

[文章编号] 1000-1182(2010)05-0517-05

# 种植体计算机辅助设计和制造导板精度的评价

刘洪<sup>1</sup> 刘东旭<sup>1</sup> 王克涛<sup>2</sup> 王春玲<sup>1</sup> 赵臻<sup>1</sup>

(1.山东大学口腔医学院 山东省口腔生物医学重点实验室;

2.山东大学齐鲁医院 口腔颌面外科, 山东 济南 250012)

**[摘要]** 目的 利用三维重建软件设计并制作基于CT数据的计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)导板, 评价导板的精度。方法 选择4个下颌骨标本, 制作石膏模型, 设计并制作基于CT数据的CAD/CAM导板。在导板辅助下于下颌骨标本的后牙段植入14枚种植体, 再次行CT扫描, 采用点对点配准技术实现扫描前后CT三维重建模型的配准, 测量实际种植体位置与虚拟放置的种植体位置间的偏离值, 评价导板的精度。结果 14枚种植体植入后头部偏差量为 $(0.47\pm0.12)$  mm, 颊舌向和近远中向以及垂直向偏离值分别为 $(0.22\pm0.08)$  mm、 $(0.25\pm0.06)$  mm、 $(0.30\pm0.11)$  mm。尾部偏差量为 $(0.19\pm0.07)$  mm, 角度偏差量为 $1.79^\circ\pm0.68^\circ$ 。结论 在CAD/CAM导板辅助下于下颌骨模型植入种植体具有较高的精度, 对于辅助临床种植体植入具有较高的价值。

**[关键词]** 计算机辅助设计和制造; 导板; 种植体; 精度; 配准

**[中图分类号]** R 783 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2010.05.016

**Accuracy evaluation of computer aided design and computer aided manufacture template for implant placement** LIU Hong<sup>1</sup>, LIU Dong-xu<sup>1</sup>, WANG Ke-tao<sup>2</sup>, WANG Chun-ling<sup>1</sup>, ZHAO Zhen<sup>1</sup>. (1. Shandong Provincial Key Laboratory of Oral Biomedicine, College of Stomatology, Shandong University, Jinan 250012, China; 2. Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, Qilu Hospital of Shandong University, Jinan 250012, China)

**[Abstract]** **Objective** The computer aided design and computer aided manufacture(CAD/CAM) template was fabricated basing on CT data of completely edentulous jaws, and the accuracy of template was evaluated by assessment of the deviation between the actual and planning position of the implant after the registration of pre- and post-operative CT images. **Methods** The CAD/CAM templates for 4 completely edentulous jaws were designed and fabricated basing on the pre-operative CT data and the stone models of the jaws sample. And 14 implants were placed in the posterior region of the jaws aided by the CAD/CAM template. The pre- and post-operative CT was registered by the point to point method, and the deviation between actual and virtual implants was measured to assess the accuracy of the template. **Results** With the aid of CAD/CAM template, the deviations of the position at the tail of the implant, at the tip of the implant and the projected deviation of angle were  $(0.19\pm0.07)$  mm,  $(0.47\pm0.12)$  mm, and  $1.79^\circ\pm0.68^\circ$  respectively, and the deviations of the position at the bucco-palatal, disto-mesial, vertical direction were  $(0.22\pm0.08)$  mm,  $(0.25\pm0.06)$  mm,  $(0.30\pm0.11)$  mm at the tip respectively. **Conclusion** Within the limits of this study, the results verify the accuracy of CAD/CAM template and support its use for safety implant placement.

**[Key words]** computer aided design and computer aided manufacture; template; implant; accuracy; registration

目前种植技术已经成为常规的牙列缺失的治疗手段。但由于解剖结构的限制和患者修复的主观需要等因素的存在, 临床医生要对种植患者进行明确的诊断、合理的设计以及精确的手术。在目前的诊断手段中, CT技术具有定位精确、非介入性和三维

可视等优点, 在临床应用中非常广泛。随着CT三维重建技术的不断发展, 临床医生可以借助CT三维可视化技术来明确患者的骨量和植入条件, 并进行手术模拟和设计<sup>[1-2]</sup>。基于CT数据的计算机辅助设计和制造(computer aided design and computer aided manufacture, CAD/CAM)种植导板在国外已经发展成熟, 并广泛应用于临床。通过对患者的CT信息进行三维重建, 可以有效地评价患者的骨量和重要组织(包括神经)的位置<sup>[3]</sup>, 虚拟放置种植体到最理想的位置, 实现种植体的计算机模拟植入。利用反求技术

[收稿日期] 2009-12-27; [修回日期] 2010-08-18

[基金项目] 山东省科技厅科技攻关基金资助项目(2008GG30002019, 2008-GG30001001); 山东大学口腔医学院2009年临床创新基金资助项目

[作者简介] 刘洪(1985—), 男, 山东人, 硕士

[通讯作者] 刘东旭, Tel: 0531-88382070

设计种植体的种植位置和角度并转移到植入导板的导向孔道中,可以实现种植体植入导板的计算机辅助设计(CAD)<sup>[4-5]</sup>;而借助于快速成型技术可以将数字信息制作实体化以形成实体导板(CAM)。在导板的设计和制作过程中,影响导板精度的因素很多,本研究的重点在于利用三维重建技术和模具加工软件设计并制作种植导板,同时评价其植入后的精度。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料和研究对象

1.1.1 软件包 基础软件采用Mimics和Magics软件包。

1.1.2 快速成型设备及材料 SPS600型快速成型设备(西安交通大学研制);SOMOS 1112型光敏树脂(DSM公司,美国)。

1.1.3 研究对象 干燥下颌骨标本4个,种植体14枚(Osstem公司,韩国)。种植体直径4.5 mm,长度13 mm。

### 1.2 CAD/CAM种植导板的术前制作

首先对下颌骨标本取模,取模时要求边缘尽量

伸展,然后制作石膏模型,对模型的倒凹部分用石膏充填(图1A、B)。利用热压膜技术对石膏模型做压膜导板(图1C),压膜的厚度为1.5~2.0 mm(可做2次压膜)。对压膜制作的导板进行修整,在咬合面形成3个窗口,以方便检验导板的就位情况;在压膜导板的颊舌侧钻孔,将牙胶尖置入孔内作为放射标记点(图1C、D),放射导板制作完成。将放射导板戴入颌骨后行CT扫描,放射导板也单独进行CT扫描(二次CT技术<sup>[6]</sup>)。所有CT数据以DICOM格式存储,利用Mimics软件重建下颌骨三维模型(图2A),并在相应位置虚拟放置种植体(图2B)。利用放射标记点将放射导板的三维重建模型配准在下颌骨上(图2C),并以放射导板为基础,设计与虚拟种植体方向一致的导向孔道,设计好导向孔道的高度以控制植入的深度。利用反求技术和布尔运算将导向孔道添加到放射导板上,完成虚拟种植体的位置方向向导板的转移(图2D)。种植导板设计完成后的数据以STL格式导出,导入到快速成型设备中,对STL数据作修补和加支撑处理(快速成型前处理工序)后,紫外线分层固化树脂完成导板的实体化制作。



A: 下颌骨标本; B: 石膏模型; C: 热压膜技术制作放射导板; D: 利用牙胶尖制作放射标记点; 箭头: 放射标记点。

图1 放射导板的制作

Fig 1 The facture of radiographic template

### 1.3 种植体植入过程

本实验利用植入导向管以改变导向孔道的内径从而保证植入精度。种植体的直径为4.5 mm,植入钻的使用顺序依次为2.0、3.0、3.8、4.1 mm;植入导向管的内径依次为2.1、3.1、3.9、4.2 mm,以配合导向钻的直径变化,并要求导向管外径与导板导向孔内径相匹配。

种植导板制作完成并在下颌骨标本上试戴无误

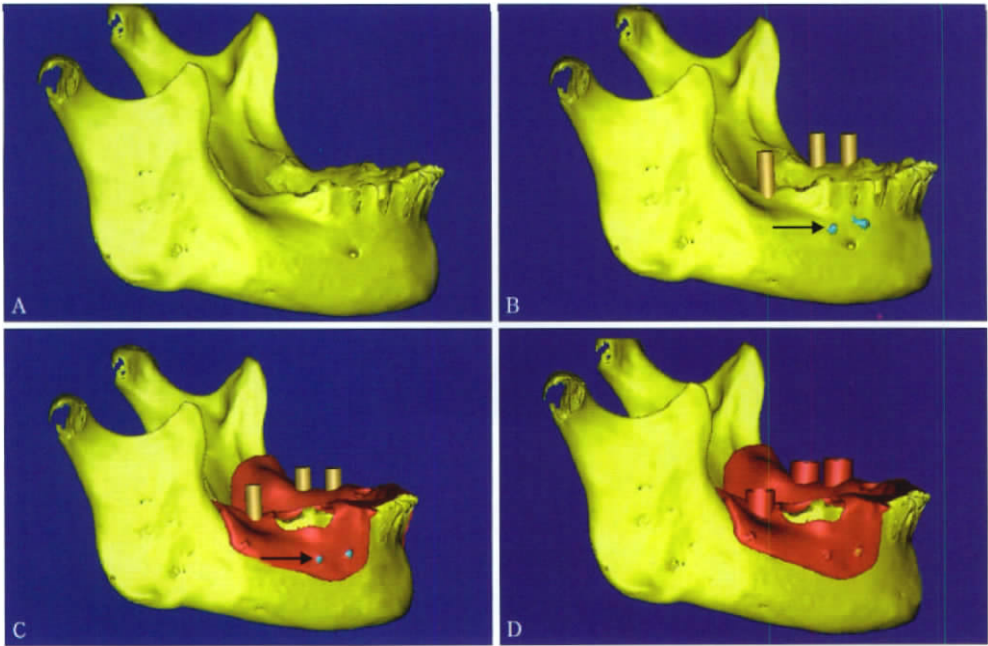
后,通过咬合面窗口检查导板是否就位,然后固定导板,按顺序依次更换导向管和导向钻,植入种植体后取下导板。本实验中4个下颌骨标本共植入14枚种植体,植入区均为下颌骨后牙段。

### 1.4 植入精度评价

种植体植入后,下颌骨再次行CT扫描,将数据导入Mimics软件中进行三维重建,种植体在相应阈值下单独重建,重建后的三维模型以STL格式导出。

将重建后的虚拟三维模型导入植入前数据中，利用特征性骨性标志点(颏顶点、颏孔、下颌小舌等)进行配准。将种植体植入前后的下颌骨标本精确配准后(图3)，数据以STL格式导出。将虚拟种植体和实际种植体导入Magics软件中，重新定义坐标，定义虚拟种植体长轴方向为z轴，下颌骨近远中向为y轴，下颌骨颊舌向为x轴。坐标重新定义后有助于三维评

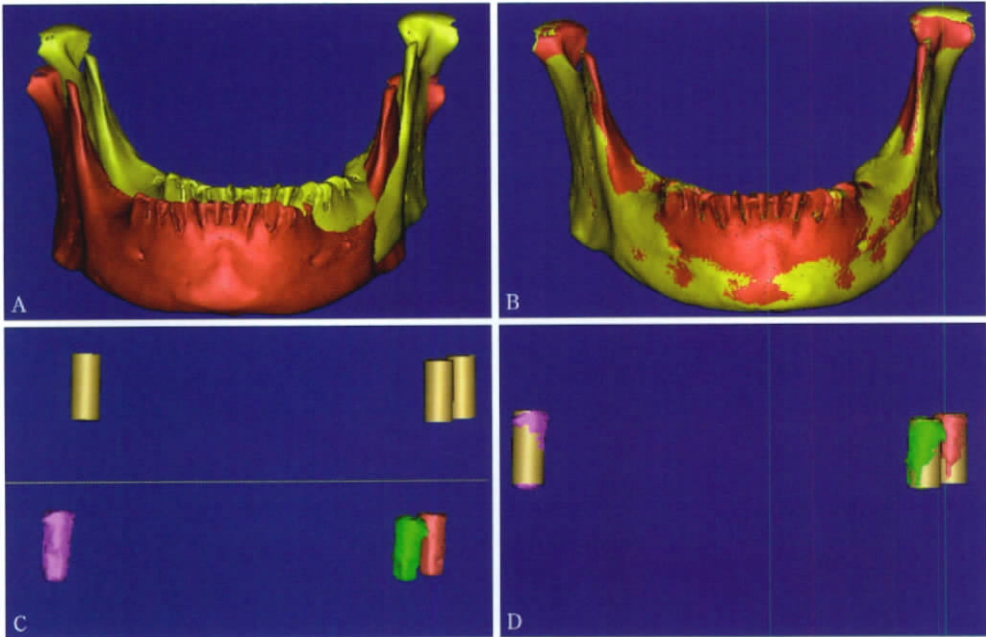
价导板的误差并分析误差的来源，从而提高导板精度。通过调整坐标，利用虚拟种植体与实际种植体的头部和尾部坐标值之差计算3个方向的偏离值(图4)。种植体的整体偏离角度通过计算获得，计算公式为 $\theta=\tan^{-1}\frac{b-a}{c}$ ，公式中a为种植体尾部偏离值，b为种植体头部偏离值，c为种植体长度。



A: 下颌骨三维重建模型; B: 虚拟放置种植体; C: 放射导板和下颌骨配准; D: 添加导向孔道; 箭头: 放射标记点。

图 2 植入导板的计算机辅助设计

Fig 2 Computer aided design template



A、B: 下颌骨配准; C、D: 种植体的虚拟位置和实际位置的配准。

图 3 颌骨种植体配准

Fig 3 Registration of jaws and implants

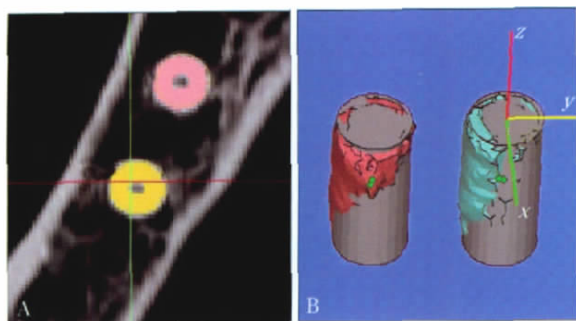
1.5 统计学分析

为了评价测量的可靠性，所有的配准测量在1周后重新测量1次。通过配对t检验，前后2次测量

无统计学差异( $P>0.05$ )。通过SPSS 11.5统计软件分析获得3个方向偏离值的均数和标准差，通过配伍组方差分析评价3个方向的偏离误差，检验水准为



双侧 $\alpha=0.05$ 。



A: 配准完成后, 测量种植体的虚拟位置与实际位置的偏离值;  
B: 在Magics软件中调整坐标后, 分析三维方向上的偏离值。

图4 种植体偏离值测量

Fig 4 Deviation measurement for implant

## 2 结果

4个CAD/CAM导板戴入相应的下颌骨标本后稳定且固位良好, 14枚种植体在导板的辅助下顺利植入, 植入过程未出现问题。种植体植入后头部偏差量为 $(0.47\pm0.12)$  mm, 尾部偏差量为 $(0.19\pm0.07)$  mm, 角度偏差为 $1.79^\circ\pm0.68^\circ$ 。重新定义坐标后, 测量三维方向( $x$ 、 $y$ 、 $z$ )上的偏离值, 种植体头部的偏离值分别为 $(0.22\pm0.08)$  mm、 $(0.25\pm0.06)$  mm、 $(0.30\pm0.11)$  mm, 尾部偏离值分别为 $(0.10\pm0.03)$  mm、 $(0.08\pm0.02)$  mm、 $(0.13\pm0.04)$  mm。角度偏离值只有 $x$ 、 $y$ 轴方向才有, 分别为 $1.20^\circ\pm0.38^\circ$ 和 $1.24^\circ\pm0.30^\circ$ 。经统计学检验, 种植体头部、尾部和角度在 $x$ 、 $y$ 轴方向(即颊舌向和近远中向)的偏离值无统计学差异( $P>0.05$ ); 但种植体头部和尾部在 $z$ 轴方向(即垂直向)的偏离值较其他2个方向略大, 其差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

如何提高精度是种植导板研究的主要内容<sup>[7-8]</sup>。利用计算机三维设计种植体的位置, 可以保证种植体植入在最佳位置, 尤其是在骨量不足、植入较为困难时, 术前进行诊断和设计植入位置非常必要。虚拟的植入位置向实际植入位置的转移就涉及到导板的精度问题。

目前CAD/CAM导板的应用日益广泛, 由于存在试验对象和导板制作方法不同等原因, 对导板精度的评价有所差异。Sarment等<sup>[7]</sup>报道, Simplant系统的偏离角度误差为 $4.5^\circ\pm2.0^\circ$ , 种植体头部和尾部分别有 $(0.9\pm0.5)$  mm和 $(1.0\pm0.6)$  mm的偏离值。Brief等<sup>[8]</sup>对IGI的精度进行了评价, 其偏离角度误差为 $4.21^\circ$ , 种植体头部和尾部的偏离值分别为0.65 mm和0.68 mm。Assche等<sup>[9]</sup>研究证实, Nobel Guide系统的

角度偏离值为 $2.0^\circ\pm0.8^\circ$ , 种植体头部和尾部的偏离值分别为 $(1.1\pm0.7)$  mm和 $(2.0\pm0.7)$  mm。

与上述研究相比, 本研究的导板制作设计方法略有不同, 实验对象(人体下颌骨模型)也有所差异, 实验结果也有不同。造成导板误差的原因较多, 导板的设计、制作和使用过程中都有可能造成误差, 分析如下。

1) 三维重建。在导板制作过程中, 颌骨和放射导板在相应的阈值条件下分别重建。阈值是三维重建的关键<sup>[10]</sup>, 阈值过高或过低都会造成三维重建模型失真, 出现误差。放射导板的三维重建模型是种植导板的基础, 因此放射导板三维重建的精度直接影响最终导板的精度。放射导板是利用热压膜技术加工制作的, 三维重建的阈值约为-550 HU。最佳的三维重建阈值需通过对比测量光固化模型和不断调整放射导板的厚度而得到。

2) 配准技术。在整个导板的制作过程中, 放射导板与颌骨的配准精度会直接影响导板的最终精度。在临床导板的实际制作过程中, 因为软组织的阈值与放射导板接近, 故应采用二次CT扫描技术, 单独扫描放射导板后进行三维重建, 从而保证放射导板的精度。本实验设计的是模拟临床实际的放射导板, 同样采用二次CT扫描技术, 以牙胶尖作为放射标记点, 在配准时2次放射标记点以相同的阈值条件进行重建。利用放射标记点进行点配准后, 再利用阈值选择后每层CT片上的被选择的兴趣区域进行精确配准。植入前后的精度评价是基于植入前后CT数据的配准完成的, 颌骨在相同的阈值条件下重建, 利用表面的特征性骨标志点完成配准, 借助软件内STL配准功能实现精细配准。配准在本实验中是关键的技术部分, 而利用点配准后再行STL配准校对有较高的精度, 造成的误差相对较小。

3) 快速成型技术。快速成型技术是由CAD系统对准备制造的零件进行三维实体造型设计, 再由专门的计算机切片软件将CAD系统的三维造型切割成若干薄层平面数据模型, 根据各薄层平面的 $x$ - $y$ 运动指令, 再结合提升设备沿 $z$ 轴方向的间歇下降运动, 形成整个零件的数控加工指令。将指令输入快速成型系统进行加工。加工时, 升降工作台首先下降至液体容器的液面之下, 对应CAD模型最下一层切片的厚度, 根据该切片的 $x$ - $y$ 平面几何数据, 用紫外光照射可固化的液态树脂(如环氧树脂、丙烯酸树脂或丙烯酸树脂), 第1层树脂固化在工作台上; 然后工作台下降至第2层切片厚度, 由激光器按照该层切片的平面几何数据扫描液面, 使新一层液态树脂固化并紧紧粘贴在前一层已固化的树脂上。如此反

复“生长”，直至形成整个三维实体零件<sup>[11]</sup>。快速成型的精度直接影响导板的精度，光敏树脂则是精度的关键所在。本实验采用美国DSM公司生产的SOMOS 1112型光敏树脂。因为该材料的收缩等误差因素较为明确，所以可在加工前对STL文件作预处理，调整尺寸以抵消快速成型系统的加工误差，保证精度。Choi等<sup>[12]</sup>测量了快速成型的医学模型的误差，结果显示误差较小，为 $0.56\% \pm 0.39\%$ 。本实验所用的快速成型设备的精度与Choi等<sup>[12]</sup>的研究接近，精度较高，对导板精度的影响相对较小。

4)导板的稳定性。导板的植入精度直接影响导板在戴入就位后是否稳定<sup>[8]</sup>，上述3个原因均可出现误差，导致导板与颌骨的匹配欠佳。在三维方向上将种植体的偏离值分解测量，有助于分析误差来源，不同方向的误差的原因不同。在导板制作完毕后，在石膏模型上试戴，消除影响就位的部分，从而保证精度。导向管与导板的导向孔之间，以及与导向钻之间都有0.1 mm的余隙，导向孔道的高度为8 mm，这样会造成约 $0.7^\circ$ 的误差。无论何种原因导致的就位欠佳，首先受到影响的是垂直向的深度控制，就位不完全时，种植体植入深度影响最大。因此本研究用三维测量评价偏离距离时，垂直向的偏离值较其他2个方向略大。

本研究在现有软件和技术的基础上设计并制作种植导板，利用颌骨标本模拟种植体植入，与临床实际应用的导板略有不同。临床导板在辅助植入时，需要先利用环切钻切除黏膜。由于黏膜组织具有可让性，会增加导板的动度而影响精度，因此导板就位后需要在颊侧利用固位栓固位以保证导板的稳定性。

本研究采用干燥的下颌骨标本，没有黏膜覆盖，制作和植入手术相对都比较简单，因此本研究制作的放射导板无论配准还是精度控制都较临床实际应用的精度高。对植入后误差的三维分析有助于确定误差来源。导板的前段就位欠佳时，种植体植入后近远中向(选择的植入部位均为后牙)的误差会明显增大；导板在下颌骨左右向就位欠佳时，种植体植入后颊舌向的误差会较明显；深度的控制是以扩孔钻的标记点为参考的，导板就位欠佳时会导致植入深度不足。本研究中，导板的设计制作和精度评价主要基于配准技术和反求技术，植入精度较高，在临床实际中的应用情况需作进一步研究。

由本研究结果可以看出，CAD/CAM种植导板具

有较高的精度，在颌骨标本上可实现种植体植入的可靠控制，具有较高的临床应用前景，尤其是对于复杂且植入要求较高的患者更有使用价值。但本实验条件与实际临床应用仍有较大差异，其临床应用精度尚需进一步研究。

## 【参考文献】

- [1] Quirynen M, Lamoral Y, Dekeyser C, et al. CT scan standard reconstruction technique for reliable jaw bone volume determination[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 1990, 5(4) 384-389.
- [2] Tepper G, Hofschneider UB, Gahleitner A, et al. Computed tomographic diagnosis and localization of bone canals in the mandibular interforaminal region for prevention of bleeding complications during implant surgery[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2001, 16(1) 68-72.
- [3] Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics[J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2005, 25(2) :113-119.
- [4] Verdonck HW, Poukens J, Overveld HV, et al. Computer-assisted maxillofacial prosthodontics : A new treatment protocol[J]. Int J Prosthodont, 2003, 16(3) 326-328.
- [5] Jasinevicius TR, Landers M, Nelson S, et al. An evaluation of two dental simulation systems : Virtual reality versus contemporary non-computer-assisted[J]. J Dent Educ, 2004, 68(11) :1151-1162.
- [6] Marchack CB. CAD/CAM-guided implant surgery and fabrication of an immediately loaded prosthesis for a partially edentulous patient[J]. J Prosthet Dent, 2007, 97(6) 389-394.
- [7] Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2003, 18(4) 571-577.
- [8] Brief J, Edinger D, Hassfeld S, et al. Accuracy of image-guided implantology[J]. Clin Oral Implants Res, 2005, 16(4) :495-501.
- [9] Assche NV, Steenberghe DV, Guerrero ME, et al. Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images : A pilot study[J]. J Clin Periodontol, 2007, 34(9) 816-821.
- [10] Endo T, Uchikura K, Ishida K, et al. Thresholds for clinically significant tooth-size discrepancy[J]. Angle Orthod, 2009, 79(4) : 740-746.
- [11] 姚长虹, 詹肇麟, 刘建雄. 快速原型制造技术的发展与应用研究[J]. 昆明理工大学学报, 2000, 25(5) 83-86.  
YAO Chang-hong, ZHAN Zhao-lin, LIU Jian-xiong. The research of development and application of rapid prototyping technology[J]. J Kunming University Science Technology, 2000, 25(5) 83-86.
- [12] Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2002, 31(1) 23-32.

(本文编辑 胡兴戎)