

• 专家笔谈 •

美学区数字化种植策略与流程

蔡潇潇

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种植科 成都 610041

[摘要] 美学区种植一直是种植治疗的难点,随着数字化技术的发展,美学区种植治疗流程获得了新的内涵。如何从最终的美学效果出发,通过数字化信息采集与处理、美学分析与设计、数字化种植外科、数字化种植修复等贯穿全程的治疗还原最初设计,实现以终为始的目标,是当今数字化时代下的美学区种植治疗的新趋势。数字化微笑设计(DSD)通过参考患者的面型与牙齿形态获得理想的修复体位置、形态;数字化外科导板和导航系统确保了最优化、最合理化的种植体位置和植入方案;数字化技术辅助下的骨增量技术实现了精准、可控的增量效果;数字化辅助的临时与最终修复不仅为患者提供了舒适、高效的就诊体验,更为医生带来更加高效的数字化工作流程。本文阐述了数字化时代下美学区的种植治疗流程,以期能够为临床医生开展美学区种植治疗提供参考。

[关键词] 美学区种植; 数字化治疗流程; 精准种植; 治疗策略

[中图分类号] R 783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2019099

开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

Digital planning strategies in aesthetic areas Cai Xiaoxiao. (State Key Laboratory of Oral Diseases & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Oral Implantology, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (81471803, 81771125).

[Abstract] Implant treatment in aesthetic zones has always been difficult in implant therapy. With the development of digital technology, the treatment in aesthetic zones acquires new connotation. This article expounds the implant treatment protocol in aesthetic zones in the digital era from the aspects of pre-implant evaluation and design, digital implant surgery, and digital prosthesis. Digital smile design (DSD) achieves the ideal position and shape of the prosthesis by referring to the patient's face shape and tooth shape. Surgical guide and navigation system ensure the optimal and most rational implant position. The digital aided bone augmentation makes the augmentation effect precise and controllable. Digital aided prosthesis not only provides comfortable experience for patients, but also brings more efficient digital workflow for doctors. In conclusion, this paper elaborates the implant therapy mode of aesthetic area in the digital era, in order to provide reference for clinicians to carry out implant therapy in aesthetic zones.

[Key words] aesthetics zone implant; digital workflow; precision implanting; treatment protocol

美学区种植一直是种植治疗的难点^[1]。随着种植成功率的不断提高,成功的骨结合不再是种植治疗的主要目标。目前,美学区种植成功的内涵除了稳定的骨结合并行使咀嚼功能外,还需要

有长期、稳定的美学效果——协调的种植体周围软组织及逼真的修复体^[2]。因此,一副更加美观、更符合功能要求、更便于远期维护的种植修复体,是种植医生现阶段追求的目标。牙拔除后,牙槽骨存在水平向和垂直向的骨改建,使其丧失天然外形,所以前牙区种植治疗常需要进行骨增量及软组织增量设计,但因增量后仍有吸收,组织管理存在复杂性与不确定性,因此美学区种植

[收稿日期] 2019-08-01; **[修回日期]** 2019-09-10

[基金项目] 国家自然科学基金(81471803, 81771125)

[作者简介] 蔡潇潇,教授,博士, Email: dentistcai@hotmail.com

[通信作者] 蔡潇潇,教授,博士, Email: dentistcai@hotmail.com

修复效果可预见性较差。

近年来,数字化技术日臻成熟,各种新兴技术层出不穷^[3]。数字化技术不但为医生提供了更快捷、高效、精确的诊断治疗方法,更赋予了美学区种植治疗流程新的内涵。基于循证证据,美学区种植现今的治疗决策与5~10年前相比有较大的区别。

因此,本文将以最终美学和修复结果为导向,利用贯穿全程的多种数字化手段,从术前信息获取与美学设计、种植外科、临时修复和最终修复的治疗流程中探索美学区数字化种植治疗模式,以期能够为临床医生开展美学区种植治疗提供参考。

1 术前设计

1.1 术前评估

在一个诊疗过程中,患者的术前评估尤为重要,术前评估很大程度上决定了治疗的难易与最终美学效果能否达到预期。国际口腔种植学会(International Team for Implantology, ITI)在《牙种植学的SAC分类》一书中提出了美学风险评估(esthetic risk assessment, ERA),外科SAC分级及修复SAC分级,根据治疗的难易程度对即将进行的种植外科和修复进行了分类,包括简单(straightfor-ward)、复杂(advanced)和高度复杂(complex)3种分类,这为种植临床医生进行术前评估提供了理论基础^[4]。

1.2 数字化信息获取

随着美学区种植治疗理念的进步,仅从美学、外科、修复风险与困难因素进行术前评估,难以给予医生明确的治疗指导。

近些年来,口腔锥形束计算机断层扫描(cone beam computed tomography, CBCT)在种植治疗领域得到广泛应用,医生可以在术前获得患者的颌骨三维影像信息;口内扫描、模型扫描、患者面部扫描技术蓬勃发展,使患者口内局部与面部整体信息得以获取和记录。

对于美学区牙列缺损,通过多种数字化软件,利用余留牙在CBCT中的硬组织体层数据(Dicom格式)信息与在扫描获得的面数据信息(STL格式)相拟合,使口内的软硬组织数据匹配并整合,进一步为在软件进行虚拟种植设计提供了可能。

2 数字化微笑设计(digital smile design, DSD)

以“修复为导向”的种植理念已成为种植治疗的共识^[5]。根据患者的面型与牙齿形态设计理想的修复体形态和位置,使种植体按照理想修复体位置植入,确保其精准位置与轴向。当患者发生前牙区牙列缺损时,根据患者面部信息及微笑时笑线位置,在计算机的辅助下进行前牙设计称为微笑美学设计^[6]。依照患者的正面微笑相,将患者的面部信息如面中线、瞳孔连线和患者微笑时上下唇的微笑曲线等面部标记点标示出,再与口内照片重叠后,将面部标记线转移至口内。在进行前牙排列时,微笑曲线决定了上切牙的切缘垂直向位置,面中线决定了牙列中线的位置。在中国汉族成年人中,上前牙临床牙冠宽度及长度比(clinical crown width: clinical crown length, CCW: CCL)为0.82~0.85^[7],男性整体偏窄长,女性整体偏宽短,上颌中切牙:上颌侧切牙:上颌尖牙的正面观宽度比为1.618:1:0.618,这也为上前牙进行数字化设计时的长宽比及牙体形状的选择提供了理论基础。在设计完成后,将设计好的牙齿与患者的微笑相进行重叠以便于进行术前医患沟通^[8]。随后根据DSD及比例标尺制作出美观蜡型,就位于患者口内进行试戴,评估美观蜡型的龈缘位置和处于静息及微笑状态下的暴露量、唇侧丰满度是否合适,必要时进行适当调整^[9]。目前,用于DSD的软件主要有演示幻灯应用软件、图像处理软件及专为DSD设计开发的专业软件(图1)。

除了使用静态照片进行微笑美学设计的方式以外,对于前牙多颗缺失和全口牙列缺失的患者,为保证患者治疗后的整体正、侧面美观,利用面部扫描信息进行微笑美学设计逐渐成为更为精准的设计方式。

使用面部扫描仪及口内扫描仪(或模型扫描仪)采集患者面部扫描信息及光学印模后^[10],将患者面部信息与口内光学印模进行拟合,并在软件中进行数字化虚拟排牙,完成虚拟设计。虚拟设计完成后的修复体信息可进行3D打印,并在患者口内试戴进行调整^[10-11]。

在完成美观蜡型设计后,将蜡型就位于患者口内进行口内光学印模扫描,将光学印模扫描模型与患者CBCT模型数据拟合,便得到了理想修复

体位置与患者颌骨的位置关系,并在此基础上进行数字化种植设计。



A: 多颗前牙连续缺失患者微笑相; B: 口内照片与患者微笑相拟合; C: 进行个性化牙冠形态及位置设计; D: 设计好后, 患者理想修复体的外形轮廓; E: DSD后患者微笑相; F: 根据DSD设计制作的美观蜡型。

图 1 DSD及诊断蜡型

Fig 1 DSD and diagnostic wax-up

3 美学区数字化外科技术

3.1 美学区种植体植入的基本原则

正确的种植体三维位置有利于种植体周围软硬组织的长期稳定,便于口腔卫生的维护^[12]。美学区理想的种植位置应满足:近远中向上,种植体肩台应距离邻牙牙周附着至少1.0~1.5 mm;相邻种植体之间距离应大于3.0 mm;冠根向上,种植体肩台应位于理想龈缘根方3.0~4.0 mm;唇舌向上,种植体肩台应位于理想外形高点腭侧1.5~2.0 mm。穿出位置尽可能位于切端略偏腭侧以获得螺丝固位。美学区种植可以完美地实现以“修复为导向”的种植理念,来获得理想的种植体三维位置^[13]。具体而言,医生可以利用软件中的虚拟排牙或由DSD指导的蜡型设计,得到理想的修复体位置,根据该修复体来对美学区种植体进行精确的定点、定深、定轴向,实现修复引导种植的理念,最大程度优化种植体的位置和上部结构位置,以获得修复体最理想的美学效果和种植体长期稳定。

3.2 美学区数字化种植外科技术

美学区种植治疗需要最优化、最合理化的种植体位置和植入方案的设计,因此数字化外科植入流程对于实现理想的美学区修复效果有着极大帮助。首先,相比于“自由手”,数字化种植手术导板技术(静态导航)、术中实时导航技术(动态导

航)引导下进行种植体植入的准确度更高。

3.2.1 数字化种植手术导板技术(静态导航) 根据制作方法不同,数字化种植手术导板技术可分为传统导板、计算机辅助设计和计算机辅助制造(computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM)种植导板;根据固位方式可分为黏膜支持式、骨支持式、牙支持式、混合支持式;根据种植体植入引导程度不同又可分为半程导板和全程导板^[14]。临床上选择何种支持类型主要根据缺失牙的部位和数量、邻牙牙周与牙体状况、邻牙在牙弓内分布等情况进行选择。前牙缺失患者多应用牙支持式导板,涉及美学区多牙缺失乃至全口缺失患者应用混合支持式或黏膜支持式导板。研究表明,使用黏膜支持式导板进行手术,种植体植入后的颈部、尖部位置偏差以及角度偏离均较大,而牙支持式手术导板的精度最高、固位稳定性最好。针对混合支持式导板,应用牢固的导板材料、对导板进行适当的修剪和重衬、翻瓣以提供骨支持、采用固定钉固定种植导板等方式都是确保种植导板稳定性的有效措施^[15-16]。此外,全程导板在种植手术中引导种植窝洞的预备和种植体的植入,其精确度高于半程导板^[17]。

3.2.2 数字化种植手术导航技术(动态导航) 计算机辅助导航手术是指术中能够在计算机同一坐标系中同时显示患者术前经过三维重建和可视化

处理后的手术部位与配有定位装置的手术器械,实时反映术中手术器械与手术部位的相对位置关系,从而指导手术操作。导航也可以提高种植手术的精准性^[18],与术前设计相比,数字化种植导航的临床实验误差为:种植体颊侧顶端0.60~1.44 mm,基底端0.55~1.00 mm;舌侧顶端0.70~1.36 mm,基底端0.49~1.20 mm;角度歪斜 $<6.4^{\circ}$ ^[19]。数字化种植导航的精确性受多种因素影响,如CT扫描、定位装置、配准、导航系统等。有学者^[20]对数字化种植导航与导板进行比较,研究结果显示差异不具有临床意义,但就精度、操作、冷却、受限条件及适应证等二者仍存在不同程度的差异。但是导航仪器及工具价格昂贵、体积笨重,目前其推广仍受到限制。

口腔领域的手术机器人在颌面外科运用最为广泛,在口腔种植中的应用还在尝试、摸索阶段^[21]。2016年,赵铤民教授团队^[22-23]从临床应用出发,以国外机器人为平台,开发了第一套国内口腔种植机器人系统,并用该机器人系统完成了体

外实验。虽然目前种植机器人应用并不广泛,种植机器人的确存在功能单一、智能化不足等缺点,但是,种植机器人因其操作精确、稳定性高以及智能化、标准化等优点,将会成为医疗器械领域的研究热点。

4 美学区数字化骨增量技术

种植体周围充足的软硬组织是保证种植修复取得长期成功的关键,特别是对于美学区种植来讲,良好的软硬组织管理显得尤为重要,如何实现牙弓轮廓的恢复是临床种植治疗的关键。目前,普遍认为美学区牙槽嵴增量后应至少需要保证种植体2 mm的唇侧骨板厚度,垂直向尽可能恢复到种植体可放置于理想龈缘根方3~4 mm的高度,实现以“修复为导向”的骨增量治疗程序^[24]。

4.1 传统骨增量技术

钛网用于前牙美学区复杂骨缺损的病例详见图2。



A: 骨弓轮廓不足; B: 种植体放置在正确的位置,可见明显颊舌向宽度不足; C: 骨缺损区域填入Bio-oss骨粉; D: 颊侧放置钛网支撑成骨空间,钛钉固位; E: 无张力缝合; F: 术后CBCT可见颊侧骨量充足。

图2 钛网用于前牙美学区复杂骨缺损

Fig 2 Application of titanium mesh for severe bone defects in the esthetic zone

对于前牙美学区骨弓轮廓的恢复,可选择的传统手术方式较多,如Onlay植骨、骨劈开、牵张成骨、引导骨再生(guided bone regeneration, GBR)等^[25]。根据不同的骨缺损情况可有不同术式的选择,GBR技术作为骨增量的金标准,在临床中最常使用。自1980年Nyman等^[26]将引导组织再生(guided tissue regeneration, GTR)应用于牙周组织再生,GBR不断发展应用于种植领域,其

盖膜方式可选择可吸收膜与不可吸收膜,在较为复杂的骨缺损情况下,不可吸收膜如钛网等对于骨增量效果有着更大的优势,其较强的轮廓可塑性以及空间支撑能力提供了良好的成骨空间,同时多孔的设计也保证了良好的血供来源,使得钛网骨增量的结果有较大的可预期性,在复杂骨缺损治疗中具有一定优势,为临床前牙美学区的复杂骨增量提供了可行的解决方案。

对于大多数研究,钛网对于水平向及垂直向骨增量均有较好的效果,水平增量效果约为4 mm,垂直向增量效果为3~5 mm。但是钛网暴露仍是主要并发症,术中应进行充分减张以减少钛网暴露的风险。除软组织张力外,钛网的厚度也与钛网暴露发生有关,目前多数研究使用钛网厚度为0.2 mm左右,在提供足够的空间支撑的同时也赋予钛网一定的可塑性^[27]。

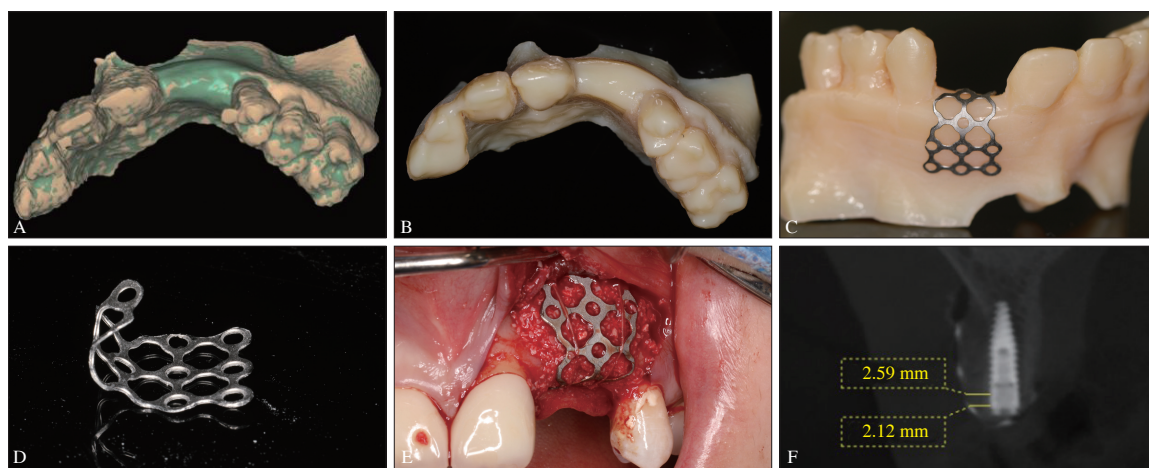
4.2 数字化技术辅助下的骨增量技术

虽然目前传统骨增量技术可基本满足临床需求,但“自由手”无法对种植体周围的骨量进行精准控制,更为精确地实现以“修复为导向”的骨增量程序,同时在骨增量术前设计以及手术实施过程中可控性较差,骨增量效果在大多数情况下跟术者的经验相关。因此,数字化技术在辅助种植体的精确植入、模型制取以及修复体设计与加工的同时,对于骨增量技术的辅助也有着较大意义^[28]。

目前,数字化技术应用于骨增量的研究进展主要集中在CAD/CAM钛网与CAD/CAM骨块材料,可辅助实现较为可控的骨增量程序。CAD/CAM钛网应用流程大致相同,首先在数字化软件上进行牙槽骨骨增量范围的设计,根据骨增量范围进行钛网范围与轮廓的虚拟设计,然后进行钛

网的打印制作。相比成品钛网,通过数字化设计制作的预成钛网更为适合骨增量的轮廓,避免术中弯制钛网,缩短手术时间,简化治疗流程^[29-33]。但目前CAD/CAM钛网表面可塑性较差,钛网暴露仍旧是较难避免的问题。除CAD/CAM钛网外, Jacotti等^[34]也利用CAD/CAM技术制作个性化骨块用于骨增量,以获得精确成型的三维骨块,从而更好地适应骨缺损外形轮廓,相比传统椅旁骨块成型效率大大增加。另外, De Stavola等^[35]也提出了计算机引导下的骨块截取,提高骨增量手术效率与安全性。

相比“自由手”下的骨增量,数字化技术辅助更为重要的是可实现更为精准的种植体周围骨量控制^[36]。首先,通过DSD及诊断蜡型等,获得虚拟的理想种植体三维位置。然后根据该种植体位置进行虚拟骨增量,水平向保证种植体颊侧2 mm的骨板厚度,接着适度过增量补偿植骨术后可能存在的吸收。数字化设计完成后,也可将虚拟增量的数字化模型进行3D打印,在打印模型上预弯钛网,保证钛网形状与3D模型外形轮廓一致。最后,将预弯钛网应用于GBR位点,通过钛网外形轮廓来控制骨替代材料的量,从而实现术中增量范围与术前虚拟增量范围一致,实现以“修复为导向”的精确骨增量(图3)。



A: 数字化设计软件进行虚拟骨增量; B: 根据虚拟骨增量进行颌骨模型3D打印; C: 在3D打印模型上根据骨增量轮廓进行钛网预弯; D: 预弯钛网包含数字化虚拟骨增量信息; E: 预弯钛网用于GBR术中指导骨增量范围; F: 术后CBCT显示种植体颊侧骨板厚度约2 mm, 牙槽嵴轮廓恢复更为符合预期。

图3 数字化辅助下的钛网骨增量流程

Fig 3 Digital procedure for bone augmentation with titanium mesh

随着以“修复为导向”种植理念的逐步深入,种植治疗不断向更为精准及可预期的方向发展,如何实现精准、可控的骨增量仍是未来种植治疗的研究重点。

5 数字化临时修复

种植体的三维位置、患者的局部解剖条件以

及临时修复体的使用决定了美学区种植治疗的效果。临时修复体的使用具有以下优势：1) 缩短患者的缺牙期，减少牙齿缺失对患者社交的影响；2) 利用穿龈形态对软组织进行塑形，使牙龈与周围组织协调一致，提高红色美学效果；3) 可作为诊断修复体，评估最终修复体的位置与形态^[37]；4) 有利于医患之间以及医技之间的沟通交流，以便及时进行适当的功能与美学调整^[38]。因此，在以“修复为导向”的美学区种植治疗中，想要获得良好的美学修复效果，临时修复体不可或缺。

在美学区种植治疗流程中的临时修复体，主要指种植体支持的临时修复体，通常用于即刻修复或者二期术后牙龈塑形^[39]。传统的临时修复仍然存在诸多问题，比如临时修复体往往根据医生或者技师的经验制作，尤其是牙冠颈部，因无法准确把握临时牙的穿龈大小与形态，导致临时修复后龈缘位置无法预期。除此之外，椅旁时间长、临时牙抛光不良、消毒困难等因素都可能影响临时修复的效果及应用。

个性化的临时修复体用于不翻瓣的前牙即刻种植即刻修复可以有效保存种植体周软组织的高度与厚度，并尽可能地减少唇侧牙槽嵴的吸收^[40-41]。而数字化种植治疗因其高可控、高精度和高预期而受到大家的广泛关注。通过使用数字化技术设计并制作个性化的临时修复体来更好地提高美学区种植治疗的美观与功能成为一个趋势。

通过模拟患牙的颈部形态去制作临时修复体可以促进种植周组织愈合并有效减少牙槽嵴的改建^[42]。因此，一些研究^[43-44]报道利用CAD/CAM技术复制拔除牙齿的颈部冠根形态去制作个性化临时修复体用于上前牙的即刻修复，可以良好地保存软组织的三维形态。除此之外，Joda等^[45]也提出通过翻转复制对侧同名牙的颈部形态去制作个性化CAD/CAM愈合帽用于二期术后牙龈塑形，可以获得良好的美学效果。相关文献^[46]表明，通过CAD/CAM制作的翻转复制对侧同名牙形态的镜像牙大小几乎与天然牙一致，牙颈部误差最小。因此，可以通过翻转复制对侧同名牙的颈部形态去制作CAD/CAM临时修复体，用于即刻修复或者二期术后牙龈塑形，从而更好地保存周围组织，并进行牙龈塑形。虽然前牙临时修复体与最终修复体的穿龈形态目前国际尚未有统一标准，但ITI临床治疗指南第十卷明确提出临时牙的穿龈部分应

缩窄，从而保留更多的软硬组织，其中穿龈部分唇侧微凹、近远中和腭侧微凸^[47]。因此，数字化临时牙的穿龈部分应满足以下要求：1) 龈缘根方1 mm区可翻转复制对侧同名牙的颈部形态；2) 余下穿龈部分缩窄，其中唇侧微凹、近远中和腭侧微凸。

6 数字化最终修复

通过临时修复体的戴用和调整，可以获得较为合适的修复体穿龈形态、唇面形态和舌面形态。因此，一副具有良好美学与功能的临时修复体是具有重要意义的。在制作最终修复体前，需要对临时修复体在美学、语音、功能与生物学4个方面进行评估^[48]。当临时修复体的上下颌关系、美学、牙齿位置、微笑线和软组织（唇和颊）支持均达到满意状态后^[49]，方可制取终印模。

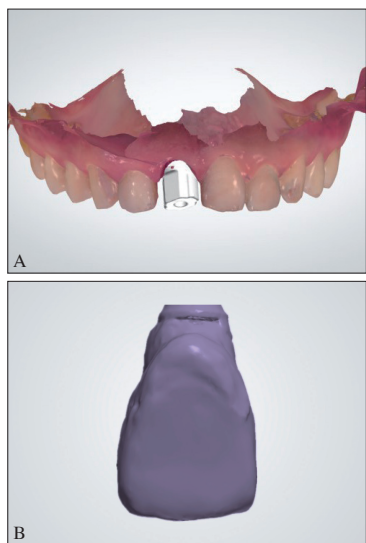
6.1 美学区数字化印模

对于美学区种植，为了精准复制临时修复体周围的软组织形态，常通过个性化取模的方式制取终印模。传统方法利用树脂等材料在取模柱周围再现穿龈部外形，或是直接利用临时修复体进行取模^[50]。但这种复制种植体穿龈轮廓的方式操作繁杂、耗时较长。多项研究^[51-53]表明，数字化印模相对于传统印模方式，在相似准确性的前提下，可以为患者带来更加舒适、高效的就诊体验，为医生带来更加高效的数字化工作流程。分别扫描种植体位置、穿龈袖口形态和修复体的外形^[54]，拟合以上数据^[55]，于修复设计软件中进行最终修复体设计，最终修复体形态复制临时修复体外形。通过此种方式，复制了种植体周围软组织的轮廓和修复体穿龈轮廓，避免了在印模过程中牙龈发生塌陷。准确地将种植体位置信息、牙龈信息和临时修复体信息转移到制作室的数字化工作流程中^[55]（图4）。

6.2 数字化引导的种植上部结构制作

数字化种植上部结构主要包括个性化基台、个性化种植支架以及上部修复体。近年来，美学区种植的基台选择，由最初的成品钛基台，逐渐向CAD/CAM个性化基台转变。相对于成品基台，CAD/CAM个性化基台具有众多优势。首先，数字化设计的CAD/CAM基台能够提供最合适的高度、角度，数字化设计使其具有与天然牙一致的穿龈轮廓，更加美观且有利于减少粘接剂的残留^[56-57]。

另外,据文献报道,氧化锆陶瓷具有优异的力学性能、化学稳定性、低导热性、低细菌黏附性和美观性^[58],且氧化锆基台与钛基台在5年生存率、机械并发症和生物学并发症方面没有显著差异^[59]。在美学区种植中,利用数字化扫描经临时牙塑形后的穿龈形态,进行CAD/CAM个性化氧化锆基台的设计可能将得到越来越广泛的应用,逐渐成为美学区种植修复的重要选择。



A: 美学区数字化印模扫描; B: 美学区数字化临时修复体印模扫描。

图4 数字化印模的应用

Fig 4 Application of digital impression

7 结论

对于美学区种植,数字化技术是一种高效而可靠的工具。通过数字化术前诊断、评估与信息获取,DSD获得目标明确的未来修复体形态,从最终修复效果出发进行种植体精准位置与轴向的虚拟设计;采用数字化导板或动态导航技术保证种植外科治疗的精准性,再经数字化骨增量管理、数字化临时牙设计、数字化印模制取、CAD/CAM个性化切削等技术,减少了治疗中的每一步误差,使得术前进行的DSD指导的美学设计得以逐步实现。后续治疗精确地转移前序治疗信息,步步为营,最终获得美学可预期、功能可期待的方法。数字化的新纪元已经到来,数字化辅助的以生物学为导向的精准种植策略,是种植治疗的发展趋势。如何更好地将数字化技术应用于美学区种植,仍值得医生继续探索。

8 参考文献

- [1] Sonick M, Hwang D, Dworkin J. Implants in the aesthetic zone: clinical guidelines[J]. Dent Today, 2017, 36(1): 91.
- [2] 宿玉成. 口腔种植学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 242.
Su YC. Implant dentistry[M]. 2nd Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014: 242.
- [3] Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, et al. Digital technology in fixed implant prosthodontics[J]. Periodontol 2000, 2017, 73(1): 178-192.
- [4] Dawson A, Chen S, Buser D, et al. The SAC classification in implant dentistry[M]. Berlin: Quintessence Publishing, 2009: 14-23.
- [5] Meereis CTW, de Souza GBF, Albino LGB, et al. Digital smile design for computer-assisted esthetic rehabilitation: two-year follow-up[J]. Oper Dent, 2016, 41(1): E13-E22.
- [6] Coachman C, Calamita MA, Sesma N. Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D digital smile design process[J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2017, 37(2): 183-193.
- [7] 余挺, 杨希, 赵莉, 等. 中国汉族成年人的上前牙临床牙冠长度及宽长比分析[J]. 口腔医学研究, 2018, 34(9): 1003-1006.
Yu T, Yang X, Zhao L, et al. Length and width-to-length ratio of clinical crown of Chinese Han adults in Wuhan[J]. J Oral Sci Res, 2018, 34(9): 1003-1006.
- [8] 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(1): 134.
- [9] 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): E30.
- [10] Harris BT, Montero D, Grant GT, et al. Creation of a 3-dimensional virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental prostheses: a clinical report[J]. J Prosthet Dent, 2017, 117(2): 197-204.

- [11] Lin WS, Harris BT, Phasuk K, et al. Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers: a clinical report[J]. J Prosthet Dent, 2018, 119(2): 200-205.
- [12] Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, et al. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2014, 29(Suppl): 25-42.
- [13] Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2004, 19(Suppl): 43-61.
- [14] Colombo M, Mangano C, Mijiritsky E, et al. Clinical applications and effectiveness of guided implant surgery: a critical review based on randomized controlled trials[J]. BMC Oral Health, 2017, 17(1): 150.
- [15] Turbush SK, Turkyilmaz I. Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2012, 108(3): 181-188.
- [16] Ozan O, Turkyilmaz I, Ersoy AE, et al. Clinical accuracy of 3 different types of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2009, 67(2): 394-401.
- [17] Sato D, Kanazawa M, Kim YK, et al. Immediate loading of two freestanding implants placed by computer-guided flapless surgery supporting a mandibular overdenture with magnetic attachments[J]. J Prosthodont Res, 2016, 60(1): 54-62.
- [18] D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, et al. Current state of the art of computer-guided implant surgery [J]. Periodontol 2000, 2017, 73(1): 121-133.
- [19] 贾胜男, 罗佳, 林野. 计算机辅助导航技术在口腔种植手术中的应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2014, 49(6): 379-382.
- Jia SN, Luo J, Lin Y. Application of computer aided navigation technology in oral implant surgery[J]. Chin J Stomatol, 2014, 49(6): 379-382.
- [20] Jung RE, Schneider D, Ganeles J, et al. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2009, 24(Suppl): 92-109.
- [21] Wu YQ, Wang F, Fan SC, et al. Robotics in dental implantology[J]. Oral Maxillofac Surg Clin North Am, 2019, 31(3): 513-518.
- [22] 吴秦. 口腔种植机器人空间映射装置的研发及其应用研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2016.
- Wu Q. Research on the creation and application of the spatial mapping devices of the dental implant robot system[D]. Xi'an: The Fourth Military Medical University, 2016.
- [23] 谢瑞. 口腔种植机器人系统精度的相关研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2016.
- Xie R. The study accuracy of the Dental Implantology Robotic System[D]. Xi'an: The Fourth Military Medical University, 2016.
- [24] Chiapasco M, Casentini P. Horizontal bone-augmentation procedures in implant dentistry: prosthetically guided regeneration[J]. Periodontol 2000, 2018, 77(1): 213-240.
- [25] Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone augmentation procedures in implant dentistry[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2009, 24(Suppl): 237-259.
- [26] Nyman S, Karring T, Lindhe J, et al. Healing following implantation of periodontitis-affected roots into gingival connective tissue[J]. J Clin Periodontol, 1980, 7(5): 394-401.
- [27] Briguglio F, Falcomatà D, Marconcini S, et al. The use of titanium mesh in guided bone regeneration: a systematic review[J]. Int J Dent, 2019, 2019: 9065423.
- [28] Sumida T, Otawa N, Kamata YU, et al. Custom-made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: clinical application and the comparison with conventional titanium mesh[J]. J Craniomaxillofac Surg, 2015, 43(10): 2183-2188.
- [29] Al-Ardah AJ, Alqahtani N, AlHelal A, et al. Using virtual ridge augmentation and 3-dimensional printing to fabricate a titanium mesh positioning device: a novel technique letter[J]. J Oral Implantol, 2018, 44(4): 293-299.
- [30] Mounir M, Shalash M, Mounir S, et al. Assessment of three dimensional bone augmentation of severely atrophied maxillary alveolar ridges using prebent titanium mesh vs customized poly-ether-ether-ketone (PEEK) mesh: a randomized clinical trial[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2019. DOI: 10.1111/cid.12748.

- [31] Ciocca L, Fantini M, De Crescenzo F, et al. Direct metal laser sintering (DMLS) of a customized titanium mesh for prosthetically guided bone regeneration of atrophic maxillary arches[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2011, 49(11): 1347-1352.
- [32] Ciocca L, Ragazzini S, Fantini M, et al. Work flow for the prosthetic rehabilitation of atrophic patients with a minimal-intervention CAD/CAM approach[J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(1): 22-26.
- [33] Sagheb K, Schiegnitz E, Moergel M, et al. Clinical outcome of alveolar ridge augmentation with individualized CAD-CAM-produced titanium mesh[J]. *Int J Implant Dent*, 2017, 3(1): 36.
- [34] Jacotti M, Barausse C, Felice P. Posterior atrophic mandible rehabilitation with onlay allograft created with CAD-CAM procedure: a case report[J]. *Implant Dent*, 2014, 23(1): 22-28.
- [35] De Stavola L, Fincato A, Albiero AM. A computer-guided bone block harvesting procedure: a proof-of-principle case report and technical notes[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2015, 30(6): 1409-1413.
- [36] Ciocca L, Lizio G, Baldissara P, et al. Prosthetically CAD-CAM-guided bone augmentation of atrophic jaws using customized titanium mesh: preliminary results of an open prospective study[J]. *J Oral Implantol*, 2018, 44(2): 131-137.
- [37] Javaheri D. Achieving anterior aesthetics in a full-arch implant case[J]. *Dent Today*, 2016, 35(1): 118, 120-121.
- [38] Santosa RE. Provisional restoration options in implant dentistry[J]. *Aust Dent J*, 2007, 52(3): 234-242, 254.
- [39] Heymann HO. The Carolina bridge: a novel interim all-porcelain bonded prosthesis[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2006, 18(2): 81-92.
- [40] Chu SJ, Salama MA, Garber DA, et al. Flapless postextraction socket implant placement, part 2: the effects of bone grafting and provisional restoration on peri-implant soft tissue height and thickness—a retrospective study[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2015, 35(6): 803-809.
- [41] Tarnow D, Chu S, Salama M, et al. Flapless post-extraction socket implant placement in the esthetic zone: part 1. the effect of bone grafting and/or provisional restoration on facial-palatal ridge dimensional change: a retrospective cohort study[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2014, 34(3): 323-331.
- [42] Saito H, Chu SJ, Reynolds MA, et al. Provisional restorations used in immediate implant placement provide a platform to promote peri-implant soft tissue healing: a pilot study[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2016, 36(1): 47-52.
- [43] Liu XQ, Tan Y, Liu JZ, et al. A digital technique for fabricating implant-supported interim restorations in the esthetic zone[J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(4): 540-544.
- [44] Vafiadis D, Goldstein G, Garber D, et al. Immediate implant placement of a single central incisor using a CAD/CAM crown-root form technique: provisional to final restoration[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2017, 29(1): 13-21.
- [45] Joda T, Ferrari M, Braegger U. A digital approach for one-step formation of the supra-implant emergence profile with an individualized CAD/CAM healing abutment[J]. *J Prosthodont Res*, 2016, 60(3): 220-223.
- [46] Anssari Moin D, Hassan B, Wismeijer D. A novel approach for custom three-dimensional printing of a zirconia root analogue implant by digital light processing[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(6): 668-670.
- [47] Chappuis V, Martin W. ITI treatment guide (volume 10)[M]. Berlin: Quintessence Publishing, 2017: 145.
- [48] Fradeani M, Barducci G. 口腔固定修复中的美学重建 (第2卷) [M]. 王新知, 译. 北京: 人民军医出版社, 2009: 253.
- Fradeani M, Barducci G. Esthetic rehabilitation in fixed prosthodontics (volume 2)[M]. Wang XZ, Translate. Beijing: People's Military Medical Publishing House, 2009: 253.
- [49] Yilmaz B. CAD-CAM high-density polymer implant-supported fixed diagnostic prostheses[J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(5): 688-692.
- [50] 谭震. 口腔种植关键技术实战图解[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 314.
- Tan Z. Color atlas of the key techniques in implant dentistry[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014: 314.
- [51] Fasbinder DJ. Digital dentistry: innovation for re-

- storative treatment[J]. Compend Contin Educ Dent, 2010, 31(Spec No 4): 2-12.
- [52] Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, et al. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes[J]. BMC Oral Health, 2014, 14: 10.
- [53] Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial[J]. Clin Oral Implants Res, 2016, 27(12): e185-e189.
- [54] Monaco C, Ragazzini N, Scheda L, et al. A fully digital approach to replicate functional and aesthetic parameters in implant-supported full-arch rehabilitation[J]. J Prosthodont Res, 2018, 62(3): 383-385.
- [55] Monaco C, Evangelisti E, Scotti R, et al. A fully digital approach to replicate peri-implant soft tissue contours and emergence profile in the esthetic zone[J]. Clin Oral Implants Res, 2016, 27(12): 1511-1514.
- [56] Wasiluk G, Chomik E, Gehrke P, et al. Incidence of undetected cement on CAD/CAM monolithic zirconia crowns and customized CAD/CAM implant abutments. A prospective case series[J]. Clin Oral Implants Res, 2017, 28(7): 774-778.
- [57] Pietruski JK, Skurska A, Bernaczyk A, et al. Evaluation of concordance between CAD/CAM and clinical positions of abutment shoulder against mucosal margin: an observational study[J]. BMC Oral Health, 2018, 18(1): 73.
- [58] Nascimento CD, Pita MS, Fernandes FHNC, et al. Bacterial adhesion on the titanium and zirconia abutment surfaces[J]. Clin Oral Implants Res, 2014, 25(3): 337-343.
- [59] Pabst AM, Walter C, Bell A, et al. Influence of CAD/CAM zirconia for implant-abutment manufacturing on gingival fibroblasts and oral keratinocytes[J]. Clin Oral Investig, 2016, 20(5): 1101-1108.
- (本文编辑 王姝)

• 专家简介 •



蔡潇潇, 女, 教授, 博士研究生导师, 四川大学华西口腔医院种植科副主任。2000年考入四川大学华西口腔医学院, 并完成了本、硕、博10年的专业学习。博士期间赴美国哈佛大学牙学院进行了2年的联合培养。曾获2011、2012年中华口腔医学会优秀青年人才奖。回国至今一直从事口腔种植外科、种植修复和口腔修复的临床工作, 擅长于前牙美学种植、即刻种植及牙列缺失的种植美学个性化修复。病例荣获2013、2015、2016、2017、2018年北京口腔种植培训中心(BITC)举办的全国口腔种植病例大赛金奖。主持3项国家自然科学基金项目, 作为第一作者及通信作者发表国际高水平论文50余篇。国际牙种植学会(ITI)会员, 中华口腔医学会种植专业委员会委员, 四川省口腔种植专业委员会常务委员。