

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2019.02.002

· 专家论坛 ·

## 数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用

李运峰, 祝颂松

口腔疾病研究国家重点实验室, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 四川大学华西口腔医院正颌与关节外科, 四川 成都(610041)



**【通信作者简介】** 祝颂松, 四川大学华西口腔医院教授、主任医师、博士研究生导师, 正颌与关节外科主任。美国密歇根大学牙学院访问学者, 国际牙医师学院院士。兼任中华口腔医学会颞下颌关节与颌学专业委员会副主任委员, 中国整形美容协会精准与数字分会颌面整复专委会副主任委员, 中华口腔医学会口腔颌面外科专业委员会委员, 中国医师协会睡眠医学专业委员会委员, 四川省口腔医学会口腔颌面外科专业委员会常务委员, 卫生部规划教材《口腔颌面外科学》编委, 国家自然科学基金评审专家, 《口腔疾病防治》杂志编委。主要研究方向为牙颌面畸形整复、面部轮廓整形、牵张成骨、数字化外科技术应用、颞下颌关节外科等领域的基础与临床研究。主持国家自然科学基金项目5项、省部级项目4项; 获得教育部科技进步奖一等奖、二等奖各1项, 中华口腔医学会科技进步一等奖1项。在国际知名学术期刊发表学术论文70余篇, 其中以第一或通讯作者发表SCI论文38篇, 参编专著4部。获国家发明与实用新型专利3

项, 培养和指导博士及硕士研究生18人。2011年入选四川省科技厅青年人才培养项目, 2012年入选教育部“新世纪优秀人才计划”, 2014年入选四川省学术和技术带头人后备人选。

**【摘要】** 牙颌面畸形是指在颌骨体积、形态, 以及上下颌骨之间及其与颅面其他骨骼之间的关系异常, 它的矫治主要涉及颌骨与牙齿等硬组织。近年来, 以虚拟手术、实时导航和快速成型(又称3D打印)为基本特点的数字化技术在牙颌面畸形矫治方面的应用十分广泛, 它在牙颌面畸形的术前诊断、手术方案制定、手术模拟、术中导航、效果预测、医患沟通、青年医师培训等方面具有显著的优势。四川大学华西口腔医院正颌与关节外科从2008年起开始开展牙颌面畸形的数字化诊疗工作, 建立了包括螺旋CT、牙弓激光扫描仪、面部三维照相机、虚拟手术软件、高精度3D打印机、睡眠呼吸监测仪等一整套设备在内的数字化诊疗中心, 制定并形成了包括数据采集、虚拟手术、3D打印手术导板、手术效果评价等内容的具有“华西特色”的牙颌面畸形数字化诊疗流程。本文以四川大学华西口腔医院正颌与关节外科近十年的数字化技术临床经验为基础, 并结合当前国内外最新文献, 介绍数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用。

**【关键词】** 牙颌面畸形; 数字化技术; 正颌外科; 关节外科; 快速成型; 牵张成骨术; 下颌角成形术

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2019)02-0074-09

**【引用著录格式】** 李运峰, 祝颂松. 数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用[J]. 口腔疾病防治, 2019, 27(2): 74-82.

**Application of digital technology in diagnosis and treatment of dentofacial deformities** LI Yunfeng, ZHU Songsong. State Key Laboratory of Oral Disease&National Clinical Research Center for Oral Diseases, Department of

**【收稿日期】** 2018-07-26; **【修回日期】** 2018-09-07

**【基金项目】** 国家自然科学基金面上项目(81470763)

**【作者简介】** 李运峰, 副教授, 博士, Email: doctorlyf@163.com

**【通信作者】** 祝颂松, 教授, 博士, Email: zss\_1977@163.com, Tel: 0086-28-85503530

Orthognathic and Joint Surgery, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University. Chengdu 610041, China

Corresponding author: ZHU Songsong, Email: zss\_1977@163.com, Tel: 0086-28-85503530

**【Abstract】** Dento-maxillofacial deformity refers to an abnormal relationship of the volume or shape of the upper and lower jaw bones with the other bones of the craniofacial area. Its correction mainly involves hard tissues, such as the jaws and teeth. In recent years, digital techniques based on virtual surgery, real-time navigation, and 3D printing have developed rapidly in the area of craniomaxillofacial surgery. Digital technology has advantages for preoperative diagnosis, surgical plan formulation, surgical simulation, intraoperative navigation, effect prediction, doctor-patient communication, and young physician training. The Department of Orthognathic and TMJ Surgery of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, has conducted digitized diagnosis and treatment of dento-facial deformities since 2008 and has established a digital center for the treatment of dentofacial deformities based on equipment such as spiral CT, dental arch laser scanners, facial 3D cameras, virtual surgery software, 3D printers, and sleep-breathing monitoring. The result is a diagnostic and treatment protocol for dentofacial deformity specific to the characteristics of the population of West China. This article combines the latest domestic and foreign literature and comprehensively introduces the application of digital technology for the diagnosis and treatment of dental and maxillofacial deformities.

**【Key words】** Dentofacial deformities; Digital technology; Orthognathic surgery; Joint surgery; Rapid prototyping; Distraction osteogenesis; Mandibular angle plasty

数字化技术是一项与电子计算机相生相伴的科学技术,它是指借助一定的设备将各种信息转化为计算机能识别的二进制数字,进行运算、加工、存储、传送、传播、还原的技术。数字化医学,是数字化技术与医学结合的前沿交叉学科。随着计算机技术在医学领域的不断深入,借助现代信息技术将医学研究和临床实践推到一个前所未有的新高度。以虚拟手术、实时导航和快速成型(又称3D打印)为基本特点的数字化外科始于21世纪初<sup>[1]</sup>。骨组织坚硬不易变形,且与其它组织密度不同而易于提取CT数据,这些均有利于通过计算机软件对骨组织进行切割、移动、旋转、镜像等操作,同时有利于在手术过程中进行实时导航和骨块模型的快速成型,因此数字化技术在口腔颌面外科领域尤其是涉及颌骨手术中的应用发展十分迅速<sup>[2]</sup>。

牙颌面畸形是指在颌骨体积、形态,以及上下颌骨之间及其与颅面其他骨骼之间的关系异常。由于同时涉及外形与咬合,因此需要“手术与正畸联合治疗”才能取得“功能与外形”俱佳的矫治目的。牙颌面畸形的矫治主要涉及颌骨与牙齿等硬组织,十分利于发挥数字化的技术优势,因此数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用走在了口腔颌面外科领域的前列。

四川大学华西口腔医院正颌与关节外科从2008年起开展牙颌面畸形的数字化诊疗工作,经过近10年的探索和发展,目前已经建立了专门的

数字化诊疗中心,配置了包括口内外牙弓激光扫描仪、面部三维照相机、手术模拟软件、高精度3D打印机、睡眠呼吸监测仪等在内的一整套数字化设备,并在国际知名学术期刊发表了一系列与牙颌面畸形数字化诊疗相关的学术论文,形成并制定了具有“华西特色”的牙颌面畸形数字化诊疗技术和流程。此外,还专门制定了针对牙颌面畸形诊治的住院医师专科培训系统,并将数字化技术纳入了培训的必修课程之一<sup>[3-5]</sup>。本文总结四川大学华西口腔医院正颌与关节外科近10年来利用数字化技术治疗牙颌面畸形的临床经验,结合当前国内外最新文献报道,综合介绍数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用。

### 1 数字化技术用于牙颌面畸形诊疗的工作流程

传统的牙颌面畸形诊疗流程应用多年,已经非常成熟。头影测量片、石膏牙模以及面部照片是诊断的主要依据。通过石膏牙模上颌架、面弓转移、模型外科等一系列操作,并利用自凝塑料制作咬合板,用于手术中确定咬合关系和颌骨位置<sup>[6]</sup>。目前,数字化技术在牙颌面畸形诊疗中的应用已经形成了一套稳定的操作流程。①数据采集:通常包括CT扫描数据、牙模的激光扫描数据、面部外形的三维照相数据;之后通过将上述数据导入专门的工作软件,建立虚拟综合头颅模型;②手术模拟:通过专业手术软件在3D模型上进行模拟手术操作,评价手术效果,确定最优手术方案<sup>[7]</sup>;

③制作3D打印手术导板:在虚拟手术和真实手术之间,需要一座连接的桥梁,将虚拟手术计划准确地转移到真实的手术中,最终达到和虚拟手术相同的效果。这座连接桥梁可以是术中实时导航,也可以是3D打印手术导板。综合四川大学华西口

腔医院正颌与关节外科经验以及国内外的文献报道,3D打印手术导板在数字化正颌外科的应用更加具有可操作性<sup>[8]</sup>;④效果评估:手术之后对比虚拟手术和真实手术的效果差异,评价手术方案执行的准确性(图1)。

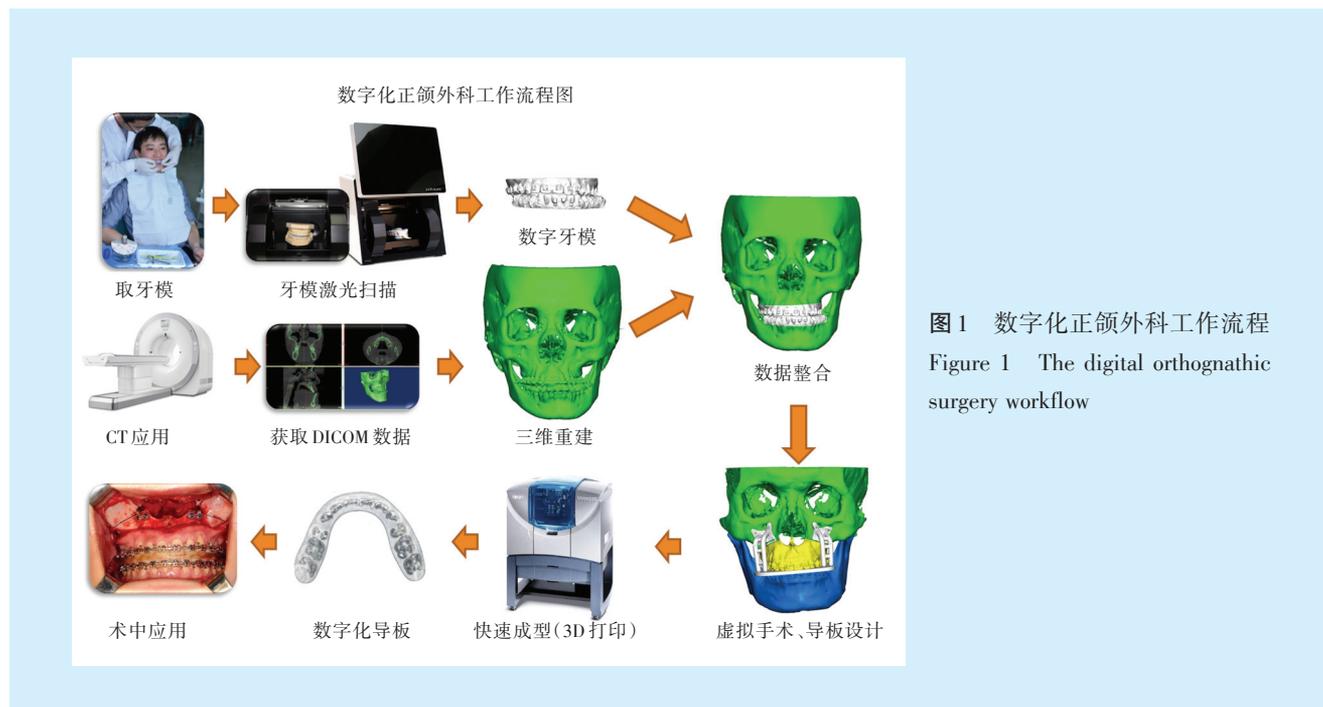


图1 数字化正颌外科工作流程  
Figure 1 The digital orthognathic surgery workflow

## 2 数字化技术的优缺点

与传统的牙颌面畸形矫治模式相比,数字化技术在术前诊断、手术方案的制定、手术模拟、术中导

航、效果预测、医患沟通、青年医师培训等方面具有显著的优势。表1综合比较了数字化技术和传统方法用于牙颌面畸形诊疗的不同特点。

表1 数字化技术和传统方法用于牙颌面畸形诊疗的比较

对比项目	传统方法	数字化技术
诊断	基于石膏模型和头影测量片 二维诊断	基于三维重建头颅模型 三维诊断
手术模拟	基于石膏牙模的模型外科 不能真实模拟骨块移动	基于软件的虚拟手术 真实模拟骨块移动
术前准备	制作石膏牙模、面弓转移、上殆架、模型外科、 手工制作咬合板;较费时费力	收集CT、牙弓、面相数据,虚拟手术,打印咬合板及手 术导板;较省时省力
术中操作	依靠术者经验操作 依靠咬合板定位骨块	依靠手术导板操作 依靠手术导板定位骨块
术后评价	基于咬合关系和头影测量片 不利于手术效果的反馈	基于三维重建头颅模型 方便进行手术效果的反馈
沟通交流	较抽象、不直观,不利于医患沟通	较形象、直观,利于医患沟通

### 2.1 手术方案

牙颌面畸形的传统诊断方式是使用二维的头影测量分析,这种方法在数据信息完整性存在明

显局限性,对于确定颌骨位置尤其是针对面部不对称等复杂畸形上显得尤为困难。而采用螺旋CT、牙弓扫描和面部三维照相构建的综合头颅模

型,则可以提供全方位的诊断信息,尤其是提供面部对称性的诊断信息,对手术有更大的指导意义<sup>[9-10]</sup>。其次,通过虚拟手术软件模拟真实的手术操作,大大提高了手术的可预见性,有利于外科医生更好地评估手术难度和风险并制定最优的手术计划。比如,对下牙槽神经三维定位可以降低术中神经损伤的风险,虚拟手术的结果可以帮助预见术中骨块移动时潜在干扰点和避免骨块移动后产生的台阶等<sup>[11-12]</sup>。

## 2.2 术前准备

术前准备主要有两个目的,一是模拟手术,二是制作携带有模拟手术结果信息的工具。传统方法是采用取牙模、灌注石膏模型、面弓转移、上颌架、切割石膏模型进行手术模拟,然后手工制成带有模拟手术信息的咬合板。这种传统模式主要有以下不足:①费时费力;②在模拟颌骨移动中具有很大的局限性,大都只能模拟颌骨的前后向移动,无法模拟其他方向尤其是需要调整垂直向高度的病例;③在面弓转移、上颌架、切割石膏模型等多个环节都存在产生较大误差的可能性;④最后制作的咬合板不仅不能包含模拟手术的完整信息,而且还可能带有错误的信息。

而数字化技术的术前操作流程包括数据采集、虚拟手术、打印手术导板这几个步骤,完全避免了手工操作可能带来的误差。其次,同时因为虚拟手术是非破坏性的,故可反复进行并对不同手术方案进行比较,选择最优方案。手术设计越复杂,数字化的优势体现越明显。再次,数字化手术模拟,不管是截骨范围还是骨块定位方式,与真实手术高度一致。尤其是上颌骨的定位方式,数字化技术不仅提高了手术的精确度,更是体现出了思路上的不同。传统方法通过下颌骨来定位上颌骨,而下颌骨是一块可以运动的骨,这种由下颌骨不确定性产生的误差可以转移至上颌骨,影响上颌骨的最终位置;而数字化技术依靠与颅骨的相对位置定位上颌骨,由于颅骨本身不可移动,从而保证了上颌骨位置的唯一性。最后,也是最为重要的一点,数字化设计结合3D打印的手术导板可以准确、完整的保存手术模拟结果的信息,从而为术中操作的简便和准确提供有利条件<sup>[13-15]</sup>。

## 2.3 术中操作

术中操作其实就是术者将模拟结果转移到真实手术的过程。在传统模式中,由于手工制作的咬合板所包含的模拟手术信息并不完整也并不准

确,因此主要依靠术者的经验来保证手术操作的准确性。而数字化模式中,由于手术模拟与真实手术完全一致,术者对于切骨部位、切除范围以及颌骨位置已有预期,可以缩短手术时间。其次,由于3D打印的手术导板不管是在手术信息的完整性还是准确性上均优于传统咬合板,对于术者的术中操作也更具指导意义,从而大大提高手术的准确性<sup>[16-17]</sup>。

## 2.4 术后评价

采用传统方法进行正颌外科手术,术后的评价方法主要包括头影测量分析、咬合关系以及主观的指标,比如患者的满意度、面部容貌的改变等,对于手术精确度的反馈是缺乏的;数字化技术在评价手术的精确性方面具有优势,通过虚拟手术模型和术后头颅模型的对比,可以对两个头颅模型之间的差异进行各种量化的比较。在一个包含30个患者的回顾性研究中,比较了虚拟手术和真实手术之间的差异,包括线性距离的差异和一些重要角度的差异。结果发现采用数字化技术操作的正颌手术,其最大线性误差在1.2 mm以内,最大角度误差在1.3°以内,完全符合临床上手术成功标准<sup>[18]</sup>。目前,本课题组正在进行一项针对双颌手术的前瞻性随机对照研究,其结果将有助于验证传统方法和数字化技术之间的准确性差异。

## 2.5 沟通交流

数字化技术还可以促进医患沟通,同时也有利于青年医师的培养。通过数字化手术模拟,患者可以了解手术流程和术后的颌骨改变。结合三维照相机的面部扫描数据,还可以模拟术后的外貌改变。但必须说明的是,目前虚拟手术软件对术后软组织的改变、也就是面部容貌的预测还不够准确,用于医患沟通时需要特别说明,以免产生误解。从青年医师培养的角度来看,有了数字化技术,年轻医生可以直接参与手术方案模拟和手术导板制作,有助于提高其对手术的理解和术中参与感,提升工作热情和工作效率。目前,我科已经把数字化技术的培训纳入到了牙颌面畸形住院医师规范化培训的必修课程<sup>[19]</sup>。

## 3 数字化技术在正颌手术中的应用

数字化技术的临床应用关键在于手术模拟和手术导板的制作。目前市场上有专门针对牙颌面畸形的成熟专业软件,因此在手术设计上并无太大问题。3D打印手术导板承载着虚拟手术所有的

必要信息,包括术前诊断、手术设计、骨块的精确切割和定位等,其包含的信息量要远远大于传统咬合板。3D打印手术导板是连接虚拟手术和真实手术的桥梁,它的完成则需要术者与技术人员之间的良好配合。一副设计良好的手术导板不仅可以保证手术能够按照预定计划顺利实施,同时还可明显减少依靠术者经验带来的误差,提高手术精确性。自2008年以来,四川大学华西口腔医院正颌与关节外科在3D打印手术导板应用上已经涵盖了几乎所有的正颌外科手术式。

### 3.1 上颌骨 Lefort I型骨切开术

上颌骨 Lefort I型骨切开术是矫治牙颌面畸形的常用手段<sup>[20-21]</sup>。该手术导板的设计完全摒弃了传统咬合板设计中利用下颌骨定位上颌骨的方法,直接利用颅骨定位上颌骨,大大提高了手术的准确性<sup>[22]</sup>。图2所示的3D打印导板是连接虚拟手术和真实手术的桥梁,按照术前设计完成虚拟手术后,通过这套导板将手术方案精确转移到真实的手术中。这套手术导板由一对“定位导板”、两对“连接杆”、一个咬合板组成,图3显示了这套导板的使用程序:①将咬合板定位到上颌牙弓上;②通过咬合板和第一对“连接杆”确定“定位导板”的位置,用钛钉将“定位导板”固定在上颌骨表面;③取掉咬合板和第一对“连接杆”,保留“定位导板”在上颌骨表面;④根据“定位导板”上预先设计的

切骨引导线进行骨切开操作,直到上颌骨完全松动;⑤利用咬合板、第二对“连接杆”和“定位导板”组合到一起,确定新的上颌骨位置进行坚固内固定;⑥再次利用咬合板来确定终末咬合关系,完成下颌骨矢状劈开术手术,最终完成双颌手术的全过程。图4是这一套3D打印手术导板在双颌手术中的具体应用过程。

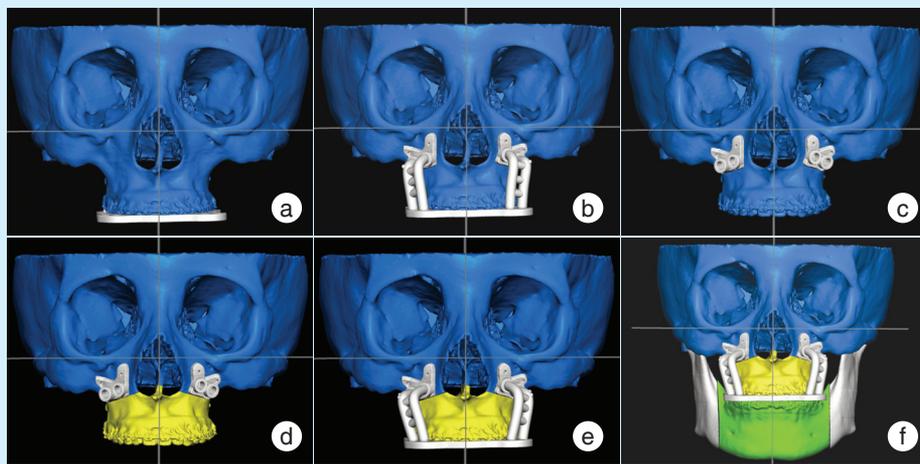


图2 用于指导上颌骨 Lefort I型骨切开术的3D打印导板

Figure 2 The 3D-printed surgical templates used for Lefort I osteotomy of the maxilla

### 3.2 牵张成骨术

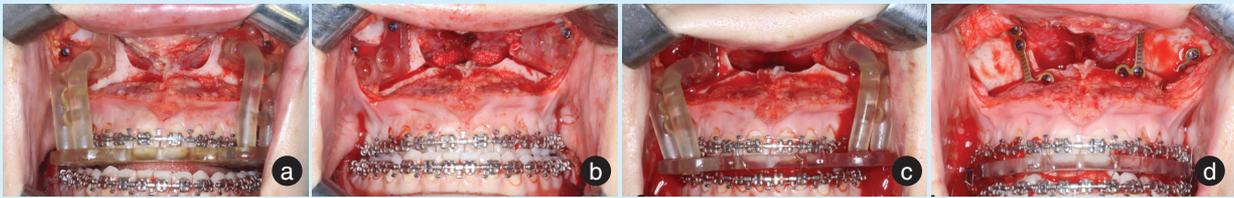
数字化技术在牵张成骨手术中的作用,主要体现在确定骨切开线和牵张器的方向。骨切开线通常应该选择在断面宽大、松质骨丰富的部位,有



通过图中的6个步骤完成双颌手术的操作,a:安放咬合板;b:通过第一对连接杆确定定位导板位置;c:拆除咬合板和连接杆,固定定位导板;d:通过定位导板行上颌骨切开术;e:通过咬合板和第二对连接杆确定上颌骨新的位置;f:通过咬合板确定下颌骨新的位置

图3 3D打印正颌手术导板的使用程序

Figure 3 The application of the surgical templates using virtual surgical planning



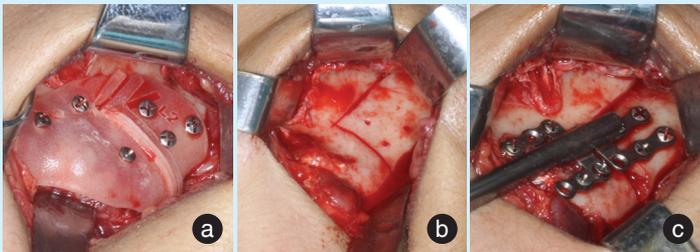
a:通过咬合板和第一对连接杆确定定位导板的位置;b:在定位导板的引导下行上颌骨Lefort I型骨切开术;c:利用咬合板和第二对连接杆确定上颌骨新的位置;d:利用咬合板确定下颌骨新的位置

图4 3D打印手术导板在上颌骨Lefort I型骨切开术中的全程应用

Figure 4 The application of the surgical templates in the operation room

利于保证牵张间隙内的成骨质量,同时尽量避免重要血管、神经、牙胚等结构。而牵张器的方向,则决定了骨延长的方向,决定了最终的咬合关系,非常重要。图5显示了在牵张成骨操作过程中用

来确定截骨线和牵张器位置的3D打印手术导板的术中应用情况,用来定位导板的钉孔和最终牵张器上的钉孔是一致的,依此定位牵张器的位置和方向。



a:根据颌骨表面形态确定导板位置,并采用2.0 mm钛钉固定导板;b:沿导板标识的切骨线行骨切开术,完成后拆除导板;c:根据导板确定的钉孔位置,直接用2.0 mm钛钉定位并固定牵张器

图5 用于确定骨切开线和牵张器位置的3D打印导板的术中应用情况

Figure 5 The application of 3D-printed surgical templates to determine the osteotomy line and the location of the distractor

### 3.3 下颌角成形术

数字化技术同样也可以用于颌骨轮廓整形术中,如下颌角成形术。通过数字化设计对截骨线进行精确控制,可以完美实现预期的下颌角形态和双侧下颌骨的对称性。图6a~d显示下颌角成形术所用手术导板的设计图,以及采用3D打印技术制作出来的手术导板;图6e~g显示手术导板在下颌角成形术中的应用情况,截除的下颌角可以完美匹配手术导板;图6h~j反应了术前、虚拟手术、实际手术的比较,虚拟手术和实际手术的效果是非常接近的<sup>[23]</sup>。

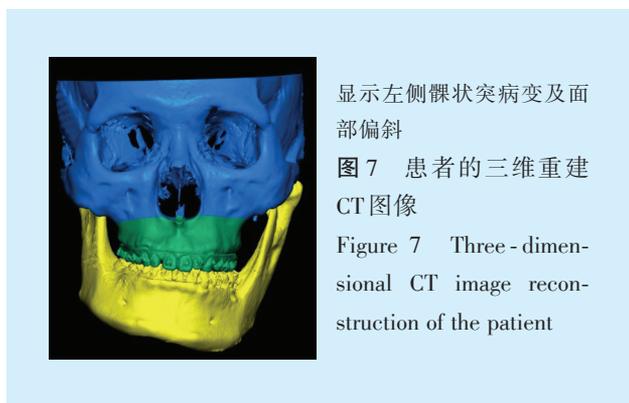
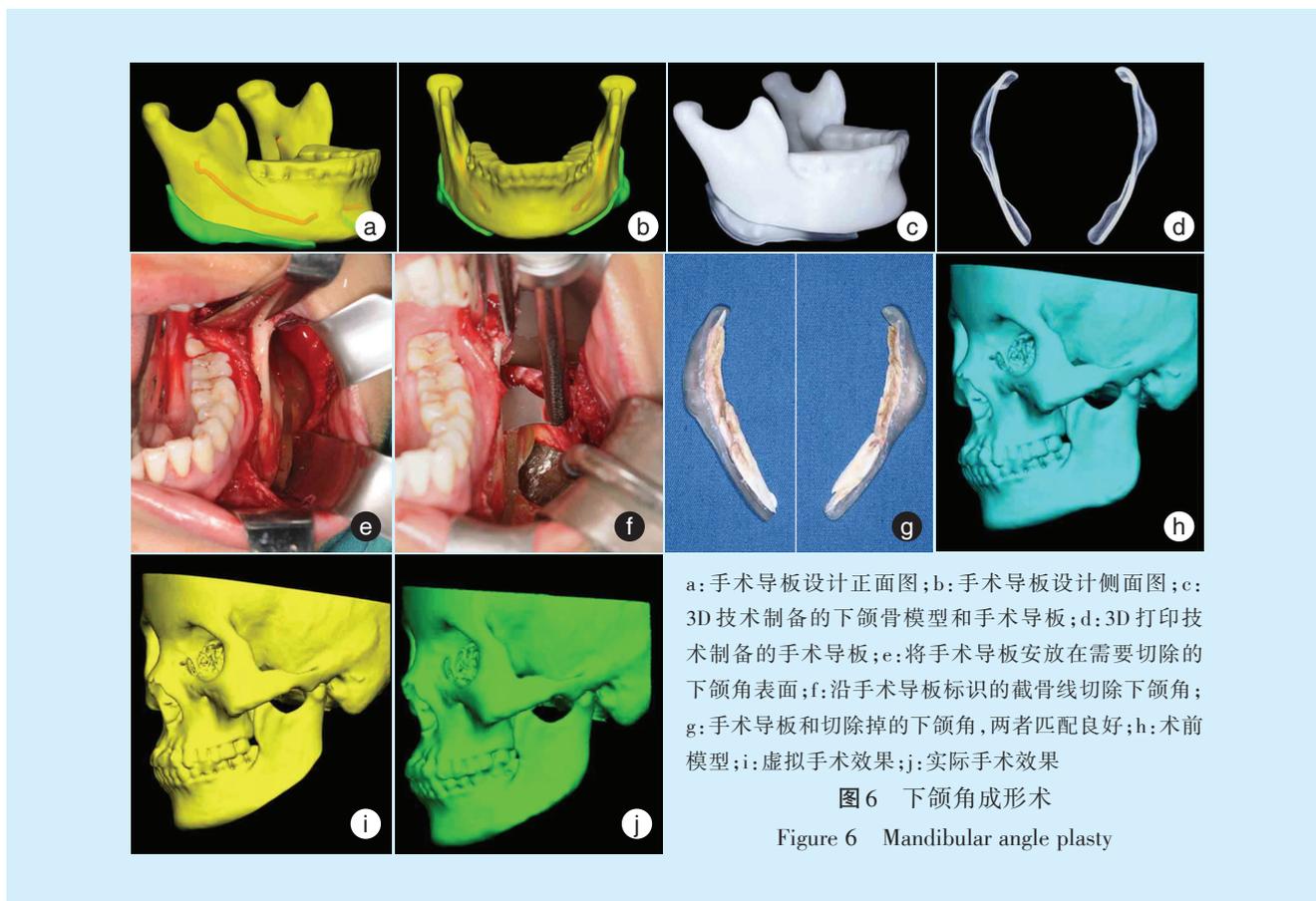
### 3.4 数字化技术在复杂病例的综合应用

通常来讲,手术越简单,数字化技术的优势越不明显,而手术越复杂,数字化技术的优势就越显著<sup>[24]</sup>。有些复杂的牙颌面畸形患者,治疗方法可能涉及关节外科、正颌外科、颌骨轮廓整形多方

面,数字化技术对这类复杂病例的治疗优势更加明显。以髁突骨软骨瘤伴发牙颌面畸形为例,介绍数字化导板的综合应用。该患者的主要问题有:左侧髁状突肿瘤、下颌偏斜、上颌骨代偿性偏斜;手术的目的包括:切除髁状突肿瘤、重建髁状突、摆正咬合平面、恢复面部对称性(图7)。虚拟手术的流程包括以下步骤:①上颌骨Lefort1型骨切开术摆正咬合平面(图8a~c);②切除病变髁状突组织,并重建髁状突(图8d~f);③利用镜像技术,切除患侧下颌下缘多余骨组织(图8g~i);④行颏成形术摆正偏斜的颏部(图8j~l)。

## 4 数字化技术的局限性与展望

数字化技术并非完美无瑕,也有其局限性。首先,数字化技术的应用对设备依赖性高、成本较高,其中涉及的螺旋CT、牙弓扫描仪、三维照相机、



手术模拟软件、3D打印机等设备价格不菲<sup>[24-27]</sup>;其次,必须要明确一点:手术越复杂,数字化技术优势就越明显;而对于简单的牙颌面畸形矫治,如单颌手术,数字化技术的作用就没有那么明显。近期有文献报道了虚拟手术和真实手术结果之间的匹配性,也就是数字化技术的准确性,但大多数研究包含的样本量不多;这些研究的结果表明,数字化正颌外科技术具有较高的精确度,能够达到满意的临床效果<sup>[28-32]</sup>。关于数字化正颌外科和传统正颌外科之间准确性的比较,目前还没有文献报

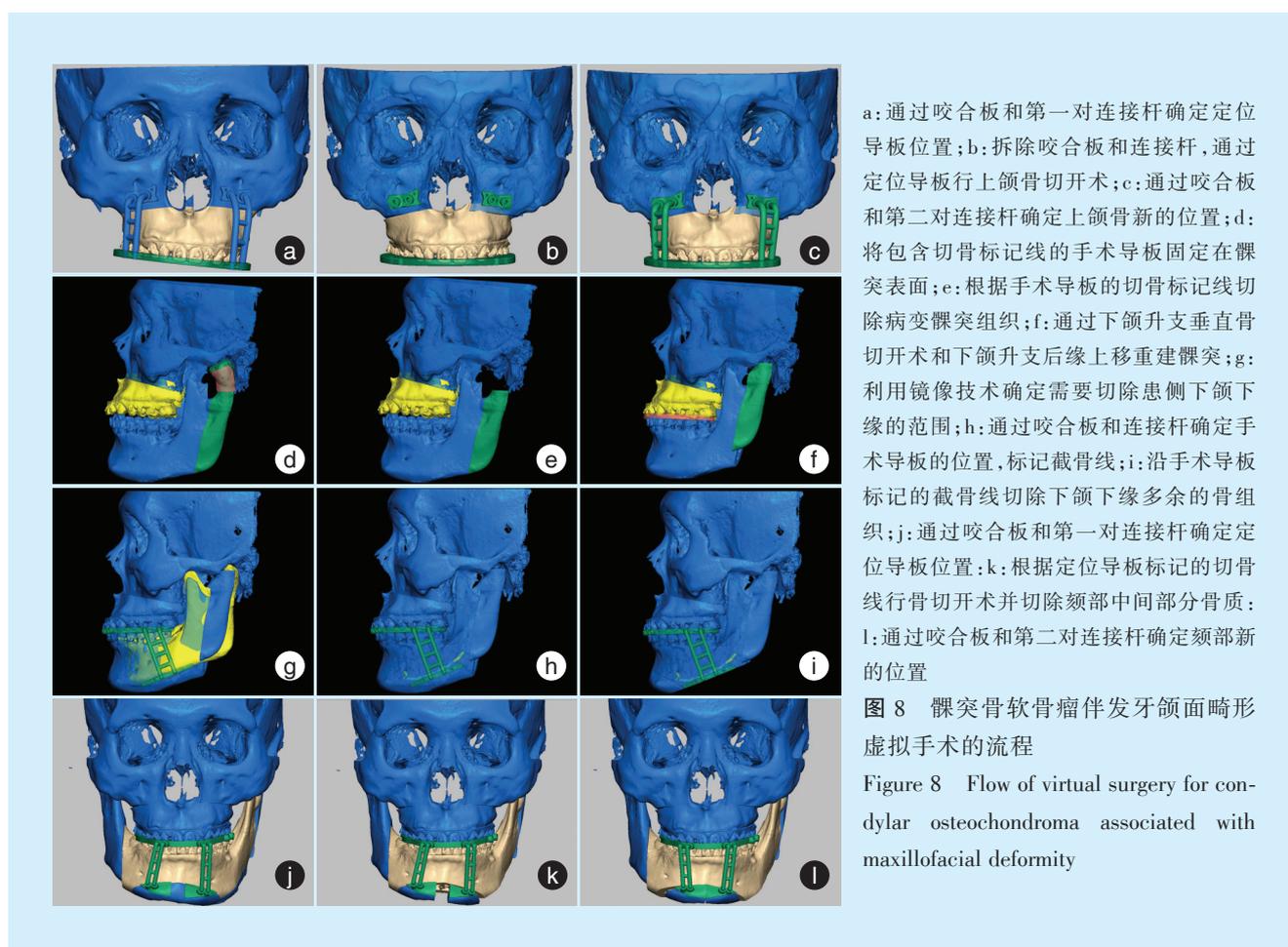
道。任何技术都不是完美的,数字化技术可能产生误差的原因包括术者的操作、切骨工具、导板材料具有一定的弹性模量等等,然而这方面的文献报道还十分缺乏<sup>[33-34]</sup>。

数字化技术正越来越深入地影响着医学的发展,同时数字化技术和医学相结合的发展之路也已经走过了最初的探索期,进入常规化应用时期。相信随着虚拟现实、增强现实以及人工智能技术的不断开拓和发展,一定会给医学带来更大的想象空间。特别是近年来手术机器人已经逐渐开始在临床工作中获得应用,如果将来能够实现虚拟手术软件和手术机器人的直接沟通,那么手术机器人将有可能根据虚拟手术方案,在术中实时导航的辅助下自动完成手术过程,最终实现正颌手术的完全自动化。

参考文献

[1] Poukens J, Haex J, Riediger D. The use of rapid prototyping in the preoperative planning of distraction osteogenesis of the cranio-maxillofacial skeleton[J]. *Comput Aided Surg*, 2003, 8(3): 146-154.

[2] Kwon TG, Choi JW, Kyung HM, et al. Accuracy of maxillary repo-



- sitioning in two-jaw surgery with conventional articulator model surgery versus virtual model surgery[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2014, 43(6): 732-738.
- [3] Yang X, Hu J, Yin G, et al. Computer-assisted condylar reconstruction in bilateral ankylosis of the temporomandibular joint using autogenous coronoid process[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 49(8): 612-617.
- [4] Shqaidef A, Ayoub AF, Khambay BS. How accurate are rapid prototyped (RP) final orthognathic surgical wafers? A pilot study[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2014, 52(7): 609-614.
- [5] Sun Y, Luebbers HT, Agbaje JO, et al. Accuracy of upper jaw positioning with intermediate splint fabrication after virtual planning in bimaxillary orthognathic surgery[J]. *J Craniofac Surg*, 2013, 24(6): 1871-1876.
- [6] Sharifi A, Jones R, Ayoub A, et al. How accurate is model planning for orthognathic surgery? [J] *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2008, 37: 1089-1093.
- [7] Yang X, Hu J, Zhu S, et al. Computer-assisted surgical planning and simulation for condylar reconstruction in patients with osteochondroma[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2011, 49(3): 203-208.
- [8] Li Y, Jiang Y, Ye B, et al. Treatment of dentofacial deformities secondary to osteochondroma of the mandibular condyle using virtual surgical planning and 3-dimensional printed surgical templates[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 74(2): 349-368.
- [9] Polley JW, Figueroa AA. Orthognathic positioning system: intraoperative system to transfer virtual surgical plan to operating field during orthognathic surgery[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2013, 71(5): 911-920.
- [10] Gennaro P, Chisci G, Aboh IV, et al. Comparative study in orthognathic surgery between Dolphin Imaging software and manual prediction[J]. *J Craniofac Surg*, 2014, 25(4): 1577-15778.
- [11] Power G, Breckon J, Sherriff M, et al. Dolphin imaging software: an analysis of the accuracy of cephalometric digitization and orthognathic prediction[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2005, 34(6): 619-626.
- [12] Levine JP, Patel A, Saadeh PB, et al. Computer-aided design and manufacturing in craniomaxillofacial surgery: the new state of the art[J]. *J Craniofac Surg*, 2012, 23(1): 288-293.
- [13] Walker F, Ayoub AF, Moos KF, et al. Face bow and articulator for planning orthognathic surgery: 2 articulator[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2008, 46(7): 573-578.
- [14] Walker F, Ayoub AF, Moos KF, et al. Face bow and articulator for planning orthognathic surgery: 1 face bow[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2008, 46(7): 567-572.
- [15] Zizelmann C, Hammer B, Gellrich NC, et al. An evaluation of face-bow transfer for the planning of orthognathic surgery[J]. *J Oral*

- Maxillofac Surg, 2012, 70(8): 1944-1950.
- [16] Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, et al. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2012,113(5): 673-687.
- [17] Zinser MJ, Sailer HF, Ritter L, et al. A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and "classic" intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2013, 71(12): 2151.e1-21.
- [18] Zhang N, Liu S, Hu Z, et al. Accuracy of virtual surgical planning in two-jaw orthognathic surgery: comparison of planned and actual results[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2016, 122(2): 143-151.
- [19] Islam S, Uwadiae N, Ormiston IW. Orthognathic surgery in the management of obstructive sleep apnoea: experience from maxillofacial surgery unit in the United Kingdom[J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 2014, 52(6): 496-500.
- [20] Kor HS, Yang HJ, Hwang SJ. Relapse of skeletal class III with anterior open bite after bimaxillary orthognathic surgery depending on maxillary posterior impaction and mandibular counterclockwise rotation[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2014, 42: e230-238.
- [21] Li Y, Jiang Y, Zhang N, et al. Clinical feasibility and efficacy of using virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery without intermediate splint[J]. J Craniofac Surg, 2015, 26(2): 501-505.
- [22] Ren XC, Li YF, Liu Y, et al. Mandibular symphyseal midline distraction osteogenesis for micrognathia associated with aglossia and situs inversus totalis[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2017, 46(10): 1346-1351.
- [23] Ye N, Long H, Zhu S, et al. The accuracy of computer image-guided template for mandibular angle ostectomy[J]. Aesthetic Plast Surg, 2015, 39(1): 117-123.
- [24] Li Y, Jiang Y, Ye B, et al. Treatment of dentofacial deformities secondary to osteochondroma of the mandibular condyle using virtual surgical planning and 3-dimensional printed surgical templates[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2016, 74(2): 349-368.
- [25] de Riu G, Viridis PI, Meloni SM, et al. Accuracy of computer-assisted orthognathic surgery[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2018, 46(2): 293-298.
- [26] Shaheen E, Coopman R, Jacobs R, et al. Optimized 3D virtually planned intermediate splints for bimaxillary orthognathic surgery: a clinical validation study in 20 patients[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2018, 46(9): 1441-1447.
- [27] Landaeta-Quinones CG, Hernandez N, Zarroug NK. Computer-assisted surgery: applications in dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery[J]. Dent Clin North Am, 2018, 62(3): 403-420.
- [28] Ghai S, Sharma Y, Jain N, et al. Use of 3-D printing technologies in craniomaxillofacial surgery: a review[J]. Oral Maxillofac Surg, 2018, 22(3): 249-259.
- [29] Naran S, Steinbacher DM, Taylor JA. Current concepts in orthognathic surgery[J]. Plast Reconstr Surg, 2018, 141(6): 925e-936e.
- [30] Hatamleh M, Turner C, Bhamrah G, et al. Improved virtual planning for bimaxillary orthognathic surgery[J]. J Craniofac Surg, 2016, 27(6): e568- e573.
- [31] Ritto FG, Schmitt ARM, Pimentel T, et al. Comparison of the accuracy of maxillary position between conventional model surgery and virtual surgical planning[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2018, 47(2): 160-166
- [32] Farronato G, Galbiati G, Esposito L, et al. Three-dimensional virtual treatment planning: presurgical evaluation[J]. J Craniofac Surg, 2018, 29(5): e433-e437.
- [33] Pascal E, Majoufre C, Bondaz M, et al. Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery[J]. J Stomatol Oral Maxillofac Surg, 2018, 119(3): 245-248.
- [34] Woo SY, Lee SJ, Yoo JY, et al. Autonomous bone reposition around anatomical landmark for robot-assisted orthognathic surgery[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2017,45(12): 1980-1988.

(编辑 罗燕鸿,刘曙光)