

# 手术机器人系统在颌颌面外科中的应用及发展

朱建华 郭传琨

北京大学口腔医学院·口腔医院口腔颌面外科, 北京100081

**[摘要]** 近年来机器人辅助外科手术以其微创、精准、安全的特点受到了越来越多的关注。颌颌面外科传统手术严重影响美观。机器人辅助手术延伸了医生的视觉范围和可操作空间, 提高了手术效果及患者术后生活质量。本文对手术机器人系统的发展以及近年来在颌颌面外科的应用进行综述。

**[关键词]** 机器人; 颌颌面外科; 微创手术

**[中图分类号]** R 782 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2016.05.021

**Application and development of surgical robot systems in craniomaxillofacial surgery** Zhu Jianhua, Guo Chuanbin.  
(Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China)  
Supported by: The National High Technology Research and Development Program of China (2012AA041606). Correspondence: Guo Chuanbin, E-mail: guodazuo@sina.com.

**[Abstract]** Traditional craniomaxillofacial surgery significantly affects aesthetic appreciation. In contrast to traditional methods, robot-assisted surgery has been extensively investigated because it is minimally invasive, precise, and safe. With robot-assisted surgery, operational vision and manipulation space become extended. As a result, operational quality and patient's postoperative life are improved. This article reviewed the development of surgical robot systems and their applications in craniomaxillofacial surgery.

**[Key words]** robot; craniomaxillofacial surgery; minimally invasive surgery

近年来伴随科学技术的发展、先进制造业的进步以及导航和三维成像技术的普及, 机器人辅助外科手术以其微创、精准、安全的特点受到了越来越多的关注。不同于工业及航空用机器人, 医疗手术机器人将医学及工程学充分结合并发挥各自优势, 实现人机协作的最大化, 与传统医学相比, 在手术术前设计、路径规划、微创、可视化、虚拟及远程手术方面有着得天独厚的优势及应用<sup>[1]</sup>。颌颌面外科手术涉及人体面部特征, 个性化要求高, 颌颌面区域解剖结构复杂, 手术操作视野狭窄, 传统手术切口较大, 严重影响美观<sup>[2]</sup>。机器人辅助手术延伸了医生的视觉范围和可操作空间, 实现精准治疗, 减少创伤, 开拓了颌颌面外科微创手术新的发展方向<sup>[1,3]</sup>。本文对国内外手术机器人系统的发展以及近年来在颌颌面外科的应用进行综述, 并对现状及前景进行探讨和展望。

## 1 手术机器人的发展历史及应用背景

医疗机器人种类繁多, 主要包括: 手术机器人、服务护理机器人、康复机器人、医疗培训用模拟机器人、诊疗机器人、术中导航机器人、辅助机器人<sup>[4]</sup>。Davies<sup>[5]</sup>将手术机器人定义为“一种具有人工传感的机械手, 在计算机控制下能够重新设定程序进行移动和定位工具, 从而实现一系列的手术操作”。1985年, Kwoh等<sup>[6]</sup>使用UNIMATION PUMA 200机器人对可疑的脑部病变进行活检手术, 开创了外科手术机器人的先河。PUMA 200是一款可编程、计算机控制的通用型工业机器人, 具有6个转动关节, 相对精度可达0.05 mm, 通过逆运动学解算, 实现靶点的精确定位。Davies<sup>[5]</sup>使用Probot机器人在之前的可行性研究基础之上成功实施了前列腺切除术, 这是历史上第一次使用机器人自动从人体移除组织。Probot机器人前身为Puma 560工业机器人, Davies等<sup>[7]</sup>对此进行了实验室研究, 认为相比较具有大运动空间的工业机器人, 拥有特定运动和力量的专科

**[收稿日期]** 2016-02-16; **[修回日期]** 2016-06-10

**[基金项目]** 国家高技术研究发展计划专项经费 (2012AA041606)

**[作者简介]** 朱建华, 住院医师, 博士, E-mail: zjh8811@163.com

**[通信作者]** 郭传琨, 教授, 博士, E-mail: guodazuo@sina.com

机器人更为安全,并促进了二代产品Probot机器人的诞生<sup>[5]</sup>。无独有偶,同年,Taylor等<sup>[8]</sup>使用Robodoc机器人完成了第一台矫形手术。Robodoc系统是第一个可预规划切割轨迹的机器人系统,包括交互式的术前设计系统及术中操作机器人系统,通过对股骨的精确切割,实现人工全髋关节置换术,并成功实现商品化<sup>[4,9]</sup>。

不同于之前的全自动机器人,Davies等<sup>[10]</sup>于1997年提出了具有“自主约束力的机器人”理念,即Acobot机器人。Acobot系统允许外科医生通过手持力量操纵杆在预先编程的范围内进行精确膝关节置换手术,将医生的经验和机器人约束力相结合,成为全自动手术机器人向主从手术机器人发展的过渡<sup>[5,10]</sup>。伴随内镜技术的发展,手术机器人迎来新的发展机遇。1994年,AESOP机器人成为第一台获得美国食品与药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)认证可应用于临床的机器人,开创了手术机器人新纪元<sup>[11-12]</sup>。AESOP系统采取声音控制内窥镜定位,只用于成像,不执行侵入性操作<sup>[11-12]</sup>。在此基础上研发的ZEUS机器人以及Da Vinci机器人是主从机器人的典型代表,通过内窥镜系统完成数据采集、主控制台操纵各种手术器械完成手术,是目前临床应用最为成熟的机器人<sup>[5,12]</sup>。2001年由Marescaux等<sup>[13]</sup>在位于美国纽约的主控制台前通过高速光纤电缆远程遥控位于法国斯特拉斯堡的ZEUS机器人,成功为一位68岁的女性患者施行了腹腔镜胆囊切除术,开启了远程机器人手术的篇章。

机器人手术目前已经成功应用于神经外科、整形外科、泌尿外科、介入科、心胸外科、腹腔外科等<sup>[4]</sup>。1994年Kavanagh<sup>[14]</sup>利用图像引导的Robodoc机器人系统在颞骨上第一次进行了口腔颌面外科领域的临床前试验。第一台用于颅颌面外科的交互式手术机器人——OTTO系统诞生于1998年<sup>[15]</sup>,Lueth和Hein等将其安装在手术天花板上用于钻孔或切割。2012年,国内第一套颅颌面外科辅助手术机器人实现了术前手术设计与规划、术中实时导航、机器人辅助定位把持功能,并进行了医学实验<sup>[1]</sup>。

## 2 手术机器人在颅颌面外科的应用

颅颌面手术区域位于颌面颈部,解剖结构复杂,血管神经集中,手术风险高,实施困难大。为了保证视野,手术切口通常较大,影响美观,甚至造成严重的心里负担。机器人辅助手术经微创切口进入体内,提供了新的手术途径,现将其在颅颌面外科的应用进行总结。

### 2.1 整复手术

2.1.1 皮瓣修复术 Genden等<sup>[16]</sup>使用Da Vinci机器人利用局部转移瓣完成了9例肿瘤术后修复重建病例,包括黏膜推进瓣、梨形黏膜瓣及咽后壁瓣。Genden认为相对于开放式手术,机器人手术可使患者避免气管切开,同时恢复期短,可以更早地接受辅助治疗;相对于激光手术,机器人手术可行组织切除及修复重建,减少肉芽组织的形成,避免了咽咽部的狭窄。

Selber<sup>[17]</sup>在2010年对Da Vinci手术机器人在口咽缺损修复重建的应用进行了系列研究,包括1例游离前臂皮瓣、2例游离股前外侧皮瓣及1例面动脉肌黏膜瓣。除面动脉肌黏膜瓣术后因意外摘除外,其余均恢复良好。Selber认为Da Vinci机器人手术除了避免下颌骨劈开或下唇切开外,其在限定空间内的良好的视野和精度以及对于手部震颤的滤除使其更适用于微血管吻合,但是内镜光线不足、器械粗糙以及触觉反馈的缺失是其不利因素。

2.1.2 正颌手术 手术机器人在正颌手术中的应用报道极少。Theodossy等<sup>[18]</sup>和Omar等<sup>[19]</sup>使用机器人臂(FARO臂)在模型外科上模拟了正颌手术。该研究表明机器人辅助模型外科手术在前后及垂直平面上更精准。陈黎明等<sup>[20]</sup>将日本安川MOTOMAN SV3X型机器人与光学导航相结合,在人体颅骨上模拟颅面骨畸形整复手术,可实现机器人末端执行器定位误差小于2 mm,方位角度误差小于5°,导航及机器人的配准误差是其主要存在的问题。

2.1.3 腭裂手术 机器人辅助腭裂修复术近年来也受到了部分学者的关注,取得了一定的进展。最近,Khan等<sup>[21]</sup>利用Da Vinci机器人在儿童气道模型上进行了腭裂手术临床前试验,证实了经口腔的机器人腭裂修复术技术上的可行性。

Nadjmi<sup>[22]</sup>在尸体上模拟Da Vinci机器人辅助腭裂修复手术,实现了腭部肌肉的解剖分离及应用评估。随后该团队在10例唇腭裂患者上进行了临床应用,包括5例单纯腭裂、2例单侧完全腭裂伴唇裂、2例双侧完全腭裂伴唇裂、1例腭隐裂,平均年龄9.5个月(9~12个月),术中、术后均未见并发症,较常规手术平均住院日缩短1.4 d,但手术时间平均增加35 min。Nadjmi认为机器人手术可以减少肌肉的血管、神经以及黏膜表面的损伤,提高腭及咽鼓管的功能,高分辨率的3D成像技术也可弥补触觉反馈缺失的不利因素,并且相比较传统手术术者的不自然姿式,机器人手术更符合人体工程学。

### 2.2 肿瘤手术

2.2.1 经口入路手术 经历早期的探索,经口Da Vinci



机器人手术近年来取得了长足的发展,并且于2009年通过了美国FDA的批准可选择性的用于头颈部良、恶性肿瘤手术<sup>[23]</sup>。2011年, Walvekar等<sup>[24]</sup>第一次报道了Da Vinci机器人手术在前口底用于双侧舌下腺囊肿摘除的病例,术后颌下腺导管及舌神经未见损伤。他们认为机器人手术能够提供高清的三维放大图像,操作灵活、精准,手术效果更加可期,并便于教学,但是术后的长期复发率有待进一步研究。同年, Kayhan等<sup>[25]</sup>第一次报道了舌根部腺样囊性癌的经口机器人手术。术后生活质量高,半年未见复发或转移,证实了舌根部肿瘤行经口机器人手术的安全和有效性。

经口Da Vinci机器人手术在咽旁间隙肿瘤的患者当中应用也引起了更多学者的关注,多见于多形性腺瘤<sup>[26-27]</sup>、脂肪瘤<sup>[26,28]</sup>、神经鞘瘤<sup>[29-30]</sup>。Chan等<sup>[31]</sup>通过对44例行经口Da Vinci机器人手术的咽旁肿物患者回顾发现,无意中多形性腺瘤包膜破裂的患者高达24%,远高于开放式手术入路。Chan认为尖锐的器械、缺少触觉反馈、操作空间狭窄、缺乏双手操作、不能安全夹持包膜等均可导致如此高的发生率,必要的时候仍需要结合手指的钝性分离。经口机器人手术也被选择性用于咽旁肿瘤的治疗<sup>[30,32]</sup>。由于缺乏咬骨钳和动力装置,对于颅底肿瘤的患者机器人手术存在一定的限制,尤其是需要扩大切除的侵袭性或恶性肿瘤<sup>[33]</sup>。虽然经口机器人手术较传统手术有着独特的优势,但是也存在明显的手术禁忌<sup>[3,23,26]</sup>: 1) 肿瘤显露不充分,其主要取决于解剖因素(下颌后缩、张口受限、颈项僵直)及肿瘤位置、分期等; 2) 累及颈内动脉。

2.2.2 经耳后入路手术 颈部肿物的机器人手术可采用隐蔽的耳后入路:在发际线下0.5 cm,切口起自耳后沟向上弯曲延伸至外耳道平面,以胸锁乳突肌和耳大神经作为标记进行翻瓣,制备操作空间<sup>[34]</sup>。2013年, Park等<sup>[34]</sup>报道了9例颈部良性肿物经耳后入路的Da Vinci机器人手术,其中颌下腺切除6例(多形性腺瘤3例、慢性颌下腺炎3例)、第二鳃裂囊肿2例、淋巴结病变1例。平均翻瓣时间30.1 min,手术时间62.4 min,平均出血量6.6 mL,未见面神经下颌缘支、舌下神经及副神经损伤,术后美学效果满意。Park认为耳后入路的缺点主要在于切口距离病变位置较远,需要花费更多的时间进行制备皮瓣,同时长而薄的皮瓣可能发生缺血坏死。

机器人手术在颈淋巴清扫中的应用也是方兴未艾。2012年Lee与Kim等<sup>[35]</sup>在10例早期cN0的口腔鳞癌患者中行Da Vinci机器人辅助的肩胛舌骨上颈淋巴清扫术,未见明显术中并发症。在该研究中,同

传统手术相比,机器人手术的平均时间是其2倍,但是在引流置管时间、平均住院日、分检淋巴结数目方面无明显差别,术后美学效果的满意度明显高于前者。后来该团队<sup>[36]</sup>又对经耳后入路的机器人辅助的治疗性颈淋巴清扫术进行了对照研究(机器人手术20例,传统手术33例),结果显示较传统的颈部横切口,耳后切口明显减少术后的淋巴性水肿。在随访时间内(机器人手术组平均为8个月,传统手术组平均为9.3个月),机器人手术组未见复发,传统手术组2例复发。Kim认为机器人手术术中操作细致,不会过紧的夹持标本,从而可减少肿瘤种植的发生。

2.2.3 穿刺手术 穿刺手术机器人多见于神经外科、泌尿外科、心胸外科、腹腔外科等用于活检、射频消融、近距离放疗等。目前针对颅颌面外科的穿刺手术机器人系统未见报道。笔者所在的单位目前正致力于颅底以及面侧深区疾病穿刺手术机器人的研发,现已处于医学实验阶段。Bale等<sup>[37]</sup>将无框架的立体定位装置安装于6个自由度的机械臂上,在导航的引导下用于三叉神经痛的射频热凝手术。在模型、尸体及临床试验中,平均定位精度可达 $(1.31 \pm 0.67)$  mm,并且在所有的尸体及患者穿刺试验中,均一次成功。

### 2.3 种植手术

作为辅助机器人的一种<sup>[4]</sup>,机器人辅助牙科种植手术也具有独特优势。2001年, Boesecke等<sup>[38]</sup>模拟了48例机器人辅助种植体植入术,可对术前设计的种植体位置、方向、深度精确定位,协助医生进行种植窝的制备。Sun等<sup>[39]</sup>提出了在医生监督下,通过机器人辅助种植手术系统自动执行术前设计的构想,避免了中间种植导板及医生操作所带来的误差。他们认为注册是影响图像引导机器人辅助种植手术的最重要因素之一,可以决定整个系统的最终精度。Sun等<sup>[39]</sup>使用6个自由度的Mitsubishi机器人进行模型试验,结果显示注册精度可达 $(1.42 \pm 0.7)$  mm,表明了机器人辅助种植手术的可行性。

## 3 现状和展望

颅颌面外科所涉及的区域空间狭窄、结构复杂、美观要求高。与传统手术相比,机器人辅助颅颌面外科手术具有独特的优势<sup>[4,16-17,22,34,36]</sup>。1) 手术微创化:①经口或耳后隐蔽切口手术,避免了下唇切开或下颌骨劈开及颈部横切口,避免严重术后瘢痕,明显提高美学效果;②机器人手术减少气管切开的可能,术后愈合快,更早地接受辅助治疗;③

手术机器人可提供放大的高清图像,避免传统开放式手术对于精细结构如神经、血管、淋巴管等组织的损伤,减少术后并发症;④术中出血量少,术后恢复快,缩短平均住院日;⑤术后功能恢复好,生活质量高。2)提高手术质量:在狭窄的空间内手术机器人具有高分辨率的三维视野,操作更灵活,定位精确,同时可以滤除手部的震颤,保证手术的安全性和高效性。3)符合人体工程学,降低劳动强度。

目前应用到临床的手术机器人,体积庞大、花费高昂,并且大多没有考虑力觉反馈的问题,成为了约束机器人手术发展的一个瓶颈。手术机器人在颌颌面外科中的应用尚存在如下的问题<sup>[22-23,31,33-35]</sup>。

1)颌颌面手术常同时涉及软组织和骨组织,目前并没有专门的手术机器人和器械可适用于颌颌面外科所有手术,尤其是涉及到颌底区的恶性肿瘤;2)机器人手术微创化的需要,切口距离病变位置较远,制备较长的皮瓣可导致手术时间的延长及皮瓣的缺血坏死;3)机器人手术在颌颌面外科尤其是肿瘤外科、整复外科中,由于相关手术器械的缺乏、微创切口导致操作空间的狭窄及其最重要缺陷——触觉反馈的缺失可能会造成肿瘤破裂种植、颈内动脉损伤、组织撕裂及灼伤的风险,尤其在缺乏相关经验的情况下。机器人手术的临床应用目前仍属于起步阶段,还有很长的路要走,伴随科技的进步及研究的深入,适用于颌颌面外科的专科机器人及相关的器械、基于力觉反馈的模拟和远程手术将是未来的研究和发展方向,颌颌面外科手术也将更加微创、精准。

#### [参考文献]

- [1] 段星光,郭传斌. 机器人技术在外科辅助手术中的研究与应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2012, 47(8):453-457.  
Duan XG, Guo CB. The research and application of the robot-assisted surgery[J]. Chin J Stomatol, 2012, 47(8):453-457.
- [2] 温玉明,李龙江. 口腔颌面-头颈肿瘤外科——我国口腔颌面肿瘤学科建设的历史和发展方向[J]. 华西口腔医学杂志, 2006, 24(1):5-6.  
Wen YM, Li LJ. Oral and maxillofacial-head and neck oncological surgery—the history of discipline construction and development direction of the oral and maxillofacial oncology of China[J]. West Chin J Stomatol, 2006, 24(1):5-6.
- [3] 郭玉兴,郭传斌. 经口入路机器人手术在咽旁颞下区肿瘤外科中的应用进展[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2014, 49(1):83-85.
- [4] Korb W, Marmulla R, Raczkowski J, et al. Robots in the operating theatre—chances and challenges[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2004, 33(8):721-732.
- [5] Davies B. A review of robotics in surgery[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2000, 214(1):129-140.
- [6] Kwok YS, Reed IS, Chen JUY, et al. New computerized tomographic-aided robotic stereotaxis system[J]. Robot Age, 1985, 7(6):17-22.
- [7] Davies BL, Hibberd RD, Coptcoat MJ, et al. A surgeon robot prostatectomy—a laboratory evaluation[J]. J Med Eng Technol, 1989, 13(6):273-277.
- [8] Taylor RH, Mittelstadt BD, Paul HA, et al. An image-directed robotic system for precise orthopaedic surgery[J]. Calixarenes Nanoworld, 1994, 10(3):261-275.
- [9] Taylor RH, Joskowicz L, Williamson B, et al. Computer-integrated revision total hip replacement surgery: concept and preliminary results[J]. Med Image Anal, 1999, 3(3):301-319.
- [10] Davies BL, Harris SJ, Lin WJ, et al. Active compliance in robotic surgery—the use of force control as a dynamic constraint[J]. Proc Inst Mech Eng H, 1997, 211(4):285-292.
- [11] Marohn MR, Hanly EJ. Twenty-first century surgery using twenty-first century technology: surgical robotics[J]. Curr Surg, 2004, 61(5):466-473.
- [12] Camarillo DB, Krummel TM, Salisbury JK Jr. Robotic technology in surgery: past, present, and future[J]. Am J Surg, 2004, 188(4A Suppl):2S-15S.
- [13] Marescaux J, Leroy J, Gagner M, et al. Transatlantic robot-assisted telesurgery[J]. Nature, 2001, 413(6854):379-380.
- [14] Kavanagh KT. Applications of image-directed robotics in otolaryngologic surgery[J]. Laryngoscope, 1994, 104(3 Pt 1):283-293.
- [15] Lueth TC, Hein A, Albrecht J, et al. A surgical robot system for maxillofacial surgery[C]//Industrial Electronics Society, 1998. IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 1998, 4:2470-2475.
- [16] Genden EM, Desai S, Sung CK. Transoral robotic surgery for the management of head and neck cancer: a preliminary experience[J]. Head Neck, 2009, 31(3):283-289.
- [17] Selber JC. Transoral robotic reconstruction of oropharyngeal defects: a case series[J]. Plast Reconstr Surg, 2010, 126(6):1978-1987.

- [18] Theodossy T, Bamber MA. Model surgery with a passive robot arm for orthognathic surgery planning[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2003, 61(11):1310-1317.
- [19] Omar EA, Bamber MA. Orthognathic model surgery by using of a passive Robot Arm[J]. *Saudi Dent J*, 2010, 22(2):47-55.
- [20] 陈黎明, 栾楠, 张诗雷, 等. 颅颌面骨畸形整复手术中辅助机器人的应用[J]. *机械与电子*, 2010(4):57-60.  
Chen LM, Luan N, Zhang SL, et al. Research on the application of multi DOF robot on orthognathic navigation surgery[J]. *Mach Electron*, 2010(4):57-60.
- [21] Khan K, Dobbs T, Swan MC, et al. Trans-oral robotic cleft surgery (TORCS) for palate and posterior pharyngeal wall reconstruction: a feasibility study[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2016, 69(1):97-100.
- [22] Nadjmi N. Transoral robotic cleft palate surgery (TORCS) [J]. *Cleft Palate Craniofac J*, 2015, 44:e114-e115.
- [23] Rinaldi V, Pagani D, Torretta S, et al. Transoral robotic surgery in the management of head and neck tumours[J]. *Ecan-dermedicalscience*, 2013, 7:359.
- [24] Walvekar RR, Peters G, Hardy E, et al. Robotic-assisted transoral removal of a bilateral floor of mouth ranulas[J]. *World J Surg Oncol*, 2011, 9:78.
- [25] Kayhan FT, Kaya H, Yazici ZM. Transoral robotic surgery for tongue-base adenoid cystic carcinoma[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 69(11):2904-2908.
- [26] Arshad H, Durmus K, Ozer E. Transoral robotic resection of selected parapharyngeal space tumors[J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2013, 270(5):1737-1740.
- [27] O'Malley BW Jr, Quon H, Leonhardt FD, et al. Transoral robotic surgery for parapharyngeal space tumors[J]. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2010, 72(6):332-336.
- [28] Mendelsohn AH. Transoral robotic assisted resection of the parapharyngeal space[J]. *Head Neck*, 2015, 37(2):273-280.
- [29] Lee HS, Kim J, Lee HJ, et al. Transoral robotic surgery for neurogenic tumors of the prestyloid parapharyngeal space[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2012, 39(4):434-437.
- [30] Ansarin M, Tagliabue M, Chu F, et al. Transoral robotic surgery in retrostyloid parapharyngeal space schwannomas[J]. *Case Rep Otolaryngol*, 2014, 2014:296025.
- [31] Chan JY, Tsang RK, Eisele DW, et al. Transoral robotic surgery of the parapharyngeal space: a case series and systematic review[J]. *Head Neck*, 2015, 37(2):293-298.
- [32] Bradley PJ, Bradley PT, Olsen KD. Update on the management of parapharyngeal tumours[J]. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*, 2011, 19(2):92-98.
- [33] O'Malley BW Jr, Weinstein GS. Robotic skull base surgery: preclinical investigations to human clinical application[J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2007, 133(12):1215-1219.
- [34] Park YM, Byeon HK, Chung HP, et al. Robotic resection of benign neck masses via a retroauricular approach[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2013, 23(7):578-583.
- [35] Lee HS, Kim WS, Hong HJ, et al. Robot-assisted supraomohyoid neck dissection via a modified face-lift or retroauricular approach in early-stage cN0 squamous cell carcinoma of the oral cavity: a comparative study with conventional technique[J]. *Ann Surg Oncol*, 2012, 19(12):3871-3878.
- [36] Kim WS, Byeon HK, Park YM, et al. Therapeutic robot-assisted neck dissection via a retroauricular or modified facelift approach in head and neck cancer: a comparative study with conventional transcervical neck dissection[J]. *Head Neck*, 2015, 37(2):249-254.
- [37] Bale RJ, Laimer I, Martin A, et al. Frameless stereotactic cannulation of the foramen ovale for ablative treatment of trigeminal neuralgia[J]. *Neurosurgery*, 2006, 59(4 Suppl 2):ONS394-ONS402.
- [38] Boesecke R, Brief J, Raczowsky J, et al. Robot assistant for dental implantology[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. Berlin: Springer-Verlag, 2001:1302-1303.
- [39] Sun X, McKenzie FD, Bawab S, et al. Automated dental implantation using image-guided robotics: registration results [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2011, 6(5):627-634.

( 本文编辑 李彩 )