SPORT)	加拿大 Titan Medical 公司	尚未批准	否	是	2	高清三维	8mm	无
Versius	英国 Cambridge Medical Robotics 公司	尚未批准, 欧洲已批准	否	否	5	高清三维	5mm	有

## 1.1 增强现实

Chan J Y K 等<sup>[4]</sup>运用增强现实技术证实,在人体尸头标本变形严重的软组织中可以进行图像引导下的实时导航,从而减少术中颈内动脉等重要结构的损伤风险。

## 1.2 术中超声

Chang C C 等<sup>[5]</sup>、Green E D 等<sup>[6]</sup>在术中运用超声技术能获得肿瘤边缘和颈内动脉等关键信息,从而提高肿瘤全切率和手术安全性。

## 1.3 磨骨钻

目前外科机器人手术系统尚无骨钻,不能切除骨质,这也限制了其应用范围。Ahmad F A 等<sup>[7]</sup>研发了一种带有导航的柔性机器人骨钻,并成功运用于全髋关节置换术,如果能嵌合到外科机器人中,将会极大地拓宽其适用范围。

## 1.4 荧光成像

Weyers B W 等<sup>[8]</sup>研究证实,通过荧光成像技术可以在机器人切除口咽癌手术中实现可视化的大血管解剖结构和肿瘤边界定位,从而降低机器人手术中因为缺乏触觉反馈所带来的问题。

## 2 达芬奇机器人在头颈部肿瘤手术中的应用进展

目前,国内外学者已发表了大量的关于达芬奇机器人辅助下进行的头颈部肿瘤手术的相关研究。2005年 Mcleod I K 等<sup>[9]</sup>在达芬奇机器人手术系统辅助下对1例患者进行经口会厌囊肿切除手术,开创了经口机器人手术(Transoral robotic surgery, TORS)在临床应用中的先河。2006年 O'Malley B J 等<sup>[10]</sup>成功报道了3例达芬奇机器人经口舌根癌切除手术。2007年 Solares C A 等<sup>[11]</sup>报道了达芬奇机器人辅助声门上水平半喉切除术的研究。2009年 Kang S W 等<sup>[12]</sup>首先使用达芬

奇机器人行经腋窝切除甲状腺肿物手术。2010年 O'Malley B J 等<sup>[13]</sup>报道了达芬奇机器人辅助咽旁间隙肿瘤切除术的相关经验。同年 Wei W I 等<sup>[14]</sup>报道达芬奇机器人辅助经口切除复发性鼻咽癌的病例。2013年 Smith R V 等<sup>[15]</sup>报道了达芬奇机器人经口全喉切除术。

达芬奇机器人在头颈部肿瘤应用中具有明显的优势,包括:①极大地拓展了头颈外科医生的技能极限。高清内镜系统能提供三维、超高清、放大10~15倍的视野,使外科医师更容易辨识和控制咽喉部肿瘤的边界、血管、神经及骨性结构。机械臂具有7个活动自由度,可以540°自由旋转,因此能够通过口腔这一自然腔道在咽喉部狭窄的深部空间内完成精细的手术操作,避免了颈面部的切口。②显著降低了头颈外科医师的工作强度。术者无需刷手即可上无菌手术台、坐在操作台端进行远程操作。术者术中如果感觉疲惫或者手术遇到难度,可临时中断手术,进行休息、查阅资料、远程专家会诊讨论等,该系统很适合于难度大、时间长的手术。③学习曲线短,技能容易掌握。术者可以直接利用已经积累的手术经验,通过达芬奇机器人操作系统提供的完全正向、立体、放大的图像进行操作。同时术者可以自行全面控制镜头和器械臂,从而降低了与手术助手和器械护士配合的信赖。④极大地延长了外科医师的工作寿命。达芬奇机器人能够过滤人手因紧张、疾病或老年退行性变等引起的不自主颤动,明显提高了手术的精准程度。⑤可以缩短手术时间、住院时间、术后康复时间,降低术中、术后并发症的发生率,提高术后美容效果。

尽管达芬奇机器人在头颈部肿瘤中应用的优势明显,但是也有一些缺陷限制了其进一步推广,具体包括:①卫生经济学评价差。目前

购置一台达芬奇机器人需要约 2 000 万人民币，机器人手术中专用的操作器械每使用 10 次后就需强制性更换，这部分费用未被纳入医保报销范围，再者每年的机器维修保养费用也是一笔不小的开支。因此国家对达芬奇机器人的采购进行了严格的管控，目前国内仅少数大型医院购置了达芬奇机器人。②器械体积庞大。达芬奇机器人的安装和调试比较复杂，需要较大空间且专门的手术室和各种配套设施。而且该系统的技术复杂，术者、助手、护士、麻醉医生均需要专门的培训和资质认证。③准备工作较为烦琐。对接及调试机械臂和器械均需耗费时间，一旦术中因肿瘤暴露不佳而进行反复调整开口器的位置时则需要重新对接和调试器械。④机械臂的操作末端缺乏触觉反馈，术者对血管、骨质、神经等不同质地的组织无法直接感知，仅能通过视觉信息、既往积累的经验 and 手术台上助手汇报的反馈信息进行综合评判。⑤机械臂末端无动力系统，不能切除骨性结构，配置的超声刀末端也不能弯曲，手术适应证受限。⑥由于术者远离患者，有时会过于集中于放大的手术区域，对重要解剖结构可能出现误判。因此助手的及时反馈很重要，可以避免发生严重的并发症<sup>[16]</sup>。

## 2.1 口咽部肿瘤

口咽部是达芬奇机器人在头颈部肿瘤中应用最早、最为成熟的部位。与开放入路的较高并发症相比，TORS 术为口咽部肿瘤患者提供了另一种治疗选择。de Almeida J R 等<sup>[17]</sup>于 2015 年综合分析了全球多中心大样本研究结果(410 例，88% 为口咽癌)，2 年局部控制率为 91.8%，疾病特异性生存率为 94.5%，总体生存率为 91%。Ford S E 等<sup>[18]</sup>研究证实，TORS 的疗效优于传统开放手术。

与经口激光显微镜手术相比，TORS 克服了部分缺点，比如气管着火风险、陡峭的学习曲线、止血困难、仅允许线性切割而非整块切除等，同时还能提供更高清的立体视野和更方便的手术入路<sup>[19]</sup>。与放疗相比，TORS 术也有明显的优势。最新的一项系统回顾研究证实，TORS 术与调强放疗在治疗早期口咽癌中的远期生存率方面比较无明显差异，但在吞咽功能和生活质量方面明显优于调强放疗<sup>[20]</sup>。也有文献证实，TORS 术已成功应用于局部晚期口咽癌、复发肿瘤或残留肿瘤<sup>[21]</sup>。Moore E J 等<sup>[22]</sup>报道 TORS 术能使 9%~27% 口咽癌患者避免术后放疗，34%~45% 患者避免同步放化疗。

## 2.2 喉部肿瘤

TORS 术在喉部肿瘤中应用的报道较少，仍处于探索阶段，影响其开展的主要因素是术中肿瘤暴露困难和狭小空间内器械之间的互相干扰。主要包括 3 种手术：①声门上水平部分喉切除术：目前机器人声门上水平部分喉切除术已经是一种标准手术。Ozer E 等<sup>[23]</sup>相继报道了 13 例声门上型喉癌行 TORS 术患者的病例资料，所有患者均为阴性切缘，其中 11 例患者可以在 24h 内耐受口服饮食。Park Y M 等<sup>[24]</sup>证实 TORS 术的 2 年无病生存率为 91%，与传统开放手术相比，TORS 术显示出更早的经口进食、更短的拔管时间和更短的住院时间。②声带切除术：Park Y M 等相继报道小样本量的早期声门型喉癌的成功经验，术后发音及吞咽功能恢复良好，且无严重并发症出现。该学者团队推荐使用 CO<sub>2</sub> 激光代替单极电铲以克服口腔狭窄的操作空间<sup>[25-27]</sup>。而目前尚缺乏适用于声带的精细器械，故限制了其应用推广。③全喉切除术：Dowthwaite S 等相继报道了小样本的机器人全喉切除术，初步随访无复发，吞咽功能恢复快，术后切口裂开和咽瘘发生率降低<sup>[15, 28-29]</sup>。

### 2.3 下咽部肿瘤

目前 TORS 术在下咽部肿瘤中开展较少, 多为小宗病例报道<sup>[30-31]</sup>, 目前主要应用于位于梨状窝外侧壁及咽后壁的早期肿瘤。Park Y M 等<sup>[32]</sup>于 2017 年报道了 38 例下咽癌患者 TORS 术后长期随访结果(中位随访期为 60 个月), 86.8% 为中晚期患者, 阳性切缘率为 21%, 早期病变 5 年疾病特异性生存率和无病生存率均为 100%, 中晚期病变 5 年疾病特异性生存率和无病生存率分别是 74% 和 68.6%, 患者较快恢复了吞咽功能(平均 15.9d)和经鼻呼吸功能(平均 15.7d), 胃管拔管率 97.37%, 气管拔管率为 92.3%。

### 2.4 咽旁间隙肿瘤

O'Malley B J 等<sup>[33]</sup>于 2007 年在人体尸头标本上验证了机器人经口入路咽旁间隙入路的可行性, 并于 2010 年报道了 10 例患者机器人辅助经口入路咽旁间隙肿瘤手术的经验。此后, 国内外不断有 TORS 术治疗咽旁间隙肿瘤的报道。该手术成功的关键取决于良好的暴露, 术前应充分评估病变的部位及性质, 准确判断病变与颈内动脉和颅神经的关系。Chan J Y 等<sup>[34]</sup>认为行 TORS 术切除咽旁间隙肿瘤是安全、可行的, 但是仅建议应用于茎突前间隙肿瘤。De Virgilio A 等<sup>[35]</sup>系统综述了最近发表的 22 项研究共 113 例行 TORS 术患者的资料, 仅有 13 例(11.5%)和 5 例(4.4%)患者分别采用了经颈和经腮腺联合入路; 11 例(14.5%)患者出现包膜破裂, 住院时间中位数为 3d, 68% 患者术后第 1d 就可以进行口服饮食, 该研究再次证实该入路是安全、有效的。

### 2.5 甲状腺和甲状旁腺肿瘤

外科机器人运用于甲状腺和甲状旁腺肿瘤的主要目的是改善外形。目前已经发表文献

的作者主要集中在东亚, 尤其是韩国和中国, 西方较少。这可能是因为东亚文化中颈部的瘢痕不仅影响美观, 而且还可能影响女性的正常婚恋、就业和心理。目前, 外科机器人颈部手术的主要入路有双侧腋乳入路、无注气单侧腋(胸)入路、耳后面部除皱切口、经口腔前庭入路等。较多文献已证实, 机器人辅助甲状腺/甲状旁腺手术的肿瘤学效果和安全性与传统开放手术相当, 但是美容效果明显优于开放手术<sup>[36-38]</sup>。

### 2.6 颈部肿瘤

有文献报道, 外科机器人已成功运用于各种颈部病变, 包括颌下腺切除、颈部神经鞘瘤、颈部淋巴结清扫等<sup>[39-41]</sup>, 手术入路与甲状腺手术相似。与传统手术相比, 机器人手术明显提高了美容效果, 但手术时间及并发症相似, 而肿瘤学效果则需要更长时间、更多样本的研究来验证<sup>[39]</sup>。

### 2.7 鼻咽部肿瘤

Wei W I 等<sup>[14]</sup>于 2010 年首先报道了鼻内镜联合经口机器人成功切除复发鼻咽癌的手术经验。此后, 多篇文献描述了机器人在复发鼻咽手术中的应用情况<sup>[42-44]</sup>。需要注意的是, 许多手术需要经鼻/经口/经颈等联合入路, 部分患者还需要切开软腭, 从而增加了腭咽闭合不全、腭痿和咽鼓管功能障碍等并发症, 与单纯鼻内镜经鼻/经口手术相比, TORS 术优势并不明显<sup>[43]</sup>。

### 2.8 颅底肿瘤

因为颅底位置狭小、深在, 而目前的外科机器人机械臂相对较大, 且操作末端缺乏磨除骨质的工具, 因此达芬奇机器人运用于颅底手术多为人体尸头标本解剖或者是内镜经鼻/经口手术的有效补充手段<sup>[45]</sup>。

### 3 其他手术机器人在头颈部肿瘤外科中的应用

#### 3.1 达芬奇单孔柔性机器人

达芬奇单孔柔性机器人（SP 系统）由三个铰接式机械臂和一个立体内镜摄像机组成，通过一个直径 2.5cm 的单孔出入，克服了传统达芬奇机器人粗大、笨重的缺点，可以经口将口咽外侧、舌根、喉和下咽病变予以切除，对于某些暴露困难的部位（如鼻咽、颅底等），也可以进行很好的切除<sup>[46-47]</sup>。该系统于 2019 年获得 FDA 批准，并用于 TORS 术。2019 年 Holsinger F C 等<sup>[48]</sup>进行的一项非随机多中心临床试验证实，SP 系统在口咽肿瘤中的应用是有效和安全的。

#### 3.2 Flex 机器人

目前另一个可用于头颈手术的机器人系统是 Flex 机器人系统，这款手术机器人是专门为 TORS 手术的应用而设计的，于 2015 年 7 月获得 FDA 批准。Flex 机器人系统是一种混合机器人辅助系统，由一个灵活的机器人内镜和两个类似于腹腔镜手术的手动控制的器械臂组成。内镜可以定位在刚性或柔性状态，从而克服了传统达芬奇机器人手术系统的位置线问题。此系统包含一个由机器人操纵杆引导的内镜，该操纵杆连接放大的高清晰度二维视觉显示器，机械臂末端可以安装最小直径 3mm 的各种仪器。与达芬奇机器人不同，Flex 机器人在操作时可以获得触觉反馈。有文献证实，Flex 机器人对口咽、下咽和声门上水平的喉部病变可以做到有效和安全的切除<sup>[49-50]</sup>。Flex 机器人另一个优点是能够到达达芬奇机器人机械臂无法触及的区域。人体尸头标本解剖及早期的人体研究均已经证明，Flex 机器人应用于达芬奇机器人无法到达的鼻咽、下咽、颈部、食管等部位的手术是成功

的<sup>[51-52]</sup>。此外，与目前的达芬奇机器人手术系统相比，Flex 机器人系统成本更低。不过，与达芬奇机器人相似，Flex 系统也不是完全自动化的，而是由外科医生控制的。

### 4 展望

目前，国内外科研人员正在进行加载单孔、触觉反馈、增强现实、术中超声、超声骨刀、显微成像、影像导航、神经监测等更多功能的新型外科机器人的研发，这需要医科和工科两个领域的学者长期、良好、稳定的合作与研发。与传统开放手术相比，外科机器人在头颈部肿瘤中具有较大的优势，代表了微创外科的发展方向。相信未来，外科机器人在头颈部肿瘤中的应用范围将会不断拓宽，并发挥良好的应用前景。

### 参考文献

- [1] Bargar W L, Bauer A, Borner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system[J]. Clin Orthop Relat Res, 1998. DOI: 10.1097/00003086-199809000-00011.
- [2] Tamaki A, Rocco J W, Ozer E. The future of robotic surgery in otolaryngology-head and neck surgery[J]. Oral Oncology, 2020. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2019.104510.
- [3] 王树新, 王晓菲, 张建勋, 等. 辅助腹腔微创手术的新型机器人“妙手 A” [J]. 机器人技术与应用, 2011, (4): 17-21.
- [4] Chan J Y K, Holsinger F C, Liu S, et al. Augmented reality for image guidance in transoral robotic surgery[J]. Journal of Robotic Surgery, 2020, 14(4): 579-583.
- [5] Chang C C, Wu J L, Hsiao J R, et al. Real-time, intraoperative, ultrasound-assisted transoral robotic surgery for obstructive sleep apnea[J]. The Laryngoscope, 2021, 131(4): E1383-E1390.
- [6] Green E D, Paleri V, Hardman J C, et al. Integrated surgery and radiology: trans-oral robotic surgery guided by real-time radiologist-operated intraoral ultrasound[J]. Oral and Maxillofacial Surgery, 2020, 24(4): 477-483.

- [7] Ahmad F A, Elangovan H, Deep K, et al. A robotic flexible drill and its navigation system for total hip arthroplasty[J]. *Ann Biomed Eng*, 2018, 46(3): 464–474.
- [8] Weyers B W, Marsden M, Sun T, et al. Fluorescence lifetime imaging for intraoperative cancer delineation in transoral robotic surgery[J]. *Transl Biophotonics*, 2019, 1(1–2): e201900017.
- [9] Mcleod I K, Melder P C. Da Vinci robot-assisted excision of a vallecular cyst: a case report[J]. *Ear Nose Throat J*, 2005, 84(3): 170–172.
- [10] O'Malley B J, Weinstein G S, Snyder W, et al. Transoral robotic surgery (TORS) for base of tongue neoplasms[J]. *Laryngoscope*, 2006, 116(8): 1465–1472.
- [11] Solares C A, Strome M. Transoral robot-assisted CO<sub>2</sub> laser supraglottic laryngectomy: experimental and clinical data[J]. *Laryngoscope*, 2007, 117(5): 817–820.
- [12] Kang S W, Jeong J J, Yun J S, et al. Robot-assisted endoscopic surgery for thyroid cancer: experience with the first 100 patients[J]. *Surg Endosc*, 2009, 23(11): 2399–2406.
- [13] O'Malley B J, Quon H, Leonhardt F D, et al. Transoral robotic surgery for parapharyngeal space tumors[J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2010, 72(6): 332–336.
- [14] Wei W I, Ho W K. Transoral robotic resection of recurrent nasopharyngeal carcinoma[J]. *Laryngoscope*, 2010, 120(10): 2011–2014.
- [15] Smith R V, Schiff B A, Sarta C, et al. Transoral robotic total laryngectomy[J]. *Laryngoscope*, 2013, 123(3): 678–682.
- [16] 房居高, 孟令照, 王建宏, 等. 经口机器人切除咽喉肿瘤的可行性及安全性探讨[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2018, 53(7): 512–518.
- [17] de Almeida J R, Li R, Magnuson J S, et al. Oncologic outcomes after transoral robotic surgery: a multi-institutional study[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2015, 141(12): 1043–1051.
- [18] Ford S E, Brandwein-Gensler M, Carroll W R, et al. Transoral robotic versus open surgical approaches to oropharyngeal squamous cell carcinoma by human papillomavirus status[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2014, 151(4): 606–611.
- [19] Holsinger F C, Ferris R L. Transoral endoscopic head and neck surgery and its role within the multidisciplinary treatment paradigm of oropharynx cancer: robotics, lasers, and clinical trials[J]. *J Clin Oncol*, 2015, 33(29): 3285–3292.
- [20] De Virgilio A, Costantino A, Mercante G, et al. Transoral robotic surgery and intensity-modulated radiotherapy in the treatment of the oropharyngeal carcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021, 278(5): 1321–1335.
- [21] Paleri V, Hardman J, Brady G, et al. Transoral robotic surgery for residual and recurrent oropharyngeal cancers[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2020, 53(6): 1091–1108.
- [22] Moore E J, Olsen K D, Kasperbauer J L. Transoral robotic surgery for oropharyngeal squamous cell carcinoma: a prospective study of feasibility and functional outcomes[J]. *Laryngoscope*, 2009, 119(11): 2156–2164.
- [23] Ozer E, Alvarez B, Kakarala K, et al. Clinical outcomes of transoral robotic supraglottic laryngectomy[J]. *Head Neck*, 2013, 35(8): 1158–1161.
- [24] Park Y M, Kim W S, Byeon H K, et al. Surgical techniques and treatment outcomes of transoral robotic supraglottic partial laryngectomy[J]. *Laryngoscope*, 2013, 123(3): 670–677.
- [25] Park Y M, Keum K C, Kim H R, et al. A clinical trial of combination neoadjuvant chemotherapy and transoral robotic surgery in patients with T3 and T4 laryngohypopharyngeal cancer[J]. *Ann Surg Oncol*, 2018, 25(4): 864–871.
- [26] Lallemand B, Chambon G, Garrel R, et al. Transoral robotic surgery for the treatment of T<sub>1</sub>–T<sub>2</sub> carcinoma of the larynx: preliminary study[J]. *Laryngoscope*, 2013, 123(10): 2485–2490.
- [27] Kayhan F T, Kaya K H, Sayin I. Transoral robotic cordectomy for early glottic carcinoma[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2012, 121(8): 497–502.
- [28] Krishnan G, Krishnan S. Transoral robotic surgery total laryngectomy: evaluation of functional and survival outcomes in a retrospective case series at a single institution[J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2017, 79(4): 191–201.
- [29] Dowthwaite S, Nichols A C, Yoo J, et al. Transoral robotic total laryngectomy: report of 3 cases[J]. *Head Neck*, 2013, 35(11): E338–E342.
- [30] WANG C C, LIU S A, WU S H, et al. Transoral robotic

- surgery for early T classification hypopharyngeal cancer[J]. *Head Neck*, 2016, 38(6): 857–862.
- [31] Dziegielewski P T, Kang S Y, Ozer E. Transoral robotic surgery (TORS) for laryngeal and hypopharyngeal cancers[J]. *J Surg Oncol*, 2015, 112(7): 702–706.
- [32] Park Y M, Jung C M, Cha D, et al. The long-term oncological and functional outcomes of transoral robotic surgery in patients with hypopharyngeal cancer[J]. *Oral Oncology*, 2017. DOI:10.1016/j.oraloncology.2017.06.016.
- [33] O'Malley B J, Weinstein G S. Robotic skull base surgery: preclinical investigations to human clinical application[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2007, 133(12): 1215–1219.
- [34] Chan J Y, Tsang R K, Eisele D W, et al. Transoral robotic surgery of the parapharyngeal space: a case series and systematic review[J]. *Head Neck*, 2015, 37(2): 293–298.
- [35] De Virgilio A, Costantino A, Mercante G, et al. Transoral robotic surgery in the management of parapharyngeal space tumors: a systematic review[J]. *Oral Oncol*, 2020. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2020.104581.
- [36] Piccoli M, Mullineris B, Santi D, et al. Advances in robotic transaxillary thyroidectomy in Europe[J]. *Curr Surg Rep*, 2017, 5(8): 17.
- [37] 张彬, 于灏, 韩宗辉. 经耳后达芬奇机器人甲状腺手术的初步经验[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2020, 55(3): 254–255.
- [38] 张彬, 韩宗辉, Rai Bikash. 经口腔达芬奇机器人甲状腺手术初步经验[J]. *中华腔镜外科杂志(电子版)*, 2018, 11(4): 234–237.
- [39] Hong Y T, Woo S H. Robotic modified radical neck dissection through the bilateral axillary breast approach[J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2021, 14(1): 13–14.
- [40] Choi Y S, Hong Y T, Yi J W. Initial experience with robotic modified radical neck dissection using the da vinci Xi system through the bilateral axillo-breast approach[J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2021, 14(1): 137–144.
- [41] 梁立民, 林小臻, 邵小钧, 等. 手术机器人辅助经口入路下颌下腺切除术二例[J]. *中华口腔医学杂志*, 2019, 54(4): 263–265.
- [42] Richmon J D. Transoral palate-sparing nasopharyngectomy with the Flex(R) System: preclinical study[J]. *Laryngoscope*, 2015, 125(2): 318–322.
- [43] Tsang R K, To V S, Ho A C, et al. Early results of robotic assisted nasopharyngectomy for recurrent nasopharyngeal carcinoma[J]. *Head Neck*, 2015, 37(6): 788–793.
- [44] Yin T R, Ho W K, Wei W I. Combined transnasal endoscopic and transoral robotic resection of recurrent nasopharyngeal carcinoma[J]. *Head Neck*, 2012, 34(8): 1190–1193.
- [45] Rg C. Robotic surgery of the anterior skull base[J]. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 2019, 9(12): 1508–1514.
- [46] Orosso R K, Tam K, Nakayama M, et al. Transoral supraglottic laryngectomy using a next-generation single-port robotic surgical system[J]. *Head & Neck*, 2019, 41(7): 2143–2147.
- [47] Tateya I, Koh Y W, Tsang R K, et al. Flexible next-generation robotic surgical system for transoral endoscopic hypopharyngectomy: a comparative preclinical study[J]. *Head & Neck*, 2018, 40(1): 16–23.
- [48] Holsinger F C, Magnuson J S, Weinstein G S, et al. A next-generation single-port robotic surgical system for transoral robotic surgery: results from prospective nonrandomized clinical trials[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2019, 145(11): 1027–1034.
- [49] Mattheis S, Hasskamp P, Holtmann L, et al. Flex robotic system in transoral robotic surgery: the first 40 patients[J]. *Head Neck*, 2017, 39(3): 471–475.
- [50] Lang S, Mattheis S, Hasskamp P, et al. A european multicenter study evaluating the flex robotic system in transoral robotic surgery[J]. *The Laryngoscope*, 2017, 127(2): 391–395.
- [51] Schuler P J, Hoffmann T K, Duvvuri U, et al. Demonstration of nasopharyngeal surgery with a single port operator-controlled flexible endoscope system[J]. *Head & Neck*, 2016, 38(3): 370–374.
- [52] Friedrich D T, Scheithauer M O, Greve J, et al. Application of a computer-assisted flexible endoscope system for transoral surgery of the hypopharynx and upper esophagus[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2017, 274(5): 2287–2293.