

头颈肿瘤与智慧外科专题 • 临床研究 •

## 导航手术在头颈肿瘤切除及重建中的临床应用\*

闫志伟, 李欢, 杨子桢, 孙杨, 杨向明, 王维戚, 杨新杰, 杨耀武, 魏建华<sup>△</sup>

710032 西安, 空军军医大学 军事口腔医学国家重点实验室(闫志伟、李欢、杨子桢、孙杨、杨向明、王维戚、杨新杰、杨耀武、魏建华); 710032 西安, 空军军医大学第三附属医院 口腔疾病国家临床医学研究中心(闫志伟、李欢、杨子桢、孙杨、杨向明、王维戚、杨新杰、杨耀武、魏建华); 710032 西安, 空军军医大学第三附属医院 陕西省口腔疾病临床医学研究中心(闫志伟、李欢、杨子桢、孙杨、杨向明、王维戚、杨新杰、杨耀武、魏建华); 710032 西安, 空军军医大学第三附属医院 颌面外科(闫志伟、李欢、杨子桢、孙杨、杨向明、王维戚、杨新杰、杨耀武、魏建华)

**[摘要]** 目的: 探讨导航手术在头颈肿瘤切除及重建中的实用性及价值。方法: 选择历年接受导航辅助头颈部肿瘤切除及修复的 10 例病例, 所有病例均利用 Brainlab 导航系统进行术前规划, 术中配准引导术者对肿瘤进行优化的专业处理, 包括减少入路损伤、加速术区定位及明晰切除范围等。术后对切缘、出血量、并发症、术后住院时间及患者主观评价等情况进行评估。结果: 颅底肿瘤组切缘阳性率仅 3.3%; 骨纤维异常增殖组手术范围标准客观明确, 术后患者均对组织损伤程度及治疗效果感到满意; 骨瓣修复组导航辅助移植骨精确就位, 可同期义齿种植并成功恢复咬合, 患者满意度高。结论: 导航手术可定位头颈部肿瘤位置、边界及邻近的重要血管神经等结构, 显著提高肿瘤手术的精准性, 减少损伤, 降低相关的并发症, 确保手术的安全, 具有一定的应用价值。

**[关键词]** 外科手术; 计算机辅助; 头颈部肿瘤; 最小侵入性外科手术; 安全

**[中图分类号]** R617; R782.05; R782.2 **[文献标志码]** A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2021.12.006

**引文格式:** Yan ZW, Li H, Yang ZH, et al. Clinical application of navigation-assisted surgery in head and neck tumor resection and reconstruction[J]. J Cancer Control Treat, 2021, 34(12): 1123-1130. [闫志伟, 李欢, 杨子桢, 等. 导航手术在头颈肿瘤切除及重建中的临床应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2021, 34(12): 1123-1130.]

## Clinical Application of Navigation-Assisted Surgery in Head and Neck Tumor Resection and Reconstruction

Yan Zhiwei, Li Huan, Yang Zihui, Sun Yang, Yang Xiangming, Wang Weiqi, Yang Xinjie, Yang Yaowu, Wei Jianhua

State Key Laboratory of Military Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China (Yan Zhiwei, Li Huan, Yang Zihui, Sun Yang, Yang Xiangming, Wang Weiqi, Yang Xinjie, Yang Yaowu, Wei Jianhua); National Clinical Medicine Center for Oral Disease, School of Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China (Yan Zhiwei, Li Huan, Yang Zihui, Sun Yang, Yang Xiangming, Wang Weiqi, Yang Xinjie, Yang Yaowu, Wei Jianhua); Shaanxi Clinical Research Center for Oral Diseases, School of Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China (Yan Zhiwei, Li Huan, Yang Zihui, Sun Yang, Yang Xiang-

**[收稿日期]** 2021-09-01 **[修回日期]** 2021-11-21

**[基金项目]** \* 军事口腔国家重点实验室自主研究课题(编号:2019ZA03、2018ZA03); 空军军医大学军事医学“珠峰工程”(编号:2019ZFB010); 空军军医大学第三附属医院医疗新技术新业务项目(2020)(编号:41742921212、4142Z13118、41742921320)

**[通讯作者]** <sup>△</sup> 魏建华, E-mail: weiyoyo@fmmu.edu.cn

ming, Wang Weiqi, Yang Xinjie, Yang Yaowu, Wei Jianhua); Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China (Yan Zhiwei, Li Huan, Yang Zihui, Sun Yang, Yang Xiangming, Wang Weiqi, Yang Xinjie, Yang Yaowu, Wei Jianhua)

**Corresponding author:** Wei Jianhua, E-mail: weiyoyo@fmmu.edu.cn

This study was supported by grants from National Center for Clinical Medicine of Oral Disease (No. 2019ZA03, No. 2018ZA03), the Fourth Military Medical University (No. 2019ZFB010) and School of Stomatology of the Fourth Military Medical University (No. 41742921212, No. 4142Z13118, No. 41742921320).

[ **Abstract** ] **Objective:** To introduce the practicality and value of navigation-assisted surgery in head and neck tumor resection and reconstruction. **Methods:** Ten cases of head and neck tumor guided by computer-aided navigation for resection and repair were selected in recent years. Preoperative surgical plans were made for all cases by using the Brainlab navigation system. The treatment was professionally optimized guided by intraoperative registration to reduce entry access injuries, help locate the surgical area, define the resection boundary, etc. Resection margins, blood loss, complications, postoperative length of stay and patients' feedback were evaluated after surgery. **Results:** The positive margin rate was 3.3% in patients with skull base tumor. The criteria for the surgery scope were objective and clear in patients with fibrous dysplasia. All patients were satisfied with the therapeutic effects and the degree of tissue injuries. Bone grafts were precisely in place in the navigation-assisted bone flap reconstruction, and successful dentures were successfully implanted during the same period, with high satisfaction. **Conclusion:** Computer-aided navigation is applicable in that it can help locate the position, boundary and adjacent important vessels/nerves of head and neck tumors, significantly improve the accuracy of surgery, ensure the safety of surgery, and reduce complications and damage on patients.

[ **Key words** ] Surgical procedures; Computer-aided design; Head and neck neoplasms; Minimally invasive surgical procedures; Safety

手术切缘是影响肿瘤复发的重要因素之一,尽可能彻底地切除肿瘤是治疗成功的关键<sup>[1]</sup>。头颈部涉及多个解剖区域,组织结构复杂,毗邻或涉及重要的神经、血管等,且与呼吸、吞咽及发音等多种功能密切相关。头颈部肿瘤往往引发患者功能障碍及外貌畸形,而传统治疗视野的局限导致手术难度大、功能影响广、挑战性高,任何不当处理都可造成严重的并发症,甚至危及患者的生命<sup>[2]</sup>。因此,为了减小手术创伤,加快头颈部功能及外形的恢复,术区边界准确定位对头颈部肿瘤手术效果起着关键性的作用<sup>[3-4]</sup>。达到手术精确、微创、直观和恢复理想的功能与外形,就需要精细的术前设计、准确的术中控制和可期的术后预测。

随着科技进步,计算机辅助外科技术为外科手术的发展开辟了一个崭新的领域。计算机辅助导航手术(computer assisted navigation surgery, CANS)可在术中随时了解手术器械、病变及与患者解剖结构的关系,突破传统外科手术在三维空间及手术视野上的局限性,帮助术者更精确、更安全地进行多种复杂手术,CANS在外科手术方面具有许多不可替代的优越性,因其精准、安全、低辐射等特点使其在临床实践中逐渐得到广泛应用<sup>[5]</sup>。

CANS是术前医学影像与计算机辅助定位的完美结合,可为外科医师提供术前规划标记,术中立体可视化定位和器械位置实时显示。术者可据此尽可

能地追踪病变,严格遵从肿瘤切除原则及术前设计,提高手术操作的精确度,在安全的边界内切除病变组织,以减少重要神经、血管的损伤,进而降低手术创伤及风险,达到术后快速康复,降低术后并发症发生率<sup>[6]</sup>。本文主要回顾CANS在我院头颈部肿瘤切除及重建治疗中的应用,将其临床作用及现阶段面临的问题进行分析。

## 1 病例资料与方法

### 1.1 病例来源

本文所述病例均收集自空军军医大学口腔医院颌面肿瘤外科2014~2017年收治的9例头颈肿瘤患者,其中男性6例,女性3例;颅底肿瘤3例,骨纤维异常增殖症2例,骨瓣重建4例。所有病例术中均采用计算机辅助导航技术辅助手术。

### 1.2 方法

获取患者影像资料经计算机辅助描记后,三维评估,术中通过导航引导手术切除,术中评估肿瘤实际位置、范围与术前标记的符合程度,术中以冰冻切片检测切缘,术后对所有患者进行出血量、并发症、术后住院时间及随访,评估治疗效果。

### 1.3 导航设备组成

导航设备由下列组件构成(图1):1)Kolibri工作站:用于完成CT或MRI图像处理的计算机与相关软件;2)头部定位设备:固定于患者头部,在手术

过程中保持定位头部位置,保证系统精度的前提;  
3)摄像头及移动式摄像支架:导航系统的核心部分,用于快速准确地测量手术器械与结构解剖的关系;  
4)Kolibri 推车:实时显示手术器械在图像模型上的位置。

### 1.4 原理

CANS 通过术前 CT 或 MRI 图像,形成二维、三维组织及肿瘤图像模型,术中建立患者头颈坐标系、

影像构建图像坐标系、测量的器械位置坐标系的联系<sup>[7]</sup>,实时显示手术器械和头颈部解剖的关系,辅助术者准确完成手术预案及操作<sup>[8]</sup>。导航系统显示界面除了功能键和菜单外,显示屏幕包括 4 个主要窗口(图 2)。前 3 个窗口分别显示冠状面、矢状面和轴位面 3 个剖面图像。以十字线表示探针位置。窗口可以根据实际需要显示立体模型,或显示内窥镜图像。

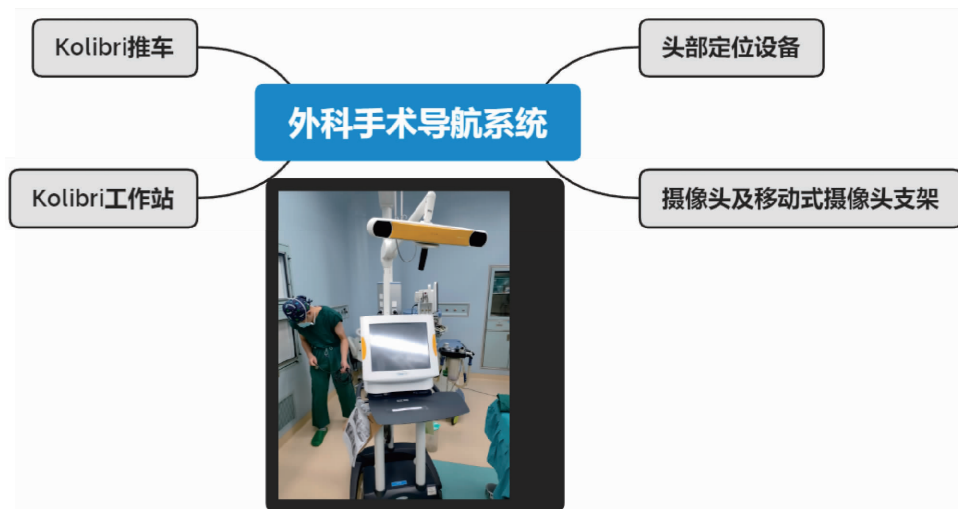


图 1 手术使用的 BrainlabKolibri 导航系统\*

Figure 1. A Display of the Brainlab Kolibri Navigation System Used in Surgery

\* To avoid any misinterpretation due to inconsistency caused by translation, only the original Chinese version is presented.

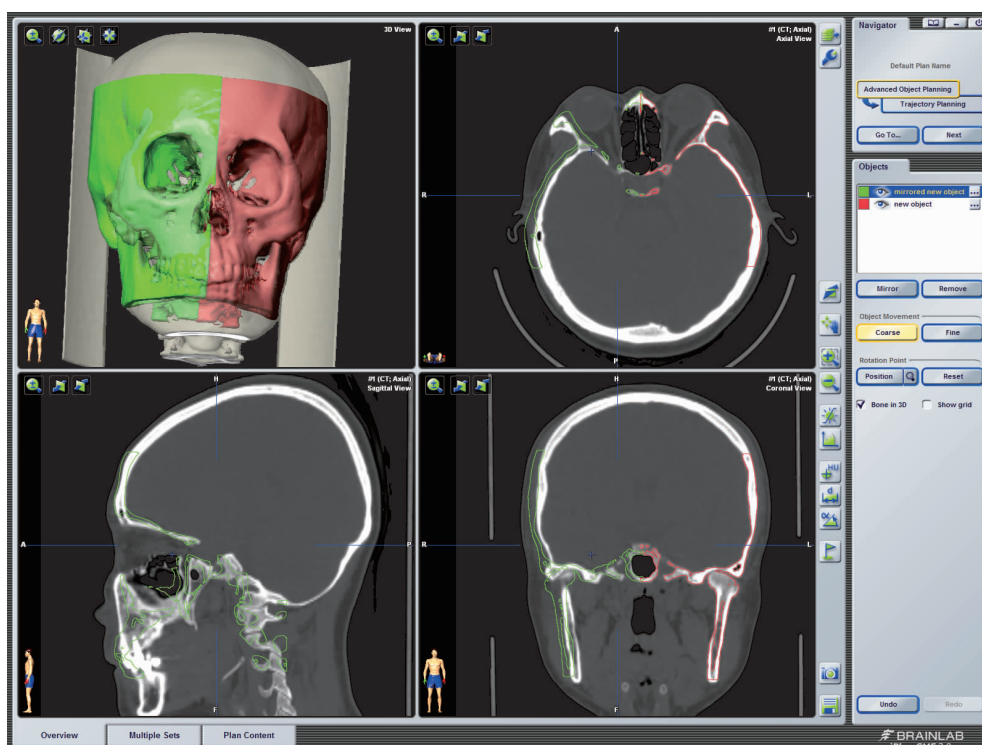


图 2 导航系统显示界面的 4 个主要窗口

Figure 2. The Four Main Windows in the Navigation System





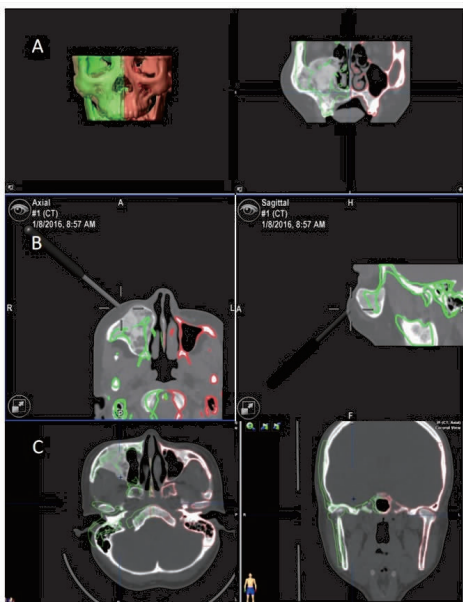


图 4 骨纤维异常增殖症患者  
Figure 4. Patients with Fibrous Dysplasia

A. The ground right maxillary was indicated by the green color, while the normal left maxillary was indicated by the red color); B. The positions where grinding was needed were confirmed by navigation during the surgery; C. The image drifted during the surgery due to tilted scanning plane and structural asymmetry.

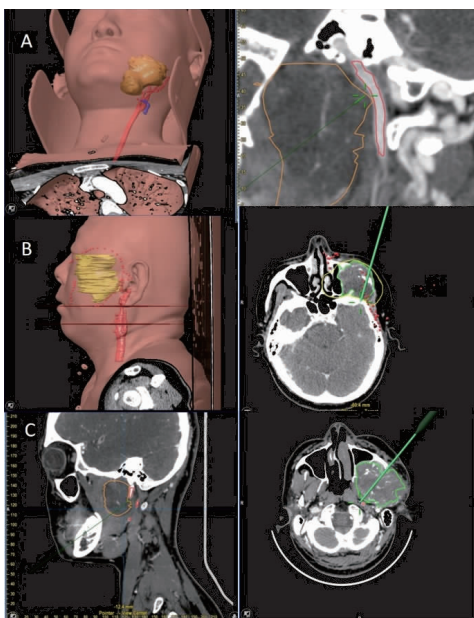


图 5 颅底肿瘤患者  
Figure 5. Patients with Skull Base Tumor

A. Relationship between the tumor and important structures indicated by the transparent images of the head and neck tumor reconstructed before surgery; B. The scope of resection was marked; C. Important tissue and structures were probed into for protection.

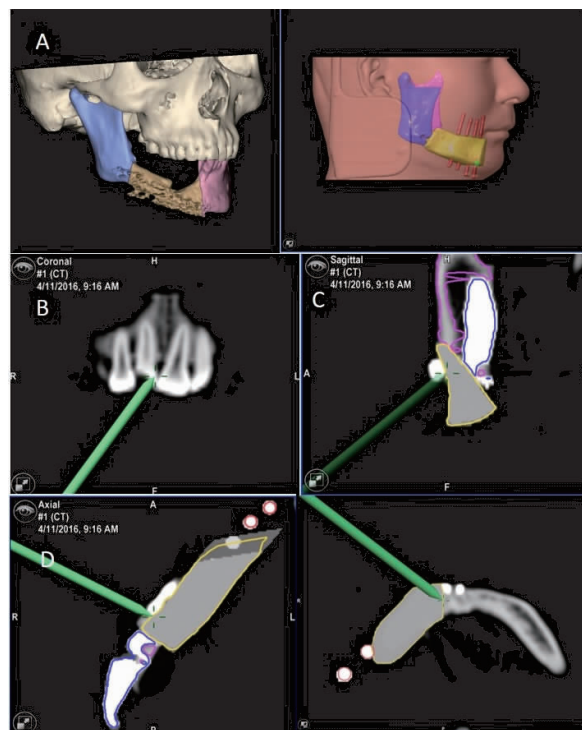


图 6 骨瓣修复重建下颌骨同期恢复咬合患者  
Figure 6. Mandibular Reconstructed by Bone Flap and Recovery of Occlusal Function

A. Mandibular ramus, bone graft and the ideal position of implantation were designed before surgery according to imaging data of malunion after right mandibular fracture; B. Verification after registration for navigation; C. The free bone graft was in place after resetting mandibular ramus (as indicated by the pink color); D. Accurate placement of the bone graft (as indicated by the yellow color) according to required occlusal function.

骨纤维异常增殖症组手术时间及出血量并无显著减少,但术中磨改标准明确,手术时间可控,术后肿胀可快速消退,术后患者对治疗效果及面型改善质量感到满意。

骨瓣修复重建平均出血最多,1 例出现局限性感染,余未出现影响功能及外形的严重并发症,导航引导下骨瓣精确就位可同期种植义齿,并重建咬合功能成功,节省患者花费,缩短患者治疗时间,患者满意度极高。

所有患者均正常恢复,顺利出院(表 1)。患者随访均对治疗效果及生存质量感到满意,达到了较好的治疗效果。结果提示导航手术在头颈肿瘤切除方面有优势,这种差异在深部近重要结构的肿瘤切除术中及精确的组织复位方面表现得尤为明显。

表 1 计算机辅助导航手术患者信息

Table 1. Information of Patients Received Surgery Guided by Computer-Aided Navigation

Surgical treatment	Gender	Preoperative preparation time (min)	Operation time (h)	Blood loss (mL)	Number of frozen biopsy samples (positive/total)	Performance-expectation gap (mm)	Complication	Postoperative length of stay (d)	Feedback
Surgery for skull base tumor	Male	≈ 80	≈ 5	≈ 250	0/10	≈ 5	None	7	Satisfied
	Female	≈ 90	≈ 6	≈ 300	1/12	≈ 8	None	7	Satisfied
	Male	≈ 75	≈ 6.5	≈ 250	0/8	≈ 5	None	8	Satisfied
Surgery for fibrous dysplasia	Female	≈ 25	≈ 2	≈ 100	(-)	≈ 5	Swelling	4	Satisfied
	Male	≈ 20	≈ 2.5	≈ 150	(-)	≈ 5	Swelling	5	Satisfied
Bone flap reconstruction	Male	≈ 100	≈ 8	≈ 400	0/5	≈ 5	Infection	11	Satisfied
	Male	≈ 110	≈ 7.5	≈ 450	0/5	≈ 5	None	10	Satisfied
	Female	≈ 95	≈ 8	≈ 350	0/5	≈ 8	None	12	Satisfied
	Male	≈ 90	≈ 6.5	≈ 300	0/5	≈ 5	None	11	Satisfied

### 3 讨论

头颈部因其特殊的解剖部位,解剖结构复杂多样,手术治疗风险较大,而患者对保留功能和正常外观的需求较高,临床治疗面临巨大挑战<sup>[9]</sup>。因此,头颈部肿瘤手术需要对肿瘤进行细致的定位,了解肿瘤与周围重要比邻结构的关系,特别是关于肿瘤边缘与重要解剖结构间的空间关系<sup>[10]</sup>,以满足头颈部肿瘤治疗的精度要求。

头颈部传统诊疗模式通过 B 超、CT、MRI 等来确定肿瘤的病变范围、侵犯程度及与周围重要组织结构的关系,术前手术规划要依靠医生的临床经验来完成。由于患者个体之间差异,体位移动、肿瘤形变、软组织牵拉移位等特点,术中难以完全避免对重要组织及周围血管神经的伤害。同时医生术中判断肿瘤切缘的主要方法是通过触诊、视诊及术中冰冻病理,切除过程中难以精确定位肿瘤的边界,而术中阳性切缘会影响患者的预后,而盲目扩大切除可严重影响头颈部正常的功能,这是肿瘤术后复发及患者预后不良的原因之一<sup>[11]</sup>,因此术中客观评估肿瘤边缘的方法具有极大的价值。

基于图像引导的手术导航系统应运而生。导航的概念最早起源于“立体定向神经外科技术”。与常规手术相比,CANS 是数字化外科的一部分,它通过空间立体导航的精确匹配定位,实现了患者术前影像如 CT、MRI、PET 所得到图像数据资料与人体解剖结构的实时吻合,实现了临床操作与患者三维

重建图像的交互、实时应用,使术者随时了解手术器械的位置及与邻近组织的关系,能够准确按照术前规划完成手术,使以往治疗困难的疾病能够治疗,并降低手术风险,有助于提高手术的精确性、减少损伤<sup>[12]</sup>。

头颈肿瘤外科则运用其原理对肿瘤区域复杂的解剖和高风险切除过程进行立体可视化的术中定位操作,以便术者随时了解手术器械、肿瘤病变范围与患者解剖结构的关系,能有效降低手术创伤,最大限度地保留患者的功能和外形。近年来多名学者已将导航应用于头颈部的多种术式中,证明其临床适用及有效性<sup>[13]</sup>。意大利学者发现,肿瘤手术前标记切除范围轮廓,术者可根据导航的实时图像控制切除范围<sup>[14]</sup>;而同时切除后的术区可与标记切除范围轮廓重叠,可验证实操手术是否与术前计划符合。

我们将 CANS 应用于部分头颈肿瘤外科手术如骨纤维异常增殖症、颅底肿瘤、游离骨瓣移植同期种植体修复等的精确定位。医生在术中借助手术导航技术,为肿瘤手术、截骨术和缺损修复创造更好的条件和视野,为肿瘤切除、缺损修复重建手术提供了可靠的依据,结果显示可显著提高手术安全性及精确性。

颅底肿瘤治疗难点在于颅底包括入颅血管、神经等重要解剖结构,恶性程度较高的肿瘤,其局部浸润性很强,与正常的周围组织相比,肿瘤没有明显的界限,且易于沿神经扩散。孙国文团队<sup>[5]</sup>开展了 15 例导航辅助邻近颅底肿瘤手术,其利用导航确定肿

瘤与颅底的距离,并观测进入翼腭管内的神经血管束与肿瘤关系。我们认为颅底肿瘤手术有暴露硬脑膜、神经损伤及脑脊液瘘等风险。实时导航可以测量出肿瘤与重要组织结构之间的距离,可客观保持足够的手术安全边缘,指导对一定范围内可疑的神经、肌肉进行术中冰冻活检,达到安全阴性切缘,进而根据术前三维标记的位置精确定位截骨线位置,导航引导下分别精确定位每一个截骨平面的位置,保证手术的安全性的同时彻底切除肿瘤,弥补传统手术中医生完全依靠主观的临床经验和外科技能进行手术方案的制定和实施手术,从而提高手术精度,缩短手术时间,实施相对安全的手术。

骨纤维异常增殖症通常为单侧,手术治疗以恢复外形为主要目的,因此术前设计可以利用镜像技术,以通过中线矢状面作为对称平面,将健侧组织结构及形态对称到患侧,明确患侧解剖结构及其轮廓,从而恢复患侧的结构及形态,达到精确塑形,实现面部对称。

头颈部肿瘤切除常导致骨缺损,可引起功能障碍和畸形,需要骨瓣移植修复。导航技术还可辅助骨移植和就位等。头颈部骨瓣修复手术有利于患者恢复外形,重建咬合功能,但是靠传统的经验手术或者导航技术因为无法实时术中验证,常导致骨位置欠佳影响术后功能及外形恢复。在导航检查和引导下可将骨段精确复位于术前设计的位置,进行坚固内固定,使得移植骨的实际位置与术前设计完全吻合,精确重建设计目标<sup>[15]</sup>。彭欣团队<sup>[16]</sup>对常规术式与 BrainLab 导航引导下腭骨瓣修复术之间进行对比,发现后者术后与术前骨计划位置更符合,效果更满意。我们采用导航引导腭骨瓣就位,同期植入种植体,保证了骨瓣修复后上下颌对应的位置,为同期种植义齿的精确就位创造了良好的条件。

我们体会,CANS 技术在头颈-颌面肿瘤外科中可用于:1)术前规划模拟,制定手术计划,便于沟通交流;2)重建术区病变和术区解剖结构(如异物、肿瘤、骨骼等),显示适宜的手术路径;3)实时显示手术器械与肿瘤的空间位置关系,引导手术器械进路及方向;4)对重要器官和结构识别和保护,及时回避,避免误伤;5)有效控制肿瘤切除的边界,在切缘不足和盲目扩大间合理选择治疗范围;6)重建移植骨或植入物的形态和空间位置的检验和调整,精准复位。

目前的手术导航技术在临床应用中尚存在以下不足:1)术中精确度误差尚难达到肿瘤外科医生的

要求;2)软组织肿瘤存在结构性漂移,术中的精确度与详细的参照间存有差异,术中的应用需要一定经验;3)系统坐标与患者位置相匹配对应时耗时较长(30~40 min);4)无论何种定位模式,均易受到阻挡,与手术操作相互干扰;5)随着手术的进行,血液以及唾液等污染参考架上的荧光小球,影响导航的准确性和实时性;6)肿瘤边界信息的准确与否将严重影响导航系统的精度,手工方式勾画过程的精度受医生经验丰富程度的影响。

头颈部肿瘤的治疗需要涉及诊断、治疗和随访的多个阶段、多个专业,各时段、专业间的优化协调和信息自由流动是改善头颈部肿瘤管理的有效途径。导航辅助外科已成为头颈部领域的一种成熟技术<sup>[17-18]</sup>,导航图像除了在肿瘤切除中提供一层额外的安全和准确性,后续重建过程也允许最佳骨移植和组织植入<sup>[19-20]</sup>,并在后续的放疗规划中发挥作用<sup>[21]</sup>,如切缘或术中活检在空间中精确绘制,感兴趣区域屏幕截图或未来利用特定的空间坐标来定义,使外科医生能够绘制具有临床意义的危险区域,允许术后对特定风险区域进行密切的监测,并让后续治疗方案高效、直观。

总之,CANS 作为上帝视角,突破了术者有限的视觉范围,可视化肿瘤术区局部解剖的层层结构。CANS 有利于头颈部肿瘤的安全切除及精确复位,使数字化技术完美应用于严格的手术程序,未来有助于头颈肿瘤的远程操作辅助,将在头颈肿瘤的手术应用中具有越来越大的优势。

**作者声明:**本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可接受核查。

**学术不端:**本文在初审、返修及出版前均通过中国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

**同行评议:**经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

**利益冲突:**所有作者均声明不存在利益冲突。

**文章版权:**本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

#### [参考文献]

- [1] Wang Y, Sun G, Lu M, et al. Surgical management of maxillofacial fibrous dysplasia under navigational guidance [J]. Br J Oral

- Maxillofac Surg, 2015, 53(4):336-341.
- [2] 朱月圆,伏洁,邓传玺. 口腔癌术后患者吞咽障碍的研究进展[J]. 现代医学与健康研究电子杂志,2021,5(8):21-23.
- [3] Catanzaro S, Copelli C, Manfuso A, *et al.* Intraoperative navigation in complex head and neck resections: Indications and limits [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2017, 12(5):881-887.
- [4] He Y, Huang T, Zhang Y, *et al.* Application of a computer-assisted surgical navigation system in temporomandibular joint ankylosis surgery: A retrospective study [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2017, 46(2):189-197.
- [5] 刘喆,孙国文. 计算机导航技术在邻近颅底肿瘤病变手术中的应用[J]. 口腔医学研究,2018,34(4):419-423.
- [6] Chen L, Zhang F, Zhan W, *et al.* Optimization of virtual and real registration technology based on augmented reality in a surgical navigation system [J]. Biomed Eng Online, 2020,19(1):1.
- [7] 郭碧薇,李小丹. 导航技术在颅颌面外科的应用[J]. 中华整形外科杂志,2018,34(1):70-74.
- [8] 方驰华,张鹏,陈康. 数字智能化诊断与治疗技术在胆道恶性肿瘤中的应用[J]. 中华消化外科杂志,2019,18(2):111-116.
- [9] 于姝婷,冯国栋,高志强. 荧光分子成像技术在头颈部肿瘤手术中的应用[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志,2021,56(2):176-181.
- [10] 张清. 计算机导航辅助技术应用于骨肿瘤外科治疗的意义与未来发展[J]. 中华外科杂志,2021,59(9):721-724.
- [11] Thomas Robbins K, Triantafyllou A, Suárez C, *et al.* Surgical margins in head and neck cancer: Intra- and postoperative considerations [J]. Auris Nasus Larynx, 2019, 46(1):10-17.
- [12] 陈晓红,赵志奇,李文涛,等. 手术导航的发展历程及应用[J]. 国际耳鼻咽喉头颈外科杂志,2019,43(3):181-186.
- [13] Azarmehr I, Stokbro K, Bell RB, *et al.* Surgical Navigation: A systematic review of indications, treatments, and outcomes in oral and maxillofacial surgery [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2017, 75(9):1987-2005.
- [14] Tarsitano A, Ricotta F, Baldino G, *et al.* Navigation-guided resection of maxillary tumours: The accuracy of computer-assisted surgery in terms of control of resection margins - A feasibility study [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2017, 45(12):2109-2114.
- [15] Pietruski P, Majak M, Swiatek-Najwer E, *et al.* Navigation-guided fibula free flap for mandibular reconstruction: A proof of concept study [J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2019, 72(4):572-580.
- [16] Yu Y, Zhang WB, Liu XJ, *et al.* Three-dimensional accuracy of virtual planning and surgical navigation for mandibular reconstruction with free fibula flap [J]. J Oral Maxillofac Surg, 2016, 74(7):1503.e1-1503.e10.
- [17] Carl B, Bopp M, Saß B, *et al.* Reliable navigation registration in cranial and spine surgery based on intraoperative computed tomography [J]. Neurosurg Focus, 2019, 47(6):E11.
- [18] Polfliet M, Hendriks MS, Guyader JM, *et al.* Registration of magnetic resonance and computed tomography images in patients with oral squamous cell carcinoma for three-dimensional virtual planning of mandibular resection and reconstruction [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2021, 50(10):1386-1393.
- [19] Sukegawa S, Kanno T, Furuki Y. Application of computer-assisted navigation systems in oral and maxillofacial surgery [J]. Jpn Dent Sci Rev, 2018, 54(3):139-149.
- [20] Naujokat H, Rohnen M, Lichtenstein J, *et al.* Computer-assisted orthognathic surgery: Evaluation of mandible registration accuracy and report of the first clinical cases of navigated sagittal split ramus osteotomy [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2017, 46(10):1291-1297.
- [21] Schneider S, Dolde K, Engler J, *et al.* Commissioning of a 4D MRI phantom for use in MR-guided radiotherapy [J]. Med Phys, 2019, 46(1):25-33.