种植导板的设计制作及临床应用前景

向 梅，张 宇(南方医科大学口腔医学院，南方医科大学南方医院口腔种植科，广东省广州市 510515)

文章亮点：

1 此问题已知信息：随着生活水平的提高，患者对种植修复后效果的期望值越来越高。种植导板的运用能提高种植的准确性，使种植后的修复体更加美观、舒适。

2 文章增加的新信息：随着科技的进步，同时也为了追求更佳的种植修复效果，简化手术，降低手术风险，研究者们通过改良种植导板的制作方法提高其精确性，并改善其临床应用效果。

3 临床应用的意义：结合患者 CT 数据，应用计算机辅助软件与数字加工技术制作种植导板，提高了种植术后效果，降低了手术风险，简化了手术过程。

关键词：
生物材料；口腔生物材料；种植体；种植导板；精确性；CAD/CAM；快速成型
主题词：
牙种植体；计算机辅助设计；牙制备，口腔修复
基金资助：
广东省科技计划项目(2010B010800023)

向梅，女，1989年生，湖北省钟祥市人，汉族，南方医科大学在读硕士，主要从事口腔种植修复研究。

通讯作者：张宇，副主任医师，硕士生导师，南方医科大学南方医院口腔种植科，广东省广州市 510515

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.03.029
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:2095-4344(2015)03-00488-05
稿件接受：2015-01-03

摘要

背景：种植体的准确植入是术后获得美观、良好功能修复体的关键，也是种植体得到良好骨结合的重要保证。

目的：对种植导板的分类、设计制作、精确度和临床应用进行总结和介绍，并着重对计算机辅助设计与计算机辅助制造技术(CAD/CAM)制作的种植导板做一阐述。

方法：应用计算机检索 2000 至 2014 年中国知网和 PubMed 数据库中，关于种植导板制作和临床应用具有代表性的文献，在主题词中以“种植导板，精确性，快速成型，CAD/CAM”或“surgical implant guide，accuracy，rapid prototype”为检索词进行检索。

结果与结论：种植导板由导管与定位板组成，其中导管的位置和角度记录了术前设计种植体的位置、角度与深度信息，通过导管将这些信息转移到手术中，以便使种植体植入到准确位置；定位板起着定位作用，它与骨、牙齿或牙槽嵴表面相贴合。种植导板的应用能提高种植修复后的效果，尤其是 CAD/CAM 种植导板的应用，不仅提高了种植修复后的美学效果，改善了修复体的应力分布，还降低了手术风险，简化了手术过程，但其制作价格较昂贵且还存在一些不足，需要进一步研究以降低其成本，提高临床应用效果。

向梅，张宇. 种植导板的设计制作及临床应用前景[J].中国组织工程研究，2015，19(3):488-492.

Design, fabrication and clinical application of surgical implant guides

Xiang Mei, Zhang Yu (Department of Dental Implantation, Nanfang Hospital of Southern Medical University, Stomatological School of Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Precise placement of dental implants is necessary to identify a predictable restoration outcome and to ensure a good osseointegration.

OBJECTIVE: To summarize and introduce the classification, fabrication and clinic application of surgical implant guides, especially focusing on computer-aided design/computer-aided manufacture (CAD/CAM) implant guides.

METHODS: A computer-based search was performed in the CNKI database and PubMed database for articles addressing the fabrication and clinical applications of surgical implant guides published from 2000 to 2014. The key words were “surgical implant guide, accuracy, rapid prototype, CAD/CAM” in English and Chinese, respectively.

RESULTS AND CONCLUSION: The surgical implant guide consists of drill guide and positioning plate. The position, angle and depth of pre-operative planning implant are recorded by the drill guide that can transfer the pre-operative information intraoperatively in order to improve the precise placement of implant. The positioning plate plays a positioning action, which fits the surface of bone, tooth and alveolar crest. Surgical implant guide can improve the outcome of restoration, in particular, CAD/CAM implant guide cannot only enhance the outcome and stress distribution of restoration, but also reduce the operation risk and simplify the operation process. However, the implant guide is expensive and has some deficiencies, which need in-depth research to lower the cost as well as to improve the clinical effects.

Subject headings: Dental Implants; Computer-Aided Design; Tooth Preparation, Prosthodontic
Funding: the Science and Technology Plan of Guangdong Province, No. 2010B010800023

Xiang Mei, Studying for master’s degree, Department of Dental Implantation, Nanfang Hospital of Southern Medical University, Stomatological School of Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

Corresponding author: Zhang Yu, Associate chief physician, Master’s supervisor, Department of Dental Implantation, Nanfang Hospital of Southern Medical University, Stomatological School of Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong Province, China

Accepted: 2015-01-03

Xiang M, Zhang Y. Design, fabrication and clinical application of surgical implant guides. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(3):488-492.

0 引言 Introduction

种植修复在口腔修复中占据重要地位，已成为缺牙修复的首选方法之一。要达到良好的种植修复效果，主要取决于术前仔细检查缺牙部位牙槽嵴的高度、宽度、骨密度及周围重要解剖结构，并做出正确的诊断和治疗计划，把术前设计准确转移到手术中[1]。尽管经验丰富的医生能根据X射线影像在手术中较准确地把握种植体的位置、方向和深度，但对于多牙缺失、剩余牙槽骨条件较差再加上颌骨解剖结构的个体差异，放射条件的限制，术中体位和视野的限制，使实际种植位置与预测种植位置易发生偏差，这种情况下易造成植入区骨穿孔及临近重要解剖结构的损伤，并且种植体位置不当也会影响上部结构的修复，从而影响修复后的功能和美观[2]。

随着种植技术的不断发展和种植材料的不断更新，患者对种植修复后效果的期望越来越高，再加上“以修复体为指导种植技术”理念的提出，要求医生在术前要综合考虑种植后修复体的功能、美观和邻近解剖结构来设计种植体的位置，并把术前设计准确转移到手术中[3]。种植导板作为一种桥梁能起到这一作用[4]。

1987年Edge首次应用了种植导板辅助种植手术，改变了之前仅凭借医生临床经验和术前影像学信息来进行种植手术。早期的种植导板是在模型上应用压膜式技术制作的，虽然在一定程度上考虑了修复后的效果，但其无法明确骨组织内的信息，所以种植体的植入很大程度上还是依靠医生的临床经验[5]。近年来，随着计算机三维影像成像技术、种植体设计软件、数字加工技术在口腔种植领域的应用与发展，计算机辅助设计和制造的种植导板在临床上的应用也越来越多，它作为一个虚拟到现实的桥梁，可使种植体准确地植入术前所设计的位置。这不仅可以提高种植修复后的美学效果，改善修复体的应力分布，还可降低手术风险，简化手术过程[6-7]。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 由第一作者应用计算机检索2000至2014年中国知网和PubMed数据库中关于种植导板制作和临床应用具有代表性的文献，在主题词中以“种植导板，精确性，快速成型， CAD/CAM ”或“surgical implant guide，accuracy，rapid prototype”为检索词进行检索。

1.2 资料筛选与评价

纳入标准：①关于种植导板制作与临床应用具有代表性的文献。②相关领域权威杂志的文章。

排除标准：①内容不符合要求的文章。②内容陈旧或重复的文章。

1.3 资料提取与文献质量评价 文献的筛选和质量评价由第一作者进行，初次检索73篇中英文文献，通过阅读摘要和全文，查阅有代表性的文献40篇，进行归纳总结。

2 结果 Results

2.1 种植导板的分类及特点 种植导板是由导管与定位板组成，其中导管的位置和角度记录了术前设计种植体的位置、角度、深度信息，通过导管将这些信息转移到手术中，以便使种植体植入到准确位置。定位板起着定位作用，它与骨、牙齿或牙槽嵴表面相贴合[4, 8]。为了保证种植体的精确性，往往还会制造不同内径的内管插入导管中以供不同直径的先锋钻或成型钻使用。

目前国内外学者对种植导板的分类各有不同，根据制作方法不同，可分为传统导板和CAD/CAM种植导板[9]。传统导板一般是在石膏模型上制作的，在一定程度上考虑了咬合和解剖情况，它制作简单，但精确性较差。CAD/CAM种植导板是结合数字影像、计算机技术、数字加工为一体的新型种植导板，它充分考虑了颌骨的三维解剖情况和咬合关系，精确性高，能简化手术和降低手术风险，但价格较昂贵[10]。

种植导板根据支持组织不同可分为黏膜支持式、骨支持式、牙支持式、混合支持式。①黏膜支持式多用于无牙颌的患者，导板直接覆盖在牙槽嵴上，手术过程中不用翻开黏骨膜瓣，但黏膜有一定的弹性，黏膜支持式的导板固位效果较差，往往需要增加固位钉固定。②骨支持式导板多适用于无牙颌及缺牙较多的患者，手术过程中需要翻开黏骨膜瓣。③牙支持式导板多用于缺牙数目较少的患者，缺牙区有邻牙，手术中根据情况既可翻瓣也可不翻瓣。

根据种植窝限制程度不同又可分为不限制式、部分限制式、完全限制式[11]。①不限制式导板只限制了植入位点，而没有限制种植体的深度、方向和直径。它的特点是制作简单，价格低廉。这类导板对牙槽骨条件差或邻近有重要解剖结构的情况有一定的局限性。②部分限制式导板只限制了植入的方向，而对植入深度、先锋钻和成型钻的直径没有限制，因此其精确性小于完全限制式。③完全限制式种植导板限制了种植体植入的每个环节，包括方向、直径和深度，精确度较高，现已成为种植导板发展的主要方向。

2.2 种植导板的制作

2.2.1 传统导板的制作 传统导板一般是用热压膜技术制作的。首先给患者取模并翻制石膏模型，在模型的缺牙区根据咬合关系和牙槽嵴的解剖情况雕刻蜡型，再翻制石膏模型，将有蜡型的石膏模型放置于抽真空压膜

机上，用较厚的树脂薄膜压制导板，修剪导板，在缺牙区的相应位置即基台穿出的位置钻直径与导管外径等大的孔，插入导管，并将导管用透明树脂固定在导板上[4, 12]。目前，还有一些研究报道了关于种植导板制作的改良方法。邓再喜等[13]介绍了一种制作种植体导板的新方法。首先，对需要进行种植体植入的缺损部位进行蜡牙形态恢复，然后使用手调式硅橡胶，制取印模，再使用透明注塑树脂进行灌注成形，最后进行打孔、磨光，完成种植体导板。George等[14]也报道了一种相似的方法，不同之处是他采用光敏树脂制作，且在制作过程中借助根尖片提供的信息，采用定位杆对拟植入种植体的位置进行校正。类似于这些种植导板的制作方法还有很多，但它们的一个共同特点是未能精确考虑颌骨的三维解剖结构。

2.2.2 CAD/CAM种植导板的制作

*CAD/CAM种植导板制作原理：*CAD/CAM导板的制作是基于CT数据基础上的。患者术前需要进行缺牙区颌骨的CT扫描，将扫描的数据以DICOM格式导入相应的软件，进行颌骨的三维重建，并且根据颌骨的三维解剖结构和咬合关系(用放射导板记录)设计种植体的最佳植入方案，包括种植体的位置、角度、数目、深度，进而根据其设计方案设计种植导板，最后将设计的导板进行加工制造[15-17]。

CAD/CAM导板制作中常用软件：现阶段导板设计的软件种类较多(**表1**)。每种设计软件所设计的种植导板的制作地点、加工工艺、种植系统兼容性各不相同，其中部分软件设计的导板需要国外制造，如瑞士Nobel Biocare 公司生产的Nobel Guide、美国生产的Easy Guide等；还有一部分软件设计的导板是可以本地加工制造的，如比利时Materialise 公司生产的Simplant 和Surgicase，德国生产的Implant 3D等。这些软件的使用程序大致为：根据导入的颌骨数据重建三维模型；测量缺牙区的牙槽嵴宽度、高度、离重要解剖结构的距离、骨密度等[18]；根据缺牙区情况选择所需种植系统下不同型号的种植体，或者自行绘制不同型号的种植体进行模拟种植，要求种植体的位置能满足解剖结构和咬合的需求；根据所放置的种植体，轴向设计种植导板的导管结构，根据缺牙区周围邻牙和骨形态设计导板的固位结构，形成导板；把最后形成的导板以特定的格式(一般为STL格式)导入到制造设备中进行后续的制造。

CAD/CAM导板制作工艺：CAD/CAM种植导板后续的制作工艺主要有快速成型技术和数控技术。快速成型技术是将计算机设计的三维模型或者CT等断层扫描资料，转化为片层信息，应用快速成型设备依据这些片层信息，通过光固、烧结和黏结等工艺将材料逐层添加制作出实体来[19-20]。加工制造速度快是快速成型技术的特点之一，制作一个模型一般只需要几个小时，最长为十几个小时。由于快速成型技术是借助增加材料进行加工的方法，所以能够制造结构较复杂的模型，但其制造设备较昂贵，再加上受设备空间的限制，制造模型的尺寸有限，材料的选择范围也较窄[21-22]。数控技术是数字化控制技术的简称，它的成型原理是依据CAD三维模型的驱动，在整块材料上挖掘而成的技术方法，实质是去除材料加工，即减材加工。数控技术一般采用三维数控铣床或者雕刻机就可以进行生产，其加工制作过程速度较快、选择材料广泛、制作精度较高，由于数控设备加工范围大，所以加工尺寸也较大，但由于它是通过在整块材料上切割而成型的技术，这就决定了其在一些结构较复杂产品上的局限性[23-24]。

表1 计算机辅助种植设计软件

软件名称	生产公司	加工方式	种植系统兼容性
Simplant	Materialise, leuven, Belgium	本地加工	单一系统兼容
Nobel Guide	NobelBiocare, Goteborg, Sweden	统一加工	多系统兼容
Implant3D	Media Labsoftware, Germany	本地加工	多系统兼容
CAD Implant	CADimplant,LaTronche,France	统一加工	多系统兼容
Easy Guide	Keystone-Dental,Burlington,MA	统一加工	多系统兼容
Blue Sky Plan	Bredent, Senden, Germany	统一加工	多系统兼容

2.3 种植导板精确性的研究 种植外科导板作为最终的信息载体，是将术前设计与手术操作连接在一起的桥梁，对于一些多牙缺失、牙槽骨较差的情况，模拟的植入位置向实际植入位置转移是导板的关键，因此实际植入的精确度成为种植导板的关键[25]。

2.3.1 种植导板精确性的系统性评价 种植导板精确性的评价是通过把种植后的三维影像与术前模拟种植的三维影像进行配准，测量实际种植体与模拟种植体的偏差值(颈部、尖端、角度)来进行的。目前国内外对种植导板精确性评价的研究较多，但精确性有所差异。Tahmaseb等[26]在24例计算机辅助设计和制作的种植导板精确性研究的系统分析中(包含体内和体外研究共1 532颗种植体)，指出种植体颈部平均偏离为1.12 mm，其中最大值为4.5 mm，种植体尖端平均偏离值为1.39 mm，最大值为7.1 mm。Ozan等[27]指出在临床研究中种植导板在下颌骨区角度偏离值小于上颌骨，分别为(3.32±1.90)°、(4.58±2.40)°。而在风险评估中，种植体头部的偏差极限值尤为重要，当水平偏差达1.86 mm或垂直偏差达2.7 mm都可能造成解剖结构的损害[28]。一些研究指示种植导板的精确性在体外研究中比体内研究中偏高，种植体顶端的偏离值大于颈部[29-30]。

2.3.2 不同类别种植导板的精确性 种植导板的种类较多，精确性也各有不同。Sarment等[31]比较传统种植导板与CAD/CAM种植导板的精确性，结果显示传统种植导板辅助下种植体颈部和尖端的偏离值分别为(1.50±0.70)，(2.10±0.97) mm，在CAD/CAM种植导板辅助下种植体颈部与尖端的偏离值减小到(0.90±0.50)，

(1.00±0.60) mm。Turbush等[32]和Ozan等[27]分别在体内和体外进行了骨支持式、牙支持式、黏膜支持式导板精确性的比较，结果提示牙支持式种植导板在种植体角度、颈部、顶端的精确性都大于骨支持式和黏膜支持式；而在体外研究中，黏膜支持式种植导板在种植体颈部和顶端的精确性略差于骨支持式和牙支持式导板。两者均提示黏膜支持式导板精确性相对较差，而在牙、骨支持式导板精确性问题上存在分歧，可能是体外研究是在一个理想的环境下，排除了患者体位、唾液、血液特别是翻瓣后骨支持式导板固位不良的影响。

2.3.3 误差原因的分析 由于导板的制作方法、实验对象不同，研究者对导板精确度的评价也有所不同[33-34]。现分析如下：①CT扫描：颌骨的CT扫描为导板的制作提供三维影像数据，如选择的CT设备不合适或拍摄过程中患者不合作，都将影响数据的质量。目前口腔领域使用最多的为CBCT，因其拍摄时间短、放射剂量小、扫描层薄，所以能更好地提取口腔硬组织影像数据[35-36]。②三维重建：在颌骨或模型三维重建过程中，阈值的选择是至关重要的，若阈值选择不当，将影响组织的提取；如阈值过大，组织提取不完整，在此基础上制造的导板就位不良；阈值过小，制作的导板稳定性较差[37]。③导板制作工艺：选择何种制作工艺，将直接影响种植导板的精确性。④配准过程：由于种植导板精确性的评价是通过把种植后的三维影像与术前模拟种植的三维影像进行配准，测量实际种植体与模拟种植体的偏差值来进行的，所以配准与否也会影响精确度的评价。⑤手术过程：在手术过程中，操作不当导致导板就位不良、稳定性差都会影响精确度。如前牙区导板就位不良会加大种植体近远中偏差。

2.4 种植导板使用的临床效果

2.4.1 种植体的存活率 Tahmaseb等[26]在最近的1篇系统分析中报道，在种植导板辅助下种植体1年存活率为97.3%，而在无种植导板辅助下种植体的1年存活率为96%[38]。在种植导板辅助下，当上部修复结构为单冠时，种植体的5年存活率为96.8%；当上部修复结构为固定桥时，种植体的5年存活率为95.4%[38]。无种植导板辅助下，当上部修复结构为单冠时，5年存活率为94.5%[39]；当上部修复结构固定桥时，5年存活率为91.5%[40]。由此可见，在种植导板辅助下的种植体有较高的存活率。

2.4.2 术中、术后并发症 由于适应证把握不当，种植导板使用方法不规范，手术操作失误等都会影响术后效果，严重情况下将会导致一系列的并发症。

术中并发症：①患者张口受限，导板就位困难。②术前未能精确的评价骨量与骨质，造成手术过程中需要计划外的骨增量。③导板使用不当或导板制造材料强度不足，导致术中导板破裂。④导板使用过程中牙槽嵴骨裂。⑤导板固位不良。

术后并发症：①导板固位钉口感染。②急性上颌窦炎。③ 附着龈不足。④龈缘瘘管。⑤种植体周围骨吸收等。

2.5 种植导板的优缺点

2.5.1 优点 ①术前能根据颌骨情况和咬合关系确定种植体的大小、位置和方向等，避免了手术的盲目性和术后因力传导不良而引起的并发症。②能精确测量牙槽骨的宽度和高度，以及下牙槽神经管、上颌窦、邻牙牙根等重要解剖结构至植牙区的距离，降低了术中风险。③多牙缺失或骨量缺损的情况往往增加了手术难度，需要临床经验丰富的医生来完成，而种植导板的使用将降低手术难度。④手术可不用翻开黏骨膜瓣，而直接用环切方式进行微创手术，减少了创伤和手术时间。

2.5.2 缺点 ①在手术过程中降低了术区的可视性和术者的触觉灵敏性。②对张口度不足的患者有一定的局限性。③种植导板的阻挡影响了种植窝洞的散热。④增加了患者经济负担。

3 讨论 Discussion

大量的临床试验已证明，种植导板的使用能提高种植修复后的美学效果，改善修复体的应力分布，降低手术风险，简化手术过程。种植导板的临床应用越来越多，不同种类的种植导板各有其优缺点，选择合适的种植导板不仅可以提高临床效果，也可以降低医疗成本，如传统导板制作简单，价格低廉，适合于剩余牙槽骨情况较好的患者；而CAD/CAM种植导板制作成本较高，但其精确性高，对于多牙缺失、颌骨条件较差者更能发挥其优势。但目前关于如何选择种植导板还没有统一标准，这还需要临床工作者进行总结和归纳。虽然种植导板有诸多优点，但价格较昂贵，目前在临床上还没有得到普遍的应用。如何降低种植导板的成本并提高其精确度是目前研究的热点。

作者贡献：综述的构思、资料收集及成文为向梅，张宇审校，向梅对文章负责。

利益冲突：文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求：未涉及伦理冲突的内容。

学术术语：种植导板–是由导管与定位板组成，其中导管的位置和角度记录了术前设计的种植体的位置、角度、深度信息，通过导管将这些信息转移到手术中，以便使种植体植入到准确位置。定位板起着定位作用，它与骨、牙齿或牙槽嵴表面相贴合。

作者声明：文章为原创作品，无抄袭剽窃，无泄密及署名和专利争议，内容及数据真实，文责自负。

4 参考文献 References

[1] Widmann G,Bale RJ.Accuracy in computer-aided implant surgery--a review. Int J Oral Maxillofac Implants.2006; 21(2): 305-313.

[2] Novellino MM,Sesma N,Lagana DC,et al.Linear and angular deviations of implants placed in experimental casts with stereolithographic drill guides fixed by o'ring ortho implant devices.Braz Dent J.2013;24(4):391-396.
[3] Dandekeri SS,Sowmya MK,Bhandary S.Stereolithographic surgical template: a review.J Clin Diagn Res.2013;7(9): 2093-2095.
[4] 白石柱,刘宝林,陈小文,等.种植导板的制作及CAD-CAM技术的应用[J].实用口腔医学杂志,2011,27(1):138-142.
[5] Hultin M,Svensson KG,Trulsson M.Clinical advantages of computer-guided implant placement: a systematic review.Clin Oral Implants Res.2012;23 Suppl 6:124-135.
[6] Sohmura T,Kusumoto N,Otani T,et al.CAD/CAM fabrication and clinical application of surgical template and bone model in oral implant surgery. Clin Oral Implants Res.2009;20(1): 87-93.
[7] Lazic Z,Golubovic M,Markovic A,et al.Immunohistochemical analysis of blood vessels in peri-implant mucosa: a comparison between mini-incision flapless and flap surgeries in domestic pigs.Clin Oral Implants Res.2014.doi: 10.1111/clr.12337. [Epub ahead of print]
[8] Pattanaik S,Pattanaik BK.Fabrication of a surgical guide with help of a milling machine by ridge mapping method.J Indian Prosthodont Soc.2013;13(1):61-65.
[9] 刘丽娜,杨敏,哈斯•巴根,等.牙种植定位导向模板的计算机辅助设计和制作[J].中国组织工程研究,2012,16(4):665-668.
[10] Liu H,Liu DX,Wang G,et al.Accuracy of surgical positioning of orthodontic miniscrews with a computer-aided design and manufacturing template. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2010;137(6):721-728,728-729.
[11] D'Souza KM,Aras MA.Types of implant surgical guides in dentistry: a review. J Oral Implantol.2012;38(5):643-652.
[12] Stumpel LR.Cast-based guided implant placement: a novel technique. J Prosthet Dent.2008;100(1):61-69.
[13] 邓再喜,张春宝,孙翔,等.使用手调式硅橡胶制作种植体导板[J].口腔医学,2009,29(9):501-502.
[14] George FM,Chan HL,Razzoog ME,et al.Fabrication of a cast-based implant surgical guide using guide sleeves.J Prosthet Dent.2011;106(6):409-412.
[15] Zhao XZ,Xu WH,Tang ZH,et al.Accuracy of computer-guided implant surgery by a CAD/CAM and laser scanning technique. Chin J Dent Res.2014;17(1):31-36.
[16] Moslehifard E,Nokar S.Designing a custom made gauge device for application in the access hole correction in the dental implant surgical guide.J Indian Prosthodont Soc.2012; 12(2):123-129.
[17] 刘丽娜.牙种植模板的计算机辅助设计和制作的应用研究[D].天津医科大学,2012.
[18] Lee JH,Kim MJ,Kim SM,et al.The 3D CT superimposition method using image fusion based on the maximum mutual information algorithm for the assessment of oral and maxillofacial surgery treatment results.Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.2012;114(2):167-174.
[19] 安芬菊,梁永回.快速成型技术与数控技术在手版制作中的应用比较[J].机械制造,2012,50(2):54-56.
[20] Bickel B,Alexa M.Computational aspects of fabrication modeling, design, and 3D printing.IEEE Comput Graph Appl. 2013;33(6):24-25.
[21] Hochman JB,Kraut J,Kazmerik K,et al.Generation of a 3D printed temporal bone model with internal fidelity and validation of the mechanical construct. Otolaryngol Head Neck Surg.2014;150(3):448-454.
[22] Peterson GI,Larsen MB,Ganter MA,et al.3D-Printed Mechanochromic Materials. ACS Appl Mater Interfaces,2015; 7(1):577-583.
[23] 王太勇,乔志峰,韩志国,等.高档数控装备的发展趋势[J].中国机械工程,2011,22(10):1247-1252.
[24] 杨兆军,陈传海,陈菲,等.数控机床可靠性技术的研究进展[J].机械工程学报,2013,49(20):130-139.
[25] 刘思玉,李宏卫,汤春波.种植体计算机辅助设计和制作导板的研究进展[J].口腔医学,2013,33(5):345-347.
[26] Tahmaseb A,Wismeijer D,Coucke W,et al.Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review.Int J Oral Maxillofac Implants.2014;29 Suppl:25-42.
[27] 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 Oral Maxillofac Surg.2009;67(2):394-401.
[28] D'Haese J,Van De Velde T,Komiyama A,et al.Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: a review of the literature.Clin Implant Dent Relat Res. 2012;14(3):321-335.
[29] Vieira DM,Sotto-Maior BS,Barros CA,et al.Clinical accuracy of flapless computer-guided surgery for implant placement in edentulous arches.Int J Oral Maxillofac Implants.2013;28(5): 1347-1351.
[30] Valente F,Schiroli G,Sbrenna A.Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study.Int J Oral Maxillofac Implants.2009;24(2):234-242.
[31] Sarment DP,Sukovic P,Clinthorne N.Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide.Int J Oral Maxillofac Implants.2003;18(4):571-577.
[32] Turbush SK,Turkyilmaz I.Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study.J Prosthet Dent.2012;108(3):181-188.
[33] 刘洪,刘东旭,王克涛,等.种植体计算机辅助设计和制造导板精度的评价[J].华西口腔医学杂志,2010,28(5):517-521.
[34] 郭树琴,王立军.数字化种植外科导板研究新进展[J].中国口腔种植学杂志,2013,18(4):205-209.
[35] Gonzalez-Garcia R,Monje F.The reliability of cone-beam computed tomography to assess bone density at dental implant recipient sites: a histomorphometric analysis by micro-CT.Clin Oral Implants Res.2013;24(8):871-879.
[36] Shah N,Bansal N,Logani A.Recent advances in imaging technologies in dentistry. World J Radiol.2014;6(10): 794-807.
[37] Yao W,Bekmezian S,Hardy D,et al.Cone-Beam Computed Tomographic Comparison of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion and Multipiece Le Fort I Osteotomy. J Oral Maxillofac Surg.2014.
[38] Jung RE,Schneider D,Ganeles J,et al.Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review.Int J Oral Maxillofac Implants.2009;24 Suppl:92-109.
[39] Jung RE,Pjetursson BE,Glauser R,et al. A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns.Clin Oral Implants Res.2008; 19(2):119-130.
[40] Pjetursson BE,Thoma D,Jung R,et al.A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years.Clin Oral Implants Res.2012;23 Suppl 6:22-38.