

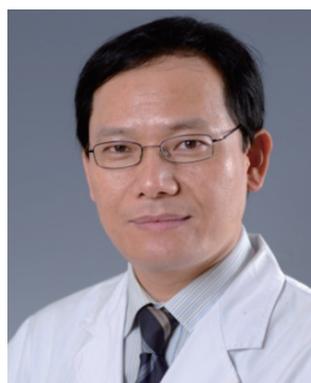
[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.12.001

· 专家论坛 ·

萎缩无牙颌患者数字化种植即刻修复工作流程

顾新华

浙江大学医学院附属第一医院口腔科, 浙江 杭州(310003)



【通信作者简介】 顾新华, 牙医学博士, 主任医师, 博士生导师, 国际牙医师学院院士。1967年出生于浙江省上虞市, 硕士毕业于武汉大学口腔医学院, 获德国基尔大学牙医学博士学位, 现任浙江大学医学院口腔医学院副院长, 浙江大学医学院附属第一医院口腔科副主任。兼任中华口腔医学会理事、中华口腔医学会种植专委会和修复专委会常委。国际口腔种植学会ITI专家组成员, 法兰克福大学种植硕士(MOI)导师等。从事口腔种植修复临床及科研工作多年, 对种植美学修复、无牙颌种植即刻修复、数字化辅助种植及修复, 以及复杂病例的系统化整体修复等有丰富的临床经验和独特见解。主持国家自然科学基金、浙江省自然科学基金、国家留学基金等科研项目10余项; 以第一或通信作者发表论文40余篇, 其中SCI收录18篇; 作为第一完成人获浙江省科技进步三等奖1项, 浙江省医药卫生科技奖二、三等奖各一项; 作为第一完成人获国家发明专利2项, 实用新型专利1项。

【摘要】 萎缩无牙颌由于颌骨解剖条件因素给修复重建带来了巨大挑战, 种植支持式全口固定义齿修复因为可以很好地恢复患者咀嚼功能和美观效果而广受推崇。然而, 萎缩无牙颌种植即刻功能重建手术要求高, 修复治疗程序复杂, 往往很难达到理想治疗效果。数字化辅助萎缩无牙颌种植即刻修复功能重建的工作流程对于无牙颌患者和种植修复医生都具有重要意义。本文结合临床病例总结了数字化辅助萎缩无牙颌种植即刻修复功能重建的工作流程, 通过数字化手段进行辅助诊断、设计、植入、即刻修复重建和最终修复, 可优化种植手术和即刻修复工作流程, 提高萎缩无牙颌种植即刻修复的精度, 减少大量植骨需要, 获得更高的患者满意度, 实现“修复导向, 以终为始”的无牙颌种植修复理念, 精准、微创、高效地恢复患者的美观和咀嚼功能, 具有较高的临床推广应用价值。

【关键词】 萎缩无牙颌; 骨量不足; 种植修复; 数字化工作流程; 即刻功能重建; 数字化导板; 数字化印模; 数字化微笑设计; 以修复为导向; CAD/CAM材料

【中图分类号】 R783.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2020)12-0749-10

【引用著录格式】 顾新华. 萎缩无牙颌患者数字化种植即刻修复工作流程[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(12): 749-758.

Digital workflow of immediate implant-supported restoration for atrophic edentulous patients GU Xinhua.

Department of Stomatology, the First Affiliated Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310003, China

Corresponding author: GU Xinhua, Email: guxh@zju.edu.cn, Tel: 86-571-87236338

【Abstract】 Rehabilitation and reconstruction of atrophic edentulous predicament represents significant challenges for implant dentists due to the anatomical conditions of the edentulous jaw. Implant-supported fixed complete dental prostheses represent a scientifically and clinically validated treatment for recovering patients' masticatory function and esthetic effect. However, the highly demanding implant surgical techniques and complex rehabilitation procedures for im-



开放科学(资源服务)标识码(OSID)

【收稿日期】2020-05-07; 【修回日期】2020-08-21

【基金项目】浙江省自然科学基金项目(LY20H140002); 浙江省医药卫生科技计划项目(2020KY563)

【通信作者】顾新华, 主任医师, 博士, Email: guxh@zju.edu.cn, Tel: 86-571-87236338

mediate functional reconstruction make it difficult to achieve the desired treatment outcomes. The application of digital and CAD/CAM technology in various stages of the treatment process is logical for patients and dentists. This article summarizes the workflow of digital-assisted implantation with immediate functional reconstruction of atrophic edentulous combined with a clinical case. Digital-assisted diagnosis, design, implantation, immediate reconstruction and final rehabilitation can optimize the implant surgery and immediate rehabilitation workflow, improve the accuracy of implant-supported immediate functional reconstruction, reduce the demand for a large amount of bone graft, and achieve higher patient satisfaction. The “prosthetic-oriented, begin with the end in mind” concept of edentulous jaw implant prosthetics can accurately and efficiently restore the patient’s beauty and chewing function in a minimally invasive manner, and is worthy of clinical promotion.

【Key words】 atrophic edentulous jaw; bone insufficiency; implant restoration; digital workflow; immediate functional reconstruction; digital surgical guide; digital impression; digital smile design; prosthodontic oriented; CAD/CAM material

J Prev Treat Stomatol Dis, 2020, 28(12): 749-758.

牙列缺失会带来面下部高度降低和外形改变,影响患者的咀嚼、发音、美观和社交活动。伴随着老龄化社会的到来,越来越多的萎缩无牙颌患者需要进行缺失牙的修复与咬合功能的重建修复^[1]。对于萎缩无牙颌的特殊口腔情况,传统全口义齿的固位和稳定性能较差,往往无法很好恢复患者的咀嚼功能^[1-2]。种植支持式全口固定义齿修复可有效恢复患者的美观和咀嚼功能,现今已有多种种植手术和修复方案应用于无牙颌固定修复重建,如 All-on-four 等,粗糙的种植体表面和即刻负荷的策略可以让无牙颌患者获得更快的愈合时间和更优的功能修复效果^[3-4]。

然而,由于萎缩无牙颌患者颌骨解剖条件和骨质骨量等因素的影响,仅靠术者经验容易导致手术难度加大,手术时间延长且创伤扩大。当前牙科治疗的趋势是减少治疗时间并简化治疗程序,从而提高患者的接受度和满意度,保持治疗结果的长期可预测性^[5-7]。随着材料及修复技术的发展,特别是计算机辅助设计/计算机辅助加工(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM)技术的引入,萎缩无牙颌可以在遵循生物力学、殆学、美学以及修复后清洁与维护原则下通过数字化技术设计出符合患者个性化形态和咬合运动功能特点的虚拟修复体,并以此修复体为导向,设计精确的种植体植入位置、直径及长度,选择合适的种植修复基台的穿龈高度、角度及其方向,真正做到“修复导向,以终为始”,避免大量植骨并简化治疗程序,从而使修复最终达到解剖学、生物力学和美学上的预期目标。因此,借助数字化手段,实现数字模拟向临床实践的精准转化,

即刻恢复牙列缺失患者的美观和咬合功能,对于无牙颌患者有着重要的意义。本文拟结合临床病例,总结萎缩无牙颌患者数字化辅助种植即刻功能重建的工作流程,并探讨其特点和应用优势。

1 萎缩无牙颌及其即刻功能重建

牙槽骨因为牙齿的萌出和行使功能而得以保持,牙列缺失后,牙槽骨逐渐吸收和改建形成连续的骨嵴,即为无牙颌牙槽嵴。随着牙槽嵴的持续吸收,上下颌骨逐渐失去原有形状和大小,上颌窦、颧孔、外斜嵴及下颌隆突与牙槽嵴顶的距离变小,甚至与牙槽嵴顶平齐,形成萎缩无牙颌。与之相关联的软组织也发生相应的变化,附着在颌骨周围的唇颊系带与牙槽嵴顶的距离变短,唇颊沟及颌舌沟间隙变浅,严重者致使口腔前庭与口腔本部无明显界限。此外肌肉张力平衡的破坏进而使得软组织失去正常的弹性和张力,从而出现黏膜组织萎缩,敏感性增加等情况。萎缩无牙颌的软硬组织变化给修复带来了困难。

无牙颌修复是传统修复治疗的一大难题,而萎缩无牙颌的功能重建更是挑战巨大。萎缩无牙颌的修复方式主要分为全口义齿修复和种植义齿修复。虽然生物仿生性义齿的发展可以使全口义齿的固位力得到一定程度的提高,但是,可摘式全口义齿无论从功能恢复还是舒适度上都无法获得与天然牙相类似的效果。种植义齿修复包括种植固定义齿和种植覆盖义齿。对牙槽骨严重吸收的患者,种植体固位的覆盖义齿可以有效弥补软组织的缺损并恢复美观效果。然而,大部分的萎缩无牙颌患者往往更希望失牙后即刻获得临时固

定义齿,从而获得更好的舒适度和咀嚼效率。因此,萎缩无牙颌患者需要尽可能利用剩余骨量,从而植入足够数量的种植体来进行固定修复。以All-on-four为代表的全牙弓一体式种植即刻固定修复目前在萎缩无牙颌中得到了广泛的应用,该技术通过倾斜种植来避开重要解剖结构(如上颌窦和颧孔),可以充分利用剩余有效骨量,减少种植体数目,从而减少手术的创伤并实现即刻功能重建。此外,倾斜种植可以缩短修复体悬臂梁的距离,避免应力分布过度集中,从而获得更好的远期成功率。

当种植体植入后具备理想的初始稳定性时,可以同期完成上部修复即刻恢复美观和咬合功能。即刻负重能提供适当的机械性刺激,有利于种植体周围骨组织的新生与改建,促进骨组织矿化^[8]。种植体微动小于100 μm可以刺激成骨细胞增殖形成骨结合,因此,即刻功能重建采用一体式的上部结构可以将种植体受到的微动控制在合理的生理范围内而不影响骨结合形成。Najafi等^[9]研究表明通过All-on-four植入种植体并行即刻负重与延期修复的患者在1年后的种植体存活率和边缘骨吸收的差异并无统计学意义。全口种植即刻固定修复的10年随访结果显示种植体存活率为97.9%,平均边缘骨吸收为0.76 mm^[10]。因此,无牙颌种植即刻修复重建可以获得理想的临床治疗效果。

2 萎缩无牙颌数字化即刻功能重建工作流程

对于牙槽嵴严重萎缩的无牙颌患者,种植修复不仅需要在有限的骨量中精准植入种植体^[11],同时需要术前评估建立最终修复体的状况。由于牙槽嵴严重萎缩导致的颌位关系、颞颌关节、唇颊颌面部软组织形态的改变,理想的最终种植修复体都需要在设计时与种植体建立协调关系,换言之,有限的剩余骨支持的种植体必须在形态、功能上支持理想的修复体,使之达到持久的功能和美学修复期望。随着口腔数字化技术的发展,通过数字化技术对萎缩无牙颌进行“以修复为导向”的种植功能重建,可以合理精准设计种植-修复复合体,减少大范围的植骨需求,提高手术精度,缩短操作时间,为萎缩无牙颌患者种植即刻功能重建提供新的手段^[12-13]。

因此,基于数字化技术的应用,笔者优化了无牙颌种植即刻功能重建的工作流程:①多模态信

息的获取整合,通过计算机X线断层扫描、口内口外扫描将获得患者的牙槽骨及面部数字信息进行三维重建及可视化处理^[13];②虚拟修复体设计,综合颌位关系、殆关系、面部软组织形貌及牙槽骨软硬组织信息设计虚拟修复体;③种植体植入方案及基台设计,以修复导向原则在虚拟数字可视化平台设计确定种植体位置分布,以及连接种植体与修复体的基台信息;④数字方案实物转化,CAD/CAM切削或3D打印种植手术导板,完成预成即刻修复体;⑤完成种植手术和即刻修复,手术导板引导下完成种植手术,按设计方案固定基台,戴入预成即刻修复体,完成种植即刻功能重建;⑥种植体骨结合完成后通过数字化印模技术制取印模,拟合术前数字化修复信息,完成最终修复^[14-15]。下面本文通过1例临床病例阐述萎缩无牙颌数字化即刻功能重建工作流程。

患者,女性,74岁,主诉是上颌活动假牙戴用不适6年,要求行上颌缺牙区种植固定修复。患者近10年来因牙周病逐渐缺失上颌后牙,期间戴用可摘义齿9年。既往体健,无种植相关禁忌证。

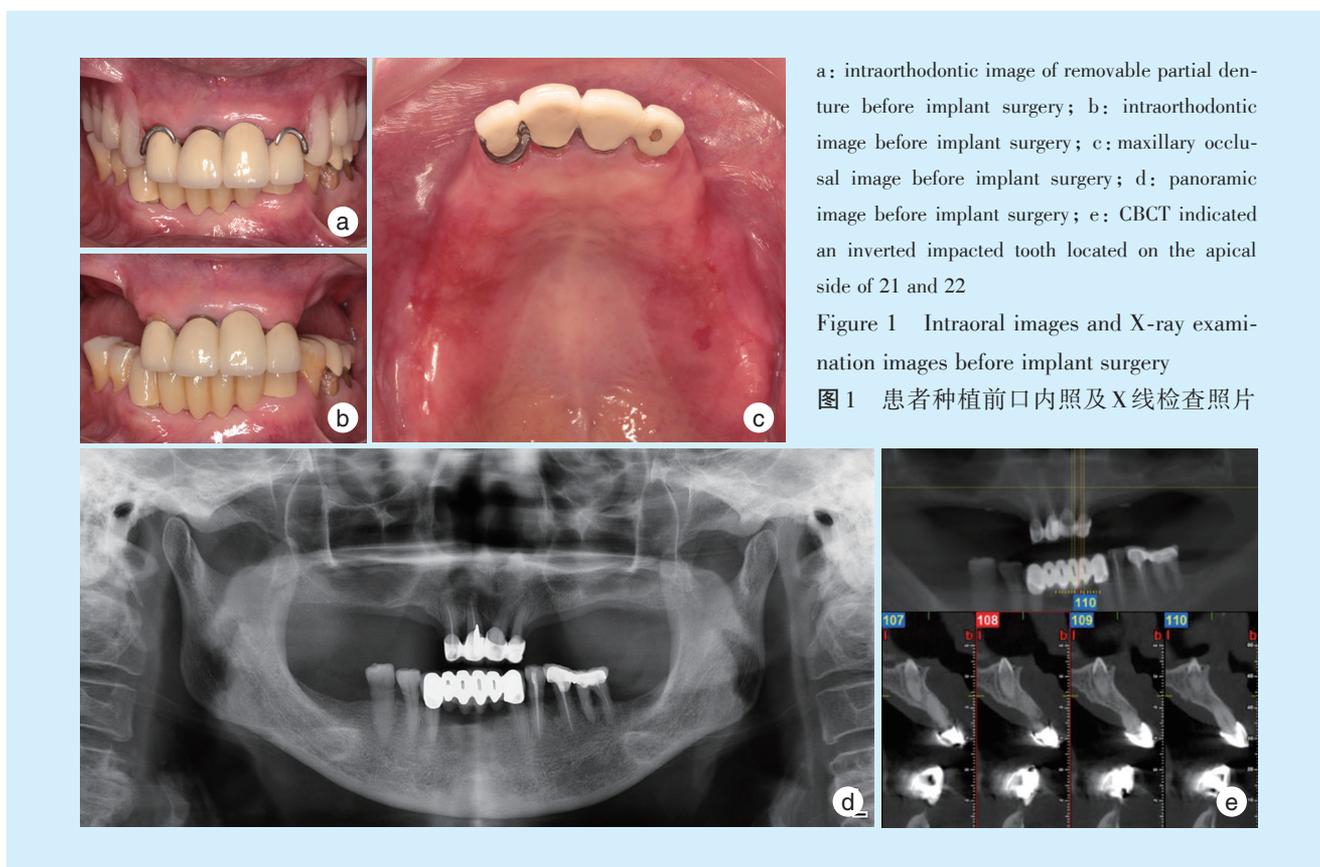
专科检查:患者双侧面部基本对称,低位笑线,面下1/3高度无明显降低。上颌颌弓呈卵圆形,12~22烤瓷联冠修复,唇侧外形较突。13~18、23~28缺失,可摘局部义齿修复,缺牙区牙槽嵴低平,附着龈丧失,前庭沟较浅,义齿固位不佳,多处黏膜发红,触诊疼痛。下颌33~43烤瓷桥修复,35、36烤瓷联冠修复,37、38、47、48缺失(图1a~1c)。

全景片及CBCT示:12~22联冠修复,基牙周围牙槽骨不同程度吸收,21、22间根方可见一倒置阻生埋伏牙。上颌余牙缺失,缺牙区牙槽骨重度吸收,上颌双侧磨牙区牙槽骨高度最低处小于1 mm(图2)。

治疗计划:①牙周基础治疗;②采集并拟合患者牙-殆及缺牙区硬组织影像学信息后遵循修复为导向的原则设计种植方案;③预成即刻修复体,数字化种植手术导板引导下行上颌即刻拔牙-即刻种植-即刻固定一体式修复;④6个月后复诊,行种植固定永久修复。

在患者上颌缺牙区及余留牙用流体树脂标记4个标记点,固化后应用3Shape口内扫描仪采集患者口内数字化影像,考虑患者原可摘义齿维持患者垂直高度和咬合关系稳定,口扫获取患者咬合关系数字影像(图2)。

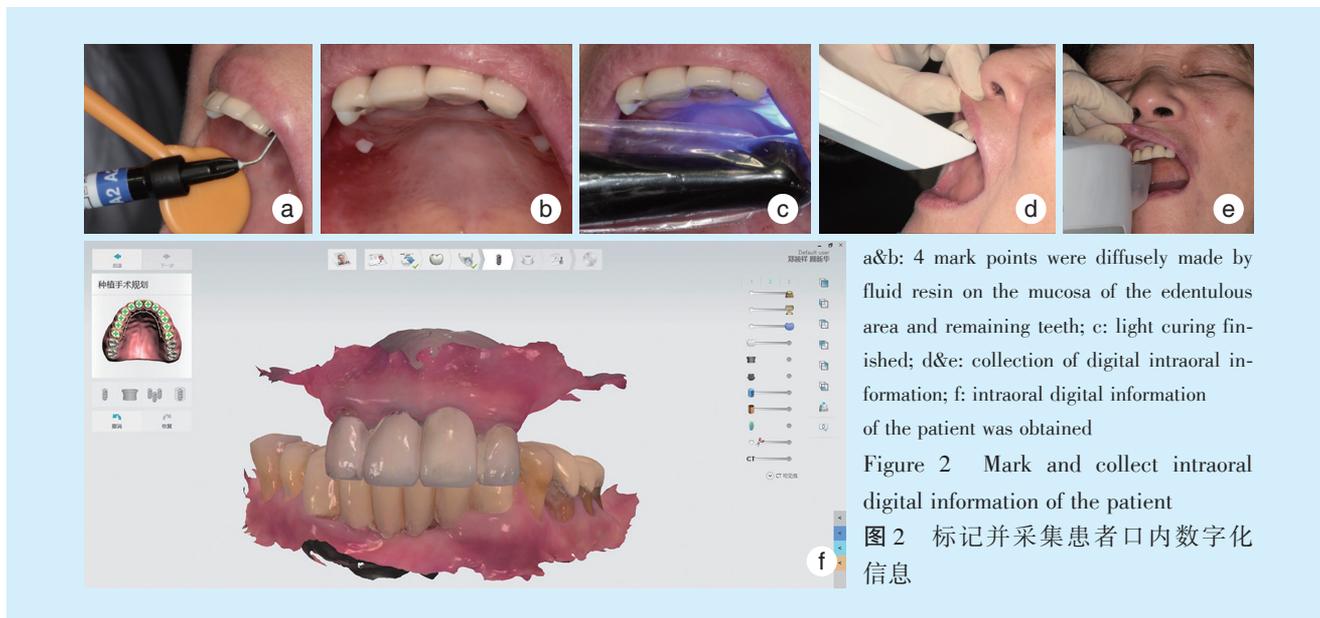
将流体树脂标记后的CBCT影像DICOM数据



a: intraorthodontic image of removable partial denture before implant surgery; b: intraorthodontic image before implant surgery; c: maxillary occlusal image before implant surgery; d: panoramic image before implant surgery; e: CBCT indicated an inverted impacted tooth located on the apical side of 21 and 22

Figure 1 Intraoral images and X-ray examination images before implant surgery

图1 患者种植前口内照及X线检查照片



a&b: 4 mark points were diffusely made by fluid resin on the mucosa of the edentulous area and remaining teeth; c: light curing finished; d&e: collection of digital intraoral information; f: intraoral digital information of the patient was obtained

Figure 2 Mark and collect intraoral digital information of the patient

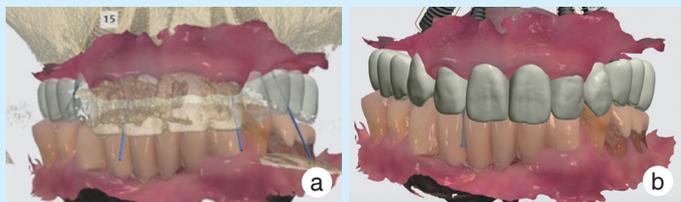
图2 标记并采集患者口内数字化信息

导入到3Shape软件中,借助前牙和流体树脂标记点拟合CBCT骨量数据和口扫数据,根据咬合关系进行预拔牙和数字化牙列重建(图3)。

在数字化预排牙引导下,分析种植植入位点骨信息,确定植入位点和植体规格,拟于12、22牙位植入Straumann BLT 3.3 mm × 10 mm,15、25牙位斜行植入Straumann BLT 4.1 mm × 14 mm种植体,其

中25因骨量限制需施行同期上颌窦前壁提升。根据口扫软组织信息获得穿龈高度数据,选择2.5 mm, 25°多基基台,同时设计种植手术导板(图4)。

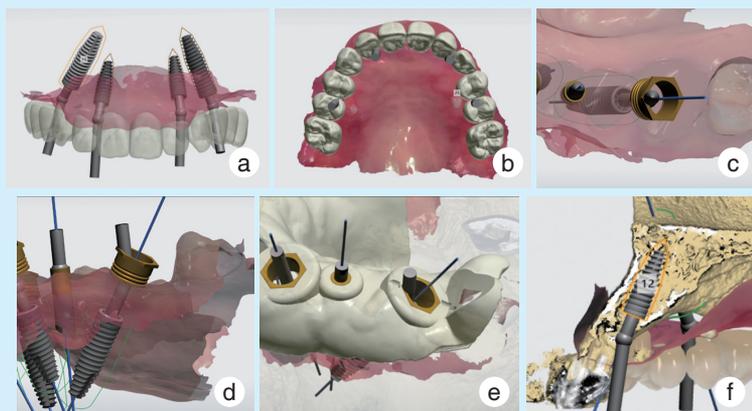
根据数字化排牙,设计即刻修复临时义齿支架并行CAD/CAM制作树脂蜡型、铸造充胶完成修复体,打印数字模型、带侧壁提升开窗入点定位的手术导板、咬合导板(图5)。



a: merge the intraoral scan of soft tissue and occlusion status with CBCT bone tissue information; b: virtual dentition reconstruction

Figure 3 Digital teeth prearrangement

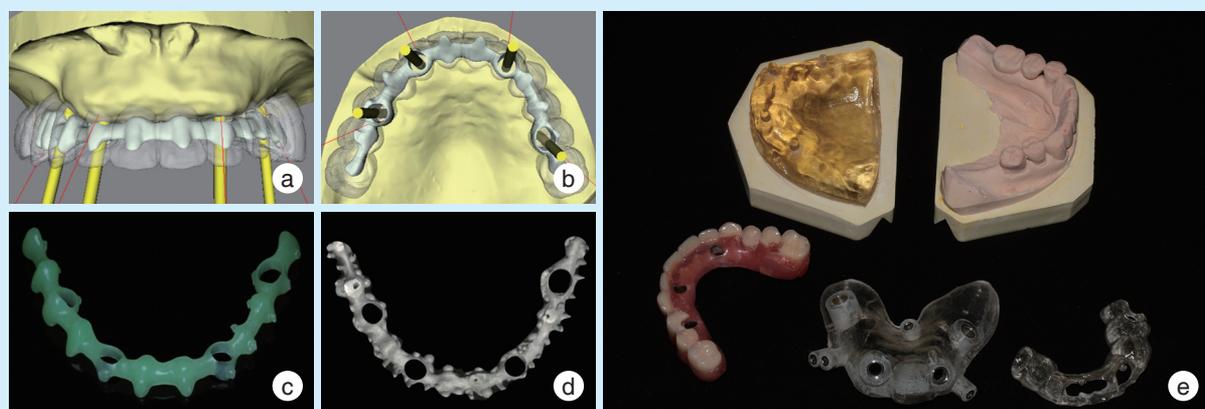
图3 数字化预排牙



a: implant plan design (implanting Straumann BLT 3.3 mm × 10 mm is planned for 12 and 22, and obliquely implanting BLT 4.1 mm × 14 mm is planned for 15 and 25); b: temporary denture design; c-f: a digital-assisted plan was selected for each implant abutment transgingival height, angle and direction

Figure 4 Digital implant design

图4 数字化种植设计



a&b: digital design of enhanced bracket; c: fabrication of CAD/CAM resin wax pattern; d: fabrication of cobalt-chromium bracket; e: 3D printed research model, surgical guide and temporary denture

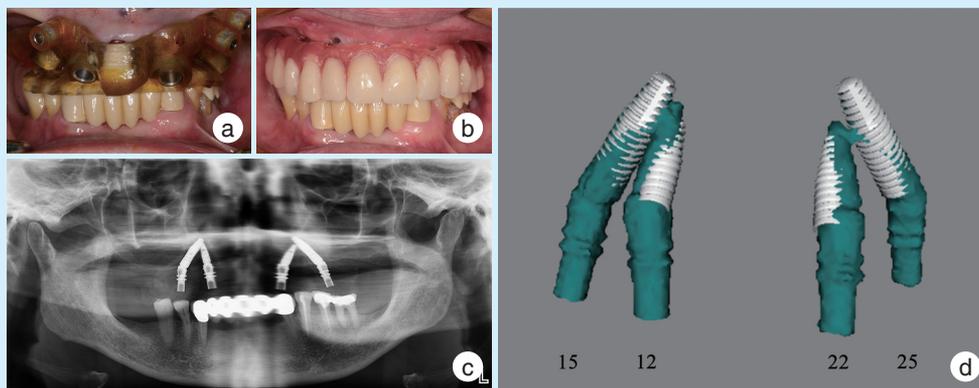
Figure 5 Designing and manufacturing of the frame using digital cut-back technology, temporary denture, 3D printed research model and surgical guide

图5 利用数字回切技术设计并制作支架,完成即刻修复义齿,3D打印研究模型、手术导板

术中拔除上颌余留前牙,在手术导板引导下
行种植窝备洞(图6a),植入4枚Strumann BLT种植体,所有植体初期稳定性大于35 N·cm,预选的角度多基基台就位后戴入预成临时义齿,自凝树脂衬垫完成(图6b)。术后全景片示种植体植入深度理想(图6c),CBCT拟合术前设计显示种植体位置理想(图6d),与术前设计位置基本一致(表1)。在

数字化技术辅助下,上颌即刻拔牙-即刻种植-即刻固定一体式修复精准、微创、高效地完成,术后效果令人满意。

患者6个月后复诊行全景片示种植体骨结合良好,行口内种植体转移杆固定后制取印模、咬合记录并转移颌关系,印模在技工所模扫导入数字化设计软件后,结合前期的数字化排牙,回切后设



a: preparation of implant hole with a surgical guide during the surgery; b: the prefabricated temporary denture was worn and relined with self-curing resin immediately after implant surgery; c: panoramic image after implant surgery and fixation with abutments; d: matching diagram of 15, 12, 22 and 25 CBCT implant positions after implant surgery (dark green) and preoperative digital design (white)

Figure 6 Digital-assisted implant surgery, immediaterestoration and image evaluation

图6 数字化辅助的种植手术、即刻修复和术后影像评估

表1 种植术后CBCT检查种植体与术前数字化设计偏差

Table 1 Deviations of the implants between postoperative CBCT implants and preoperative digital design

Implant position	Deviations of different parts of implant		
	Cervical(mm)	Apex(mm)	Space angle(°)
12	1.6	1.3	2.0
15	0	0	0
22	2.0	2.2	5.4
25	0.7	0.8	2.0

计上部一体式支架, CAD/CAM 切削制备桥架并试戴蜡型, 检测被动就位密合后制作氧化锆全瓷单冠和牙龈瓷(图 7a~7f)。最终修复体与数字化排牙设计拟合后显示螺丝通道穿出位点及修复效果与预期基本一致, 取得了令人满意的治疗效果(图 7g、7h)。

3 数字化手段在萎缩无牙颌即刻功能重建工作中的应用进展

3.1 数字化数据的采集与融合

临床数据采集是无牙颌数字化种植流程的第一步, 种植前需要将牙、颌、面信息数字化处理以便综合分析设计, 这些信息包括骨结构数字化影像信息、口腔黏膜数字化影像信息、面部软组织静止态及肌功能信息等。骨结构数字化影像信息可通过放射线检查技术包括 X 射线片、曲面体层摄影片、计算机断层扫描(computerized tomography, CT)等来获取。锥形束 CT(Cone beam computer to-

mography, CBCT) 是 20 世纪 90 年代末发展起来的三维成像技术, 已经广泛用于种植体位置评估和数字化设计, 具有高诊断质量、短扫描时间和低辐射剂量的优点^[16]。无牙颌数字化种植流程中得到的 CBCT 数据可直接以 DICOM 格式导入数字化种植体设计软件, 从而可更直观具体地进行种植方案的设计。

如何将 CBCT 的骨量信息、口腔黏膜软组织信息和数字化颌位关系整合, 是口腔种植数字化设计和导板制作的关键步骤。无牙颌由于解剖结构特点往往需要制作放射性临时义齿进行双重 CBCT 扫描来整合骨量信息、软组织信息和颌位关系。但是由于天然牙的缺失, 无牙颌骨量信息和软组织信息的匹配依然存在困难。现今已有研究改进无牙颌数字化信息整合方法, Oh 等^[13]通过在黏膜上用复合树脂进行定点标记, 可以更为便捷地融合 CBCT 骨量信息和口内数字化印模信息。An 等^[12]研究戴金属支架旧全口义齿进行 CBCT 扫描和口内数字化扫描以获得完整术前诊断信息, 可以避免双重 CBCT 扫描带来的时间与金钱耗费。尽管无牙颌的解剖标志丧失会造成数字化扫描印模制取难度和偏差增加, 但是其精度仍然能够满足于术前设计分析, 手术导板和临时义齿的制作。

近年来已有多种技术用于头面部软组织信息的获取和三维重建, 面部扫描可以获得自然头位时面部软组织在微笑、大笑、嘴唇闭合和发音状态



a: digital images 6 months after implant surgery; b: making impression; c: taking the bite record; d: transferring the jaw position; e: the CAD/CAM-fabricated integrated pure titanium bracket was tried on; f: the implant supported fixed permanent restoration was completed; g&h: comparison of screw channel positions before and after surgery

Figure 7 Revisits for final restoration 6 months after implant surgery

图7 种植术后6个月复诊行最终修复

下的位置信息,从而更好地指导修复美学设计^[17]。面部信息的整合对于无牙颌的即刻修复重建具有重要意义。牙槽骨萎缩造成面部软组织塌陷和容貌改变,大部分无牙颌患者希望种植即刻修复重建能够改善面部外观,传统的操作流程中往往需要术前的全口义齿进行多次调改来获得满意的外形。数字化工作流程中集成面部信息可以通过虚拟排牙来模拟面部软组织支撑效果,尤其在存在余留牙的情况下,数字化工作流程可以进行虚拟预拔牙,再整合面部效果,可以有效减少诊疗步骤和费用,有方便术前医患沟通。数字化面部扫描技术与CAD/CAM系统结合,使得全数字化虚拟设计和制作全口种植义齿支架成为可能^[18]。目前的面部扫描技术仍然存在一定的局限性,如动态模拟面部信息失真、静态面部数据精度不足等问题,未来的研究应着眼于提高面部扫描技术的精确性、各种信息整合的准确性以及扩大其应用范围。

3.2 种植修复方案设计

3.2.1 修复体的数字化微笑设计(digital smile de-

sign, DSD) DSD由巴西医师 Christian 提出,允许医生通过对治疗结果的可视化模拟来数字化设计患者微笑^[19]。DSD利用摄影及放射技术捕捉患者颌面部及口腔内基本信息并导入计算机,根据牙齿美学原则,利用专业软件结合牙齿美学参数进行量化的可视化虚拟设计,从而预测口腔修复的临床效果^[20]。DSD最早使用 Powerpoint、Keynote、Photoshop 等平面设计软件来实现2D的微笑设计,操作较为简单,但由于只能进行平面设计,因此效果不甚理想。随着口内数字化扫描和面部数字化扫描的临床应用,DSD可以通过导入面部数字化数据和虚拟颌架从而生成的3D面部模型进行美学分析和牙齿形态设计,为修复提供更好的面部外形参考^[21]。无牙颌种植修复需要义齿支撑塌陷的面部软组织,通过DSD设计可以将患者缺牙前的微笑照片叠加在软件中,指导虚拟修复体的排牙设计,从而获得医患双方都接受的美学效果。

3.2.2 以修复为导向的种植修复设计

成功的种植修复往往依赖于精准的种植体植入,从而可以有效支持上部修复结构,以修复为导向的种植修

复设计更需要秉持“以终为始”的理念,从而达到生物力学、功能和美学的统一^[22]。目前临床常用的修复为导向的种植设计往往是通过全口义齿预排牙,获得基本的最终修复体形态,在此基础上来确定种植体植入位点并制作种植手术导板。数字化技术的介入可以让无牙颌种植即刻固定修复真正实现“修复导向,以终为始”。在采集无牙颌口内扫描信息、面部信息和CBCT数据拟合后进行虚拟排牙获得理想的唇部丰满度,运用电子面弓、数字颌架等确认准确的颌位关系和关节运动,并据此确定种植体植入位点,通过数字转换成实物打印种植手术导板和支架增强的即刻修复体,把种植后的即刻取模制作修复体的技工步骤前置,并为最终修复体的形态和设计提供借鉴。当前数字技术和3D打印技术的精度已经可以满足引导种植体精确植入^[23]。本临床病例中通过融合CBCT骨信息、口内扫描软组织信息和静态颌位关系信息,运用3D可视化设计修复体^[24],根据修复体与种植体的三维位置关系确定预选基台角度,根据软组织厚度确定基台预选穿龈高度,使得种植体、基台、修复体在三维空间上符合生物力学、颌学、美学和谐统一。最后,种植体、基台、修复体从数字转换为实物,种植手术和即刻修复的过程成为一个完美呈现数字设计的实物组装过程,给患者带来微创、高效的种植修复效果。

3.3 数字化辅助引导的种植外科

计算机辅助下的种植外科手术技术主要包括数字化种植手术导板技术(静态导航)和术中实时导航技术(动态导航)。数字化导板已经在临床上得到了广泛应用,其主要是根据CBCT数据采用CAD/CAM切削或者3D打印技术来制作获得,优点是可以应用于不翻瓣手术,并且可以同期制作固定的临时义齿。种植手术导板也有一定的局限性,导板无法取得稳定就位,张口受限和导板影响手术操作的病例则无法使用种植手术导板,数字化导板术中无法更改手术位点或者植体型号。尽管手术导板的精确度与手术医生有着较大的关系,但是相对于自由手,数字化导板种植可以取得更高的精确度^[25]。实时导航技术则更为灵活且植入过程具有可视化的优点,可以根据手术情况更改种植位点。导航技术更适合于局部解剖条件复杂(如肿瘤术后、严重吸收的上颌骨、上颌窦提升)、种植部位深在(如颧种植体)等常规种植修复较为困难及期望减少手术创伤的病例。对于第二

磨牙或者植入相对困难的位点,实时导航有着较明显的优势^[26]。术中实时导航技术的关键技术是患者临床图像的可视化、配准技术及空间定位技术等,通过配准术中手术空间和虚拟三维影像坐标,实现术中解剖结构及手术器械实时跟踪并及时调整。实时导航的种植体线偏差约0.4 mm,角偏差约4°,同样具有较高的精确度。因此,数字化辅助的种植外科具有更高的精确度,而且更微创高效。萎缩无牙颌患者更适用于黏膜支持式手术导板,可以在不翻瓣的情况下直接将导板覆盖在牙槽嵴黏膜上,一般需要提前制作咬合记录来获得导板精确就位,采用全程导板相较于半程导板可以获得更高的种植体植入精度,为即刻修复重建提供便利。本病例中采用数字化种植半程导板来引导植入4枚种植体,术后植体位置拟合术前模拟设计显示数字化种植导板辅助获得较好的精确度,满足临床要求。

3.4 数字化印模

获取精准的种植印模是制作精密种植上部修复的基础,通过全数字化流程来扫描印模和制作上部修复结构已经应用于临床^[27]。本病例采用了数字化工作流程结合了常规取模方式,口内固定转移杆后聚醚硅橡胶取模,继而技工通过模型扫描来获得高精度的数字化模型。在全数字化流程中,可以通过口内数字化扫描来直接获得数字化印模,口内扫描仪的平均精度约20 μm,符合临床技术要求^[28-29]。无牙颌中的种植体间距影响口内扫描的精度,减少种植体间距可以有效减少口内扫描的整体线性畸变^[30]。Papaspriidakos等^[14]研究TRIOS、3Shape和Denmark光学口内扫描仪后发现口内数字化印模与常规印模具有同等精密性,种植体倾斜角度达到15°不会影响种植印模的精确性。口扫获取的数据以STL格式输出到计算机,可与CAD/CAM技术配套使用,从而实现快速设计并制作个性化基台、上部结构及临时修复体。

无牙颌口内数字化印模允许可视化修复体设计,提高了修复体制作效率,同时减少硅橡胶取模所带来的不适,更易被患者接受^[31]。然而,口内数字印模技术仍存在局限性,尤其是缺少明显解剖特征的无牙颌,数字印模获取难度大,扫描精度低^[32],静态咬合关系数据精度有待提高,动态功能咬合信息暂无法获取。其原因是扫描区域跨度较大,多次扫描的轨迹和顺序有差别,导致偏差较大。高精度的传统印模材料比目前的数字化印模

系统具有更高的精度^[33],目前口内数字化扫描采集无牙颌术前信息用于诊断分析、制作手术导板和临时义齿尚可以满足精度要求。随着数字化印模技术的持续发展,数字化印模技术将会在临床上获得更大的应用。

3.5 CAD/CAM材料及加工

CAD/CAM技术的发展使得可以全数字化来制作精密的上部修复结构,包括个性化基台、多单位或者全牙弓支架和杆卡等,其精密度都显著优于铸造修复体^[34]。目前已有多种材料可以用来制作无牙颌一体式修复支架,包括纯钛、钴铬合金、预烧结和未烧结的氧化锆、氧化铝和树脂等等,CAD/CAM技术的应用可以降低材料差异和制作技术敏感性,使得各种材料制作的支架均可以获得良好的精确度。种植支持式支架的设计和制作需要确保良好的被动就位,需要足够的厚度来应对咬合功能运动产生的应力,需要术前预排牙设计来确定支架的范围和悬臂的长度,因而数字化辅助设计和CAD/CAM制作是降低支架制作难度,确保支架成功的重要手段。临时修复体采用短牙弓修复,CAD/CAM制备钴铬合金支架来增强临时义齿强度。临时义齿的种植体穿出位置预留一定的空隙,因此对于种植体植入位点具有较大的宽容度。最终修复体制作中使用术前数字化排牙回切来制作纯钛切削支架,确保支架强度和上部修复空间,最终获得功能美观效果与预期设计一致的修复体。

3.6 无牙颌即刻功能重建中的其他相关数字化手段

应用数字化手段来分析检测种植固定即刻修复的咬合力分布,可以协调咬合与肌肉功能的平衡,减少即刻功能重建并发症的发生。种植修复咬合力的分布和咬合接触随着时间增长而变化^[35],T-Scan咬合分析系统可以用来定期诊断和分析咬合分布,从而避免种植体的过负荷,延长种植体使用寿命^[36]。无牙颌患者长期缺牙可能导致咬合功能紊乱,种植即刻修复重建后应用T-Scan来探究咬合力分布的规律可以为调骀提供依据。神经肌肉牙医学分析系统(Myotronics K7,美国)也可以用来检测即刻修复后患者的颞下颌关节开闭口、侧方运动及前伸运动的轨迹,从而指导即刻修复体的调骀^[37]。另外,电子面弓也可以用于确定颌位关系和即刻修复前后的颞颌关节运动轨迹的改变,以及最终修复前后下颌运动轨迹是否符合

患者个性化生理状况^[38]。

4 结论

数字化辅助萎缩无牙颌种植即刻功能重建过多模态数字化信息获取与融合、可视化数字修复体设计、基于修复导向的种植方案设计、3D打印种植手术导板、CAD/CAM制作预成即刻修复体、微创精准植入种植体、术后即刻固定修复和数字化制作最终修复体,优化了种植手术和即刻修复工作流程,提高了萎缩无牙颌种植修复精度,降低了大范围植骨需求,实现“修复导向,以终为始”的无牙颌种植修复理念,精准、微创、高效地恢复患者的美观和咬合功能,值得临床推广应用。

参考文献

- [1] Papaspyridakos P, Chen CJ, Chuang SK, et al. Implant loading protocols for edentulous patients with fixed prostheses: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2014, 29 (suppl): 256-270.
- [2] Gallucci GO, Benic GI, Eckert SE, et al. Consensus statements and clinical recommendations for implant loading protocols[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2014, 29(suppl): 287-290.
- [3] Malo P, de Araujo NM, Lopes A, et al. The All-on-4 treatment concept for the rehabilitation of the completely edentulous mandible: a longitudinal study with 10 to 18 years of follow-up[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2019, 21(4): 565-577.
- [4] Lopes A, Malo P, de Araujo NM, et al. The NobelGuide® All-on-4® treatment concept for rehabilitation of edentulous jaws: a retrospective report on the 7-years clinical and 5-years radiographic outcomes[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2017, 19(2): 233-244.
- [5] Weinstein R, Agliardi E, Fabbro MD, et al. Immediate rehabilitation of the extremely atrophic mandible with fixed full-prosthesis supported by four implants[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2012, 14(3): 434-441.
- [6] Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Lozada JL, et al. Digitally planned and fabricated mandibular fixed complete dentures. Part 2. Prosthodontic phase[J]. *Int J Prosthodont*, 2015, 28(2): 119-123.
- [7] Pommer B, Mailath-Pokorny G, Haas R, et al. Patients' preferences towards minimally invasive treatment alternatives for implant rehabilitation of edentulous jaws[J]. *Eur J Oral Implantol*, 2014, 7 (suppl2): 91-109.
- [8] Maló P, Nobre MA, Lopes A, et al. Five-year outcome of a retrospective cohort study on the rehabilitation of completely edentulous atrophic maxillae with immediately loaded zygomatic implants placed extra-maxillary[J]. *Eur J Oral Implantol*, 2014, 7(3): 267-281.
- [9] Najafi H, Siadat H, Akbari S, et al. Effects of immediate and delayed loading on the outcomes of all-on-4 treatment: a prospective study[J]. *J Dent (Tehran)*, 2016, 13(6): 415-422.

- [10] Cassetta M. Immediate loading of implants inserted in edentulous arches using multiple mucosa-supported stereolithographic surgical templates: a 10-year prospective cohort study[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 45(4): 526-534.
- [11] Sannino G. All-on-4 concept: a 3-dimensional finite element analysis[J]. *J Oral Implantol*, 2015, 41(2): 163-171.
- [12] An X, Yang HW, Choi BH. Digital workflow for computer-guided implant surgery in edentulous patients with an intraoral scanner and old complete denture[J]. *J Prosthodont*, 2019, 28(6): 715-718.
- [13] Oh JH, An X, Jeong SM, et al. Digital workflow for computer-guided implant surgery in edentulous patients: a case report[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2017, 75(12): 2541-2549.
- [14] Papaspyridakos P, Gallucci GO, Chen CJ, et al. Digital *versus* conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016, 27(4): 465-472.
- [15] Lewis RC, Harris BT, Sarno R, et al. Maxillary and mandibular immediately loaded implant-supported interim complete fixed dental prostheses on immediately placed dental implants with a digital approach: a clinical report[J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(3): 315-322.
- [16] Correa LR, Spin-Neto R, Stavropoulos A, et al. Planning of dental implant size with digital panoramic radiographs, CBCT-generated panoramic images, and CBCT cross-sectional images[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2014, 25(6): 690-695.
- [17] Amornvit P, Sanohkan S. The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: an *in vitro* study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(24): 5061.
- [18] Mangano F, Mangano C, Margiani B, et al. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (CAD/CAM) polyether-ether-ketone (PEEK) implant-supported bars for maxillary overdentures[J]. *Scanning*, 2019: 4274715.
- [19] Cervino G, Fiorillo L, Arzukanyan AV, et al. Dental restorative digital workflow: digital smile design from aesthetic to function[J]. *Dent J (Basel)*, 2019, 7(2): 30.
- [20] Stanley M, Paz AG, Miguel I, et al. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report[J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18: 134.
- [21] Battista G. Face scanning and digital smile design with an intraoral scanner[J]. *J Clin Orthod*, 2019, 53(3): 149-153.
- [22] Rawal S, Tillery DJ, Brewer P. Robotic-assisted prosthetically driven planning and immediate placement of a dental implant[J]. *Compend Contin Educ Dent*, 2020, 41(1): 26-30.
- [23] Marlière D, Demètrio MS, Picinini LS, et al. Accuracy of computer-guided surgery for dental implant placement in fully edentulous patients: a systematic review[J]. *Eur J Dent*, 2018, 12(1): 153-160.
- [24] Lanis A, Álvarez DO. The combination of digital surface scanners and cone beam computed tomography technology for guided implant surgery using 3Shape implant studio software: a case history report[J]. *Int J Prosthodont*, 2015, 28(2): 169-178.
- [25] Tan PLB, Layton DM, Wise SL. *In vitro* comparison of guided *versus* freehand implant placement: use of a new combined TRIOS surface scanning, implant studio, CBCT, and stereolithographic virtually planned and guided technique[J]. *Int J Comput Dent*, 2018, 21(2): 87-95.
- [26] Panchal N, Mahmood L, Retana A, et al. Dynamic navigation for dental implant surgery[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2019, 31(4): 539-547.
- [27] Joda T, Katsoulis J, Bragger U. Clinical fitting and adjustment time for implant-supported crowns comparing digital and conventional workflows[J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2016, 18(5): 946-954.
- [28] Marghalani A, Weber HP, Finkelman M, et al. Digital *versus* conventional implant impressions for partially edentulous arches: an evaluation of accuracy[J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(4): 574-579.
- [29] Cappare P, Sannino G, Minoli M, et al. Conventional *versus* digital impressions for full arch screw-retained maxillary rehabilitations: a randomized clinical trial[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(5): 829.
- [30] Tan MY, Yee SHX, Wong KM, et al. Comparison of three-dimensional accuracy of digital and conventional implant impressions: effect of interimplant distance in an edentulous arch[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2019, 34(2): 366-380.
- [31] Gherlone E, Cappare P, Vinci R, et al. Conventional *versus* digital impressions for "all-on-four" restorations[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2016, 31(2): 324-330.
- [32] Miyoshi K, Tanaka S, Yokoyama S, et al. Effects of different types of intraoral scanners and scanning ranges on the precision of digital implant impressions in edentulous maxilla: an *in vitro* study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019, 31(1): 74-83.
- [33] Menini M, Setti P, Pera F, et al. Accuracy of multi-unit implant impression: traditional techniques *versus* a digital procedure[J]. *Clin Oral Investig*, 2018, 22(3): 1253-1262.
- [34] Abduo J. Fit of CAD/CAM implant frameworks: a comprehensive review[J]. *J Oral Implantol*, 2014, 40(6): 758-766.
- [35] Luo Q, Ding Q, Zhang L, et al. Analyzing the occlusion variation of single posterior implant-supported fixed prostheses by using the T-scan system: a prospective 3-year follow-up study[J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(1): 79-84.
- [36] Madani AS, Nakhaei M, Alami M, et al. Post-insertion posterior single-implant occlusion changes at different intervals: a T-Scan computerized occlusal analysis[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2017, 18(10): 927-932.
- [37] Radke JC, Kull RS. Comparison of TMJ vibration frequencies under different joint conditions[J]. *Cranio*, 2015, 33(3): 174-182.
- [38] Stavness IK, Hannam AG, Tobias DL, et al. Simulation of dental collisions and occlusal dynamics in the virtual environment[J]. *J Oral Rehabil*, 2016, 43(4): 269-278.

(编辑 张琳,曾曙光)



官网



公众号