

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.09.001

· 专家论坛 ·

## 数字化外科技术在下颌骨缺损重建中的应用

彭歆, 章文博

北京大学口腔医院口腔颌面外科, 北京(100081)



**【作者简介】** 彭歆, 北京大学口腔医学院口腔颌面外科教授、主任医师、博士研究生导师, 口腔颌面外科副主任。现任中华口腔医学会口腔颌面外科专业委员会委员、中华口腔医学会口腔医学计算机专业委员会委员、中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会委员、中华医学会显微外科学分会青年委员、国际内固定学会颌颌面分会亚太理事会理事及中国区主席、亚太重建显微外科联盟中国部委员、卫生部医学考试中心专家委员会委员。主要专业领域为口腔颌面部肿瘤和缺损修复重建、涎腺疾病。目前已发表论文170余篇, 主持国家及省部级科研项目4项, 获国家和省部级科技进步奖6项。

**【摘要】** 下颌骨是面下1/3主要的骨性支架, 由于肿瘤切除、炎症及外伤等原因导致的下颌骨缺损, 严重影响患者的外形与功能。以腓骨瓣为代表的血管化游离骨组织瓣是目前修复下颌骨缺损的主要方法。传统的下颌骨重建手术, 主要依赖术者经验进行, 缺乏个性化的术前设计与精确的术中引导, 难以达到精确重建的目标。近年来, 虚拟设计、快速成型、手术导航等数字化技术已广泛应用于下颌骨缺损的重建手术中; 术前在数字化软件中对下颌骨肿瘤的切除及下颌骨缺损的重建手术进行精确的个性化设计; 术中使用手术导板或手术导航技术辅助将术前设计转化为现实。许多研究表明, 应用数字化外科技术, 可显著提高下颌骨缺损重建的临床治疗效果。本文将结合近年来国内外文献报道及作者课题组临床实践经验, 对数字化外科技术在下颌骨缺损重建中的应用进行归纳与总结。

**【关键词】** 下颌骨缺损; 修复重建; 数字化外科技术; 血管化骨组织瓣; 手术导航

**【中图分类号】** R782 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)09-0545-09

**【引用著录格式】** 彭歆, 章文博. 数字化外科技术在下颌骨缺损重建中的应用[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(9): 545-553.

**Application of digital surgical techniques in mandibular reconstruction** PENG Xin, ZHANG Wenbo. Department of Oral And Maxillofacial Surgery, Peking University School and Hospital of Stomatology, Beijing 100081, China  
Corresponding author: PENG Xin, Email: pxpengxin@263.net, Tel: 0086-10-82195210

**【Abstract】** The mandible is the most important bony support in the lower 1/3 skeleton of the face which is critical for both esthetics and function. Mandibular defects, resulting from tumor resection, can cause severe functional and cosmetic deformities. Nowadays, vascularized bony tissue transfer such as free fibula flap has been widely used for mandibular

**【收稿日期】** 2017-04-30; **【修回日期】** 2017-05-22

**【基金项目】** 科技部支撑计划项目(2014BAI04B06); 北京市科委首都市民健康培育项目(Z161100000116053)

**【通信作者】** 彭歆, 教授, 主任医师, 博士, Email: pxpengxin@263.net

reconstruction. However, traditional mandibular reconstruction based on clinical experience may have some problems in accuracy and efficiency because of lacking individualized design. In recent years, digital surgical techniques such as computer-aided design, rapid prototyping and surgical navigation have been used for mandibular reconstruction surgery. Accurate design for tumor resection as well as individualized design for mandibular reconstruction can be performed with computer preoperatively which help to turn the virtual plan into reality by using surgical guide or navigation. Many studies suggested that digital surgical techniques could significantly improve the clinical outcome of mandibular reconstruction. In this article, we summarized the application of digital surgical techniques for mandibular reconstruction based on our own experience and literatures review.

**【Key words】** Mandibular defect; Reconstruction; Digital surgical techniques; Vascularized bony tissue flap; Surgical navigation

下颌骨是面下 1/3 主要的骨性支架,由于肿瘤切除、炎症及外伤等原因引起的下颌骨缺损,不仅影响患者的外形与美观,还造成咀嚼、吞咽及言语等生理功能障碍,严重影响患者的生活质量和社交活动,导致沉重的心理负担和精神压力。随着个性化和功能性重建概念的提出,人们对于术后外形、咬合等功能恢复提出了更高的要求。为实现下颌骨的个性化及精确化重建,数字化外科技技术发挥着越来越重要的作用。自 1989 年 Hidalgo<sup>[1]</sup>首次将游离腓骨瓣应用于颌骨缺损的修复重建以来,以腓骨瓣为代表的血管化骨组织瓣已成为下颌骨缺损修复的最主要方法<sup>[2-6]</sup>。传统意义上的游离骨组织瓣下颌骨重建手术,主要由外科医生依据曲面体层摄影及螺旋 CT 等影像学检查结果,结合临床检查制定手术方案,术中根据术者经验完成肿瘤切除及缺损重建<sup>[7]</sup>。这种治疗方法是一种“经验依赖”的治疗流程,缺乏个性化的设计与精确的手术引导,治疗过程由外科医生主导,对于复杂的下颌骨缺损或者经验不足的外科医生,往往难以达到精确的重建效果。数字化外科技技术是综合了传统外科技技术、计算机成像技术、图形处理技术等各个学科的优势,逐渐兴起的一项技术,上世纪 90 年代开始首先被神经外科医生用于临床。该技术主要包括三维图像重建技术、计算机辅助设计技术、计算机辅助制造技术以及计算机导航技术和机器人手术技术等<sup>[8-9]</sup>。本世纪以来,数字化外科技技术已经逐步广泛应用于口腔颌面部创伤整复、正颌外科、修复重建外科等多个领域<sup>[10-17]</sup>。相比于传统的“经验依赖”的手术模式,数字化外科技技术的主要优势在于:①通过三维重建获得直观的三维可视化图像,提高诊断的精确性;②术前制

定完善的治疗方案,在模拟手术的过程中及时发现设计缺陷进行改进,提高手术效率;③术中实现精确引导与定位,提高手术精度;④术中精确定位重要解剖结构位置,提高手术安全性,降低手术并发症;⑤术后提供定量评价方法,利于客观地发现问题,以便改进。数字化外科技技术迅速发展,近年来已成为颌骨重建手术的常规辅助手段,使下颌骨缺损的精确重建与个性化重建成为可能。本文将结合近年来国内外文献报道及作者课题组临床实践经验,对数字化外科技技术在下颌骨缺损重建中的应用进行归纳与总结。

## 1 下颌骨缺损重建相关的数字化外科技技术

### 1.1 三维重建技术

三维重建技术是数字化外科技技术的基石。20 世纪 70 年代,计算机工程师发明了表面探测法则和 Matching Cubes 算法,将二维图像的边界连接起来还原为三维图像,标志着以三维重建为基础的数字化技术的开端<sup>[18]</sup>。三维重建的实现推动了外科手术学的发展。口腔颌面部解剖结构复杂,传统的治疗模式中,CT、MRI 等仅在二维层面提供了肿瘤、血管及软硬组织信息,其三维解剖毗邻关系需要术者的想象与经验判断,往往给临床医生造成困惑。而三维重建技术不仅可以提供直观清晰、形象具体的三维组织影像,还可以在数字化软件中在医生的控制下“运动”起来,使得医生可以从各个角度观察病变及其与周围重要解剖结构的毗邻关系,为精确诊断与精确治疗提供了有力支持。

在下颌骨肿瘤手术中,利用三维重建技术,可以在计算机软件中对下颌骨的三维结构进行精确

重建,在三维重建后的模型上判断下颌骨肿瘤的位置、范围及骨组织侵犯与破坏情况。直观的三维影像有助于医生进行手术设计并实施精确的下颌骨肿瘤切除术。

iPlan CMF 和 ProPlan 是目前颅颌面最常用的数字化设计软件。它们均可以输入各种影像学检查的 DICOM 格式数据(CT、MRI、CBCT等),并进行三维重建。与传统的X线平片及螺旋CT影像相比,在三维重建的模型上,医生可以更直观地判断肿瘤位置与范围,确定切除肿瘤所需的安全边界,有助于实施精确的下颌骨肿瘤切除手术。同时,在三维可视化的虚拟模型上进行虚拟手术,直观易懂,也可以在术前帮助医生向患者解释手术方案、促进医患沟通的进行。

### 1.2 计算机辅助设计技术

计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)即以CT、MRI等影像学数据为基础,在数字化软件中对手术过程进行虚拟设计。

传统的治疗模式中,下颌骨肿瘤的切除范围通常由术者依据临床检查及影像学检查结果粗略判定,缺乏个性化的手术设计。在血管化游离骨组织瓣重建下颌骨缺损过程中,如肿瘤范围较大,下颌骨外形破坏明显,咬合关系的恢复及移植骨的三维位置也通常依靠术者经验决定,而这种“经验依赖”的定位方法通常缺乏足够的精确性和稳定性,导致下颌骨位置恢复不精确,移植骨的三维位置不理想,难以获得满意的咬合关系及咀嚼功能修复,无法达到个性化的精确重建。

在三维重建的基础上,医生可以利用各种数字化软件在重建后的虚拟模型中进行下颌骨肿瘤与下颌骨缺损重建的虚拟设计。术前根据肿瘤的性质及三维位置,确定切除范围,在数字化软件中设计截骨线位置,进行虚拟截骨。下颌骨具有独特的马蹄形结构,下颌骨肿瘤通常导致下颌骨骨质破坏,使下颌骨失去正常的外形结构。在下颌骨重建过程中,恢复下颌骨正常的外形成为手术难点。

在数字化软件中,医生可以通过镜像技术,利用健侧的下颌骨对称至患侧,恢复被肿瘤破坏的下颌骨外形,为下颌骨外形的重建提供依据。利用数字化技术,医生同样可以在术前实现移植骨(腓骨/髂骨)虚拟定位设计。将患者供区数据导入数字化软件中,根据下颌骨缺损的范围及位置,精

确设计各段移植骨的长度与角度,使其在三维位置上满足外形和功能修复的需要。

### 1.3 3D打印手术导板

3D打印技术是快速成型(rapid prototyping)的一种,是以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术,自上世纪80年代后期开始兴起,是信息技术与先进材料技术、数字制造技术紧密结合的产物<sup>[19]</sup>。近年来,3D打印技术在临床医疗领域方面获得越来越多的应用。该技术是将术前设计在实际手术操作过程中实现转化的一种重要途径。

根据术前在数字化软件中的虚拟设计方案,可同步设计下颌骨截骨导板、腓骨/髂骨截骨导板、塑形导板等手术导板,进行3D打印。在手术中的下颌骨截骨、腓骨切断与塑形等步骤中,分别利用相应的3D打印导板指导手术进行,从而将术前虚拟设计的方案转化至实际手术中,达到精确切除、精确重建的目标。

此外,还可根据术前设计,打印出腓骨/髂骨重建后的下颌骨重建模型,预弯制个性化重建钛板,引导术中精确恢复下颌骨外形及咬合关系。此类方法通过各个环节的精确设计,减少了对主观经验的依赖,简化了手术操作,降低了手术难度。

随着各类数字化软件的普及与3D打印技术的推广,基于数字化外科技术的下颌骨重建模式已被广泛应用于临床。2004年Singare等<sup>[20]</sup>报道了应用计算机辅助设计技术设计半侧以内下颌骨大范围缺损的修复重建,并应用快速成型技术制造颌骨模型及钛支架,预先设计种植体实现种植与修复重建的同期进行。应用手术数字化导板,可获得良好的手术效果,并缩短手术时间。2009年Leiggener等<sup>[21]</sup>报道利用虚拟设计软件(Surgicase CMF)模拟下颌骨切除及重建手术,采用快速成型技术制造手术导板最终完成腓骨瓣修复下颌骨缺损。腓骨截骨和塑形导板上设计定位螺孔,便于导板固定,保证治疗精度,获得了满意的手术效果。

近些年来,数字化外科技术的精确度研究得到越来越多国内外学者的重视。Foley等<sup>[22]</sup>回顾性研究了8例应用CAD辅助设计制作手术导板和重建板完成游离骨瓣修复下颌骨缺损的患者,经过对比患者术前设计与术后结果,证实CAD/CAM技

术可以获得理想的精确度,在前后方向误差为0~0.7 mm,双侧髁突距离误差为0.7~4.5 mm,双侧下颌角间距离误差为0.7~4.8 mm。Roser等<sup>[23]</sup>选取采用计算机辅助设计、截骨及塑形导板以及术前预弯重建钛板的方法完成腓骨瓣修复下颌骨缺损的患者19例,比较患者术前设计与术后实际下颌骨及腓骨截骨线、重建钛板重合度,发现下颌骨及腓骨截骨线的平均误差分别为:(2.00±1.12)mm、(1.30±0.23)mm,通过手工弯制的重建钛板与术前设计的重合度为58.73%±8.96%,研究认为该方法最大的误差来自于手工弯制的重建钛板,同时也证明了数字化外科技术应用于下颌骨缺损重建的可靠性。

大量的研究表明,数字化外科技术为下颌骨缺损的个性化重建提供了可能。良好而精确的术前设计结合3D打印手术导板应用,提高了下颌骨重建的精确度,获得了良好的临床治疗效果。

然而,该方法仍存在一定的与局限性。现有的计算机辅助设计几乎完全基于骨性组织结构,无法对软组织的影响进行精确的估计与判断,各类手术导板均是基于骨性结构设计而成。在实际手术过程中,软组织的影响却不可忽视。软组织的存在一方面影响术前对肿瘤范围的判断,一旦发现术中需更改实际切除范围,手术导板将不可使用;另一方面影响手术导板与骨组织的贴合程度,会对手术的精确性造成一定程度的影响。

另外,使用各类手术导板时,为使其充分就位而与骨组织获得最佳贴合,需要扩大手术暴露范围,在一定程度上增加了手术创伤。

#### 1.4 手术导航技术

手术导航技术是另一种将虚拟设计转化为手术实际的有效途径,是数字化外科技术在临床应用取得成功的关键。手术导航技术就是以CT、MRI等提供的影像学数据为基础,通过立体定位技术,直观显示解剖结构以及手术器械,逐步引导手术按照术前设计方案实现,从而准确高效的完成复杂精确的手术<sup>[24]</sup>。手术导航技术最早也最成熟用于神经外科领域<sup>[25-27]</sup>。本世纪以来,在颅颌面手术中得到越来越广泛的应用<sup>[28-31]</sup>。

目前,导航技术对于眼眶、颧骨复合体以及面中部骨折畸形重建的报道较多,但对于肿瘤切除术后重建尤其是下颌骨缺损的导航重建报道相对较少。

多数观点认为,下颌骨的活动性限制了导航技术在下颌骨重建中的应用。然而,Bell等<sup>[32]</sup>提出了3种解决下颌骨导航手术的方法:①在CT扫描前将上下颌固定在一起,但对于口内手术不可行;②使用牙弓夹板或者手工将下颌骨固定在正中关系位,但下颌骨位置的变换使导航精度下降;③在下颌骨安装定位装置,专门为下颌骨导航定位所用。近年来,导航技术也越来越多地应用于下颌骨的修复重建中,多项研究验证了导航技术应用于下颌骨重建中的可靠性和稳定性<sup>[33-34]</sup>。

手术导航技术在下颌骨缺损的修复重建手术中,主要应用于两个方面。在下颌骨肿瘤切除阶段,根据术前虚拟设计的截骨范围,采用导航技术分别精确定位每一个截骨平面的位置,完成肿瘤切除与下颌骨区段截骨,使得肿瘤切除范围与术前设计完全一致。在修复重建阶段,精确定位重建钛板及移植骨的三维位置,使之与术前设计完全吻合。同时,验证髁突位置及下颌骨中线位置,维持正常的咬合关系与下颌骨对称的外形。

与手术导板相比,导航技术的优势在于可以在三维位置上进行“实时”验证与引导。对术前设计的手术方案,既可以精确执行,也可以根据实际情况进行灵活调整。其缺点在于:①操作难度相对较大,导航系统定位后仍需通过人工对下颌骨及腓骨进行固定,骨段位置需反复验证;②需配备导航仪设备及相应软件,成本较高,推广应用相对困难。

#### 1.5 三维测量与评价

传统的下颌骨重建治疗模式中,通常只能根据患者术后外形与影像学表现对修复效果进行粗略的主观评价,缺乏客观的评价指标。采用数字化技术,可以对术后的效果进行客观的三维测量与评价。基于术后的影像学数据,我们可以获得重建后的下颌骨三维模型。在数字化软件中,将重建后的下颌骨模型与术前设计的理想下颌骨模型进行三维匹配,通过色谱分析的方法,分析重建误差。

还可在数字化软件中建立三维坐标系,在同一坐标系内比较术前术后下颌骨各主要标志点坐标及下颌角角度的差异,评估修复重建手术的精确度。该方法为下颌骨缺损的重建效果提供了一种量化的评价标准,并可直观地帮助术者发现术中的问题,以便更好地提高与改进。

## 2 数字化外科技术在下颌骨缺损修复重建中的临床应用

近年来,本单位及本课题组在数字化外科技术辅助下颌骨缺损的修复重建方面进行了系统深入的研究,现将主要研究结果进行介绍。

### 2.1 数字化外科技术辅助游离腓骨瓣修复下颌骨缺损

目前,游离腓骨瓣已成为修复下颌骨缺损的最主要方法之一<sup>[2-6]</sup>。随着数字化外科技术的发展,计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术已广泛应用于游离腓骨瓣重建下颌骨缺损的手术中,取得了良好的临床效果<sup>[21-23]</sup>。

本课题组采用回顾性研究的方法,探讨以术前虚拟设计与手术导航为主的数字化外科流程在下颌骨缺损修复重建中的应用效果<sup>[35]</sup>。研究纳入游离腓骨瓣修复半侧下颌骨缺损的29例良性肿瘤患者为研究对象。分为3组:A组10例患者,按照术者经验完成腓骨瓣修复下颌骨缺损;B组7例患者,采用计算机辅助设计辅助手术实施;C组12例患者,应用计算机辅助设计及导航技术指导手术实施(图1)。对比分析所有患者的术前及术后髁突位置、下颌角点位置偏移以及下颌角角度的变化,并记录所有手术的手术时间。结果显示:29例患者中,12例患者保留患侧髁突,术后髁突均位于关节窝内,17例患者切除髁突,应用游离腓骨瓣重建髁突。A、B、C组术后重建髁突的位置偏移距离依次分别为 $(18.4 \pm 2.9)$  mm、 $(10.3 \pm 3.9)$  mm和 $(9.3 \pm 2.6)$  mm,A组与B组、C组的差异存在统计学意义( $P < 0.05$ ),B组和C组之间差异无统计学意义;A、B、C组患者手术前后下颌角点偏移距离依次分别为 $(12.8 \pm 3.8)$  mm、 $(12.5 \pm 3.8)$  mm和 $(7.3 \pm 2.5)$  mm,A组和B组下颌角点偏移距离高于C组,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ),A组与B组下颌角点偏移情况差异无统计学意义;A、B、C组患者下颌角角度偏差依次分别为 $8.7^\circ \pm 4.3^\circ$ 、 $3.1^\circ \pm 2.0^\circ$ 和 $2.6^\circ \pm 1.4^\circ$ ,A组下颌角角度偏差明显高于B组和C组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),B组和C组差异无统计学意义。A、B、C组患者的手术时间分别为 $(402 \pm 42)$  min、 $(392 \pm 55)$  min和 $(365 \pm 32)$  min,3组结果差异无统计学意义。以上结果表明:以术前虚拟设计与术中手术导航为代表的数字化外科技术,在不延长手术时间的前提下,可以显著提高游离腓骨瓣修复下颌骨缺损的精度,该方法具有良好的可行性和实用性,可显著提高游

离腓骨瓣功能性重建下颌骨缺损的临床治疗效果。

### 2.2 数字化外科技术辅助游离髂骨瓣精确修复下颌骨缺损

髂骨瓣是以旋髂深动脉及其伴行静脉为血管蒂的复合组织瓣。上世纪中期首先由Taylor等<sup>[36]</sup>报道,其后被大量应用于下颌骨重建。与腓骨瓣相比,髂骨瓣骨量(高度)充足,且髂嵴具有一定弧度,易与下颌骨外形匹配,因此得到国内外学者推崇。

然而,下颌骨重建术中,术者需通过临床经验对髂骨进行塑形以及固定,操作难度大,手术时间长,难以达到精确的、定量的控制,因此术后患者的外形与功能仍难以达到最满意的效果。

本课题组采用病例对照研究的方法,探讨应用数字化外科技术与个性化重建钛板,结合游离髂骨瓣精确修复下颌骨缺损的方法<sup>[37-38]</sup>。本研究纳入45例游离髂骨瓣修复下颌骨缺损的患者为研究对象,分为数字化设计组(15例)与传统经验组(30例)。在数字化设计组中,获取患者CT数据,在数字化软件中进行虚拟手术设计;3D打印下颌骨重建模型,在模型上预弯制个性化重建钛板;将带有重建钛板的三维模型进行CT扫描,数据导入数字化软件中;术中采用导航技术引导下颌骨截骨,并精确引导重建钛板的就位与固定,确定稳定的咬合关系;最后完成髂骨瓣修复,采用导航技术验证髁突、下颌骨下缘及移植骨位置等(图2)。传统经验组依靠术者经验进行手术。

对两组患者术后CT进行分析,比较髁突位置变化及下颌骨形态,采用色谱分析法评价修复精度。对患者进行术后随访,评估患者外形、义齿修复情况及并发症发生情况。结果显示:45例髂骨瓣修复下颌骨缺损病例,皮瓣成功率95.6%(43/45)。数字化设计组中,患者髁突位置变化程度明显小于传统经验组( $P < 0.05$ )。数字化设计组患者术后下颌骨形态显著优于传统经验组( $P < 0.05$ )。数字化设计组患者术后获得义齿修复率明显高于传统经验组( $P < 0.05$ )。数字化设计组患者对于术后外形满意度明显优于传统经验组( $P < 0.05$ )。两组患者术后感染、钛板外露、钛板折断、咬合紊乱等并发症发生率的差异无统计学意义。以上结果表明:数字化外科技术结合个性化重建钛板应用于髂骨瓣修复下颌骨缺损,可以提高手术的精确性、稳定性,降低手术操作难度,可显著提高游离髂骨瓣修复下颌

骨缺损的临床治疗效果。

2.3 数字化外科技术辅助下颌骨缺损的二期重建  
下颌骨缺损的二期重建一直是口腔颌面外科医生面临的难题。软组织的瘢痕挛缩及残余骨组

织的不稳定性,使得临床医生难以凭临床经验很好地恢复下颌骨的外形与正确的咬合关系。而数字化外科技术的发展,为下颌骨缺损的二期重建提供了新的思路与方法。

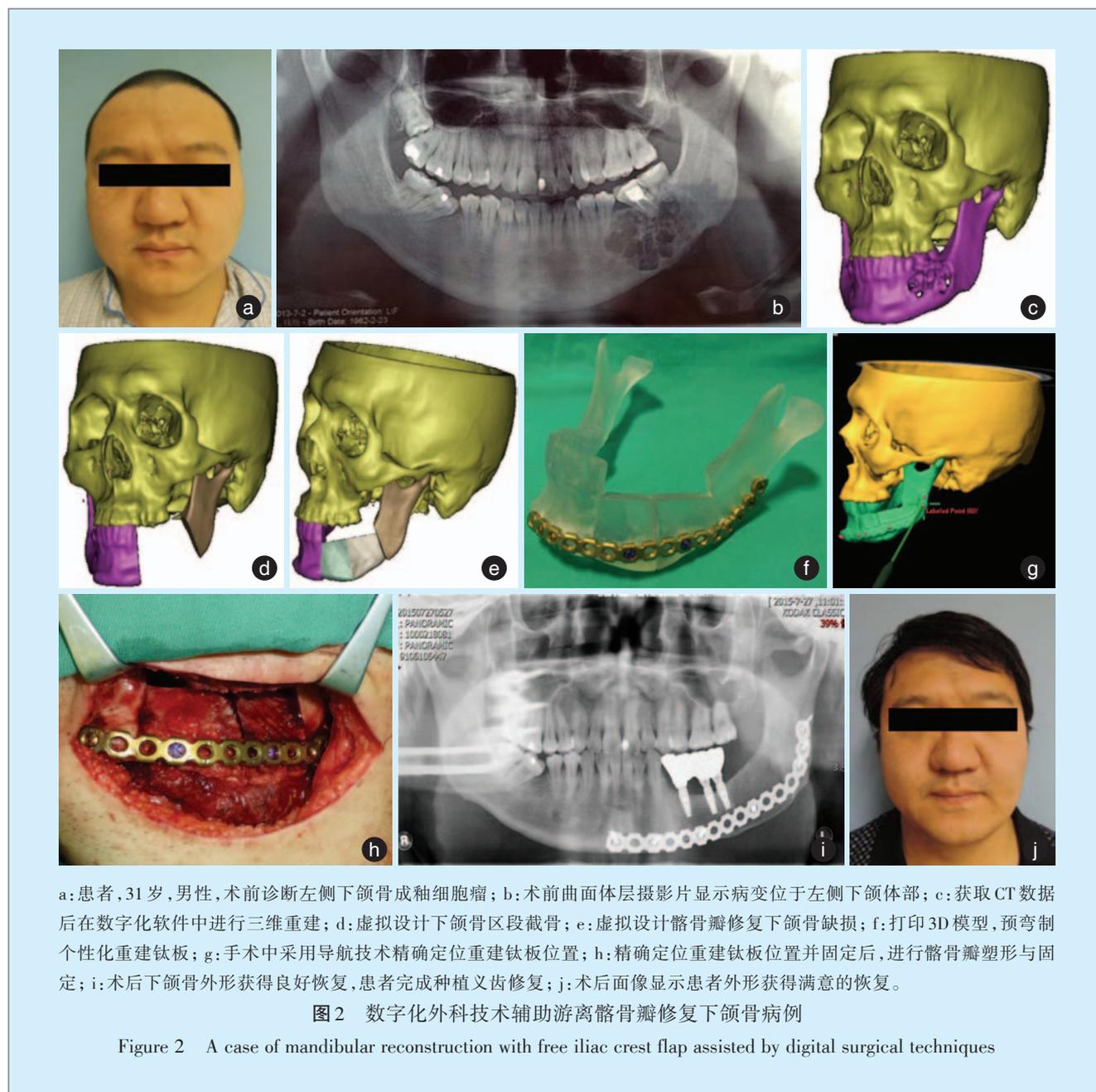


本课题组在临床实践中总结了数字化外科技术辅助下颌骨缺损二期重建的方法<sup>[39]</sup>:①获取患者的CT数据,导入数字化软件中,首先进行颈部重要血管的标记,评估主要动、静脉的位置与管径,为受区血管的选择提供依据;②对上颌牙列及

下颌残余牙列取印模,灌注石膏模型,上颌架,拼对咬合关系;③对牙列模型进行三维扫描,数据导入数字化软件中;④将患者头颅CT数据导入数字化软件中,上颌骨通过上颌牙列与上颌石膏牙列模型数据进行配置,根据牙列咬合关系调整残余

下颌骨位置,与下颌牙列数据进行配准,即可获得移动后的下颌骨位置;⑤根据缺损区形态与位置进行腓骨瓣重建的虚拟设计;⑥根据恢复后的咬合关系,打印3D咬合板,用于术中恢复咬合关系;⑦术中采用手术导航技术引导残余下颌骨复位,使用咬合板固定咬合关系,导航技术辅助精确定

位腓骨瓣就位与固定,完成手术。研究结果显示:术后实际下颌骨位置与术前设计偏差为 $(0.043 \pm 0.128)$ mm,最大偏差1.767 mm;髁突位置平均偏差 $(0.007 \pm 0.050)$ mm,最大偏差1.787 mm;腓骨段平均偏差 $(0.051 \pm 0.196)$ mm。患者对术后外形满意。



研究结果表明:虚拟手术设计结合手术导航等数字化外科技术的应用,降低了下颌骨缺损二期重建的难度,为下颌骨缺损二期的重建提供了新的思路和方法,有助于提高二期下颌骨缺损的临床治疗效果。

2.4 手术机器人在下颌骨缺损重建手术中的应用  
随着计算机辅助设计、手术导板、手术导航等数字化外科技术的应用,下颌骨重建的精确度及效果得到了极大的提升。然而,在此过程中仍包含诸多需由术者完成的操作与判断,导致重建后

的实际效果与术前设计相比仍不可避免地出现一定程度的偏差,下颌骨重建的精度仍有进一步提升的空间。

近年来,随着手术机器人技术的开发,为进一步提高下颌骨重建的精确度提供了可能。1991年,Taylor等<sup>[40]</sup>首先在整形外科手术中运用手术机器人。在口腔颌面外科领域,Kavanagh等<sup>[41]</sup>最先开展了手术机器人辅助上颌窦根治术的临床前试验。目前,手术机器人已被用于多种颅颌面手术治疗中,如经口内开颅术、口腔种植牙手术等,取得了良好的治疗效果<sup>[42]</sup>。然而,在颌骨缺损的重建方面的应用鲜有报道。

北京大学口腔医院颌面外科郭传斌课题组长期致力于用于口腔颌面部手术机器人的研发,首次开展了手术机器人辅助游离腓骨瓣修复下颌骨缺损的模型实验与动物实验<sup>[43]</sup>。实验采用“三臂”手术机器人辅助固定双侧游离端下颌骨及移植腓骨段。机器人具有“感应系统”与“视觉系统”,可根据术前设计准确定位下颌骨及腓骨位置。

实验结果显示,手术机器人辅助模型实验中,术后腓骨位置平均偏移1.22 mm;动物实验中,术后腓骨位置平均偏移1.77 mm;以上结果均明显优于传统手术与单纯导航手术。该结果证实了手术机器人在下颌骨重建手术中的应用价值与优势,但仍需进一步的大样本量的临床前试验验证临床实际的应用效果。

### 3 小 结

下颌骨肿瘤是口腔颌面外科医师面临的常见疾病,肿瘤切除导致的下颌骨缺损重建一直是临床治疗与讨论的热点。近年来,数字化外科技术的发展与应用,使下颌骨缺损的精确修复与个性化重建成为了可能,极大提高了下颌骨缺损修复重建的临床治疗效果。在精准医学理念的引领下,随着各项数字化技术的发展,下颌骨缺损重建的水平有望提升至新的高度。

#### 参考文献

- [1] Hidalgo DA. Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1989, 84(1): 71-79.
- [2] 邱勋永, 马心赤, 林崇正, 等. 应用吻合血管的游离腓骨瓣修复下颌骨缺损[J]. *中华显微外科杂志*, 2009, 32(2): 152-153.
- [3] 贺文鹏, 李家锋, 万延俊. 下颌骨节段性缺损修复方法的探讨[J]. *中华显微外科杂志*, 2013, 36(1): 67-69.
- [4] 石若梅, 徐家友, 张璐. 游离腓骨移植修复下颌骨缺损的临床应用[J]. *中华显微外科杂志*, 2012, 35(3): 231-232.
- [5] Li JS, Chen WL, Huang ZQ, et al. Pediatric mandibular reconstruction after benign tumor ablation using a vascularized fibular flap[J]. *J Craniofac Surg*, 2009, 20(2): 431-434.
- [6] Chim H, Salgado C, Mardinis, et al. Reconstruction of mandibular defects[J]. *Seminars in Hastic Surgery*, 2010, 24: 188-197.
- [7] 张益. 数字化技术及眼眶骨折精确重建[J]. *中华口腔医学杂志*, 2012, 47(8): 463-465.
- [8] Fernandes R, Dipasquale J. Computer-aided surgery using 3D rendering of maxillofacial pathology and trauma[J]. *Int J Med Robot*, 2007, 3(3): 203-206.
- [9] Cinquin P, Lavalley S, Barbe C, et al. Computer assisted medical interventions[J]. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1995, 14(3): 254-263.
- [10] Schubert W, Gear AJ, Lee C, et al. Incorporation of Titanium mesh in orbital and midface reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2002, 110(4): 1022-1030; 1031-1032.
- [11] Yu H, Shen G, Wang X, et al. Navigation-guided reduction and orbital floor Reconstruction in the treatment of zygomatic-orbital-maxillary complex fractures[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 68(1): 28-34.
- [12] Cordeiro PG, Chen CM. A 15-year review of midface reconstruction after total and subtotal maxillectomy[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2012, 129(1): 124-147.
- [13] Nakayama B, Hasegawa Y, Hyodo I, et al. Reconstruction using a three-dimensional orbitozygomatic skeletal model of Titanium mesh plate and soft-tissue free flap transfer following total maxillectomy[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2004, 114(3): 631-639.
- [14] He Y, Zhu HG, Zhang ZY, et al. Three-dimensional model simulation and reconstruction of composite total maxillectomy defects with fibula osteomyocutaneous flap flow-through from radial forearm flap[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2009, 108(6): e6-12.
- [15] Hohlweg-Majert B, Schön R, Schmelzeisen R, et al. Navigational maxillofacial surgery using virtual models[J]. *World J Surg*, 2005, 29(12): 1530-1538.
- [16] Austin RE, Antonyshyn OM. Current applications of 3-d intraoperative navigation in craniomaxillofacial surgery: a retrospective clinical review[J]. *Ann Plast Surg*, 2012, 69(3): 271-278.
- [17] Bell RB. Computer planning and intraoperative navigation in craniomaxillofacial surgery[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2010, 22(0): 135-156.
- [18] McCarthy JG, Schreiber J, Karp N, et al. Lengthening the human mandible by gradual distraction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1992, 89(1): 1-8; 9-10.
- [19] Derby B. Printing and prototyping of tissues and scaffolds[J]. *Science*, 2012, 338(6109): 921-926.
- [20] Singare S, Dichen L, Bingheng L, et al. Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping[J]. *Med Eng Phys*, 2004, 26(8): 671-676.
- [21] Leiggenger C, Messo E, Thor A, et al. A selective laser sintering

- guide for transferring a virtual plan to real time surgery in composite mandibular reconstruction with free fibula osseous flaps[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2009, 38(2): 187-192.
- [22] Foley BD, Thayer WP, Honeybrook A, et al. Mandibular Reconstruction using computer-aided design and computer-aided manufacturing: an analysis of surgical results[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2013, 71(2): e111-e119.
- [23] Roser SM, Ramachandra S, Blair H, et al. The accuracy of virtual surgical planning in free fibula mandibular reconstruction: comparison of planned and final results[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 68(11): 2824-2832.
- [24] Roberts DW, Strohhahn JW, Hatch JF, et al. A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope[J]. *J Neurosurg*, 1986, 65(4): 545-549.
- [25] 沙林, 李刚. 神经导航系统概况及其在神经外科手术中的应用[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2004, 9(12): 569-572.
- [26] 荆俊杰, 王守森, 王如密, 等. 神经导航注册方式对导航精度的影响[J]. *立体定向和功能性神经外科杂志*, 2006, 9(2): 109-110.
- [27] Ugur HC, Kahilogullari G, Attar A, et al. Neuronavigation-assisted transoral-transpharyngeal approach for basilar invagination--two case reports[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2006, 46(6): 306-308.
- [28] Fortin T, Coudert JL, Champeboux G, et al. Computer-assisted dental implant surgery using computed tomography[J]. *J Image Guide Surg*, 1995, 1(1): 53-58.
- [29] Meyer U, Wiesmann HP, Runte C, et al. Evaluation of accuracy of insertion of dental implants and prosthetic treatment by computer-aided navigation in minipigs[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2003, 41(2): 102-108.
- [30] Watzinger F, Birkfellner W, Wanschitz F, et al. Placement of endosteal implants in the zygoma after maxillectomy: a Cadaver study using surgical navigation[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2001, 107(3): 659-667.
- [31] Hassfeld S, Mühling J. Navigation in maxillofacial and craniofacial surgery[J]. *Compute Aided Surg*, 1998, 3(4): 183-187.
- [32] Bell RB, Weimer KA, Dierks EJ, et al. Computer planning and intraoperative navigation for palatomaxillary and mandibular Reconstruction with fibular free flaps[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 69(3): 724-732.
- [33] Wu J, Sun J, Shen SG, et al. Computer-assisted navigation: its role in intraoperatively accurate mandibular reconstruction[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2016, 122(2): 134-142.
- [34] Shan XF, Chen HM, Liang J, et al. Surgical navigation-assisted mandibular Reconstruction with fibula flaps[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 45(4): 448-453.
- [35] 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.
- [36] Taylor GI, Townsend P, Corlett R. Superiority of the deep circumflexiliac vessels as the supply for free groin flaps: experimental work[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1979, 64(5): 595-604.
- [37] Yu Y, Zhang WB, Wang Y, et al. A revised approach for mandibular reconstruction with the vascularized iliac crest flap using virtual surgical planning and surgical navigation[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 74(6): 1285.e1-1285.e11.
- [38] Zhang WB, Yu Y, Wang Y, et al. Improving the accuracy of mandibular reconstruction with vascularized iliac crest flap: Role of computer-assisted techniques[J]. *J Cranio Maxillofac Surg*, 2016, 44(11): 1819-1827.
- [39] Yu Y, Zhang WB, Liu XJ, et al. A new procedure assisted by digital techniques for secondary mandibular reconstruction with free fibula flap[J]. *J Craniofac Surg*, 2016, 27(8): 2009-2014.
- [40] Taylor RH, Paul HA, Mittelstadt BD, et al. An image-directed robotic system for precise orthopaedic surgery[J]. *Calixarenes Nano-world*, 1994, 10(3): 261-275.
- [41] Kavanagh KT. Applications of image-directed robotics in otolaryngologic surgery[J]. *Laryngoscope*, 1994, 104(3 Pt 1): 283-293.
- [42] De Ceulaer J, De Clercq C, Swennen GR. Robotic surgery in oral and maxillofacial, craniofacial and head and neck surgery: a systematic review of the literature[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2012, 41(11): 1311-1324.
- [43] Zhu JH, Deng J, Liu XJ, et al. Prospects of robot-assisted mandibular reconstruction with fibula flap: comparison with a computer-assisted navigation system and freehand technique[J]. *J Reconstr Microsurg*, 2016, 32(9): 661-669.

(编辑 张琳, 曾曙光)