

·信息研究·

全冠修复体计算机辅助设计的初步研究

邹波¹, 吕培军², 王勇²

(1. 中山大学光华口腔医学院·附属口腔医院修复科, 广东 广州 510060; 2. 北京大学口腔医学院, 北京 100081)

摘要:【目的】初步探讨全冠修复体计算机辅助设计的基本方法。【方法】使用机械扫描仪采集了全冠预备体的表面数据, 利用已有的标准牙的数据, 在通用的 CAD 软件平台上初步实现了全冠修复体的计算机辅助设计的全过程。【结果】获得了全冠修复体的 CAD 数据, 包括内外表面的数据, 数据完整精确。【结论】本研究路线实用可行, 可以为修复体 CAD/CAM 系统的研制提供参考。

关键词: 全冠; 修复体; 计算机辅助设计

中图分类号: R78

文献标识码: A

文章编号: 1672-3554(2005)06-0711-03

Preliminary Study on Computer-Aided Design of Full Crown

ZOU Bo¹, LU Pei-jun², WANG Yong²

(1. Department of Prosthodontics, Guanghua College of Stomatology, SUN Yat-Sen University, Guangzhou 510060, China; 2. School of Stomatology, Peking University, Beijing 100081, China)

Abstract: 【Objective】 To research the rudimental methods of computer-aided design of full crown prosthesis. 【Methods】 A gypsum working cast and die of a full crown was scanned with a mechanical scanner, and the surface data were acquired. On the platform of commercial CAD software, the whole process of the computer-aided design of full crown was realized, the standard teeth crown models which were established in former experiments were used to define the basic contour of the prosthesis. 【Results】 The CAD data of a full crown were achieved, including inner surface as well as outer surface, the data were integrated and precise. 【Conclusion】 The methods of this research were practical and feasible and could lay the foundations of the development of dental CAD/CAM system.

Key words: full crown; prosthesis; computer aided design

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci) ,2005,26(6):711-713,720]

计算机辅助设计(computer-aided design)和计算机辅助制造(computer-aided manufacturing),简称 CAD/CAM。随着关键技术的突破,CAD/CAM 技术在口腔修复学领域得到飞速发展,近 10 余年来,国际上涌现出一大批基于不同技术的修复体 CAD/CAM 系统。CAD/CAM 技术不仅能高效、精确、快速地取代常规印模制取、灌制模型、蜡型制作、铸造等烦琐的技工制作过程,还能明显减少患者就诊次数,节约就诊时间,修复体加工精度高,能达到满意的临床疗效,其技术代表了口腔和颌面修复体制作的发展方向^[1,2]。国外的研究已经进入商品化,而国内的开发尚处于起步阶段。要开发具有自主知识产权的修复体 CAD/CAM 系统,CAD 软件的编写是最为关键的问题,其技术含量较高。当前机械制造领域中有很多 CAD 软件,其功能都十分全面和强大。为了验证修复体设计的技术路线的可行性,本实验拟通过扫描获

取实际病例的牙列模型数据,利用已有标准牙数据,在工业通用的 CAD 软件平台上来完成冠修复体的初步设计。

1 材料和方法

1.1 材料

硬件:MDX-15 扫描雕刻仪(日本 Roland 公司);图形工作站(1.7 GHz Xeon CPU,256 MB RDRAM,18.2 G 硬盘,ELSA Synergy 2000 显卡)。软件:Windows 2000 Professional;Dr PICZA(日本 Roland 公司);Surfacer 10.5(美国 Imageware 公司)。

1.2 数据采集

选择一例右上第一磨牙需要全冠修复的患者的超硬石膏牙列模型,按以下规则对石膏牙进行牙体预备:咬合面均

收稿日期:2005-08-09

基金项目:北京市重大科技基金资助项目(H010910200112)

作者简介:邹波(1974-),男,湖南长沙人,博士,讲师;王勇,通讯作者。E-mail: kqcadc@bjmu.edu.cn

匀磨除 1.5~2.0 mm,轴面磨除 1.0 mm,边缘形成 1.0 mm 的圆钝内角齐龈肩台;常规代型修整,将代型固定在 MDX-15 扫描雕刻仪的工作台上,设置扫描参数,扫描结束数据存盘,以文本文件的格式导出点云数据。

1.3 预备体数据提取和曲面反求

Surfacer 软件读取扫描获取的预备体牙列模型的点云数据,在预备体代型点云图形上生成扫描线,利用扫描线将预备体点云图形多边形化并生成曲面,识别出预备体边缘的位置,然后沿预备体边缘标出若干点,连接各数据点形成一条平滑曲线,由软件自动生成一条边缘构造线并存盘,根据边缘线裁剪预备体代型的曲面图形,保留预备体边缘线方的曲面数据,所得数据存盘。在重建的牙列模型点云图形上生成扫描线,提取预备体近远中邻牙邻面的扫描线以及邻近牙齿的牙尖最高点所在的扫描线生成构造线,将以上提取的构造线存盘做为冠修复体的约束条件;分别连接构造线上各邻牙的牙尖点、中央窝点以及轴面最突点,生成几条曲线,曲线形态在水平面上应与牙弓曲线保持一致,在矢状面上应与对侧同名牙 Spee 曲线一致,同时将邻牙邻面的构造线生成约束平面。

1.4 提取标准牙冠数据

读取以上生成的各构造线和约束曲线,同时显示牙列点云图形,将以往实验获得的曲面格式的右上第一磨牙的标准牙冠调出^[9]。

1.5 标准牙冠定位、修改和设计完成

测量修复间隙近远中径、颊舌径和龈殆径的数据,根据此数据调整标准牙,通过平移及旋转将标准牙冠置于预备体上,再依据约束曲线调整牙冠的整体位置和局部形态使之与邻牙及牙弓相适应。标准牙冠位置确定后,提取预备体的曲面图形以及标准冠的曲面图形,选择预备体边缘线及标准牙冠边缘线,在两者之间生成 Bezier 曲面,新生成的曲面与标准牙轴面曲面相切,使预备体边缘与标准牙冠融合在一起,从而获得牙冠内外表面的完整曲面数据。

1.6 具体技术流程

成熟的修复体 CAD 系统都包涵数据获取、数据处理、理想牙数据库、修复体形态设计等关键模块,本研究采用的技术流程如下图所示(图 1)。

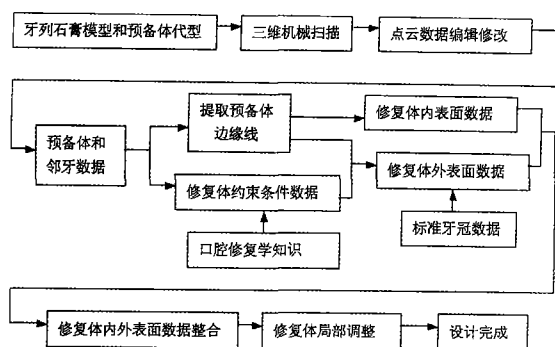


图 1 修复体计算机辅助设计的技术流程

Fig.1 The flow chart of computer-aided design of crown

2 结果

牙列及代型的数据获取:利用 MDX-15 扫描雕刻仪扫描获取了预备体代型及其邻牙的表面数据,三维重建分辨率很高,数据精确,代型的表面数据完整,无角肩台边缘可以准确无误的辨认(图 2)。

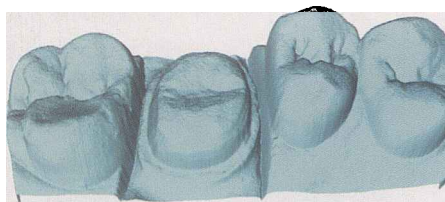


图 2 扫描仪获取的石膏牙列和右上第一磨牙代型的重建图形

Fig.2 The reconstructive graphics of the gypsum dentition and die of the upper right first molar acquired by scanner

全冠的设计:在通用的 CAD 软件平台上读取机械扫描仪输出的代型及邻牙的点云数据,通过裁剪预备体、生成曲面、识别边缘线、标准牙冠整体和局部的变换、标准牙冠的位移变换以及数据整合等步骤(图 3、4、5),初步完成了牙冠

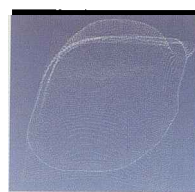


图 3 边缘线的识别

Fig.3 The identification of the finish line

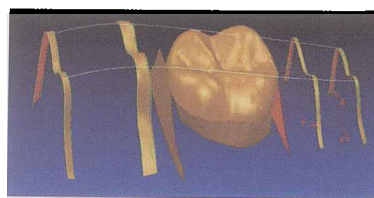


图 4 根据约束条件定位的标准牙冠

Fig.4 The orientation of the standard crown based on the confined line

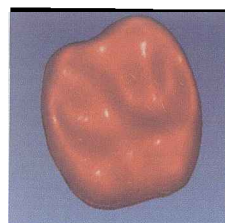


图 5 计算机辅助设计完成的右上第一磨牙全冠图形

Fig.5 The completed graphic of full crown of the upper right first molar by computer-aided design

修复体的设计,获得了完整的右上第一磨牙的全冠修复体的曲面数据,修复体内外表面数据完整,表面过渡光滑,冠表面解剖结构精细,符合全冠修复体的生理解剖要求。

3 讨论

3.1 数据采集

数据采集的方法很多,主要有机械扫描和光学印模的方法^[4]。与光学印模相比,机械式数据采集有其优点,其采样准确性是目前光学印模无法比拟的,因此至今还有系统仍然采用机械接触式模型扫描。本实验使用的 MDX-15 扫描雕刻仪具有很高的扫描精度,系统软件扫描精度达 2.5 $\mu\text{m}/\text{step}$,机械的精度可达 6.25 $\mu\text{m}/\text{step}$,可见其扫描精度是足够的。机械扫描的一个缺点是扫描时间过长,要想缩短时间只能减小扫描精度,显然,以后必须使用扫描速度更快的方法。我们已经开发了新型三维激光扫描仪^[5],其精度和可靠性可以满足光学印模制取的需要。

3.2 修复体设计软件的选择

CAD 软件编写是开发修复体 CAD/CAM 系统工作的重要组成部分。在现代工业设计和加工领域中,有很多功能强大的通用 CAD 软件。口腔修复体虽然很小,但其中包含大量的生物医学知识,而且牙冠的表面是一十分复杂的自由曲面,所以口腔修复体的造型较工业产品有其独特性。我们实验中选用的 Surfacer 软件是美国 Imageware 公司开发的一个专门处理离散数据的工具,软件具有强大的点处理能力,其快速、精确形成和分析几何数据的能力使其广泛应用于诸多领域。在本研究中,无论是标准牙冠的表面数据还是预备体代型的表面数据都是依靠扫描获取的点云数据,因此,使用 Surfacer 软件处理这些数据是合适的。目前还有很多通用的 CAD 软件可供使用,如 Delcam 公司的 Copycad 和 Powershape、EDS-Unigraphics 公司的 UG 等。

3.3 修复体设计的主要技术路线

市场上现有修复体 CAD/CAM 系统采用何种技术路线实现修复体的造型和设计的细节的大致思路是^[6]:用各种方式获得预备体、邻牙及对颌牙数据及咬合数据后进行三维重建,设计过程中要生成全冠的内表面和外表面,然后调整咬合,最后将修复体外表面与预备体边缘的数据通过平滑曲面结合在一起,就可完成整个全冠的内外表面的设计。我们在本实验中采用的技术路线的思路是:根据邻牙的解剖形态数据确定修复体的近远中径、颊舌径和龈颌径及咬合面牙尖及窝沟的位置和走行,设计中需要考虑以下几点。①近远中径的确定:预备体近远中的邻牙缺陷侧轴面最突点切面之间的距离即可作为修复体的近远中径;颊舌径的确定:连接预备体近远中的邻牙颊面和舌面的外形高点,形成两条曲线,曲线的形状可参照同侧余牙及对侧正常牙外形高点连成的曲线,两条曲线之间的距离即可作为修复体的颊舌径;龈颌径的确定:在矢状面上,通过近远中邻牙牙尖

的曲线到预备体边缘的距离即可作为修复体的龈径的数据,曲线可参照同侧余牙及对侧牙的 Spee 曲线。②咬合面牙尖及窝沟的位置的确定:在水平面上,分别连接近远中邻牙的颊尖、舌尖和中央窝成三条曲线,曲线应基本与颊舌侧的曲线平行,修复体的颊尖、舌尖和中央窝应基本位于此三条曲线上。③根据以上的数据,调出前期实验中建立的同名的标准牙模型^[7],修改其数据,使之与预备体及邻牙相适应。调整完以后,将其放置在缺牙间隙的虚拟预备体上,根据约束曲线调整标准牙冠的位置,使之与邻牙和整个牙列相协调,位置确定后,将标准牙的边缘与预备体的边缘用曲面相连接,使之成为一连续平滑的曲面,从而获得完整冠修复体的曲面数据。这样,调整后的标准牙数据作为修复体的外表面数据,预设粘结剂厚度的预备体表面数据作为修复体的组织面数据。④以上程序完成后,需要对虚拟修复体进行局部修改,以进一步满足牙冠生理和解剖特征要求。首先根据邻牙轴面的形态及正常牙冠接触点的位置及形态调整虚拟牙冠近远中接触点的位置和形态,根据预备体边缘精确调整虚拟牙冠的边缘形态,使其与预备体尽量密合。相对于国内其它研究,本实验获取了完整的预备体代型的数据作为修复体内表面数据,在功能强大的通用 CAD 软件平台上完成设计,同时还充分考虑了邻牙以及牙弓的解剖特征,因此设计的修复体图形可以符合解剖生理的要求。高勃等^[8]研究中,采集了牙冠外表面数据后,通过插值构造边缘的曲线,再通过数学变换生成牙冠内表面从而完成牙冠的内外表面造型,其方法完全没有考虑预备体的数据以及邻牙对颌牙的数据,故其设计的修复体难符合临床的要求。张修银等研究^[9],虽然考虑了邻牙等情况,但其研究仅仅建立在简单的计算机图形处理上,而不是完全意义的计算机辅助设计。

修复体的咬合面是复杂的自由曲面,国外修复体 CAD/CAM 系统一般都利用标准牙作为修复体的模板^[9]。由于我们已经获得了 28 颗标准牙的表面数据,在本实验中也采取了这种方法。张修银等研究中同样也是采用了标准牙的方法来构造牙冠外形^[7]。除此之外,有的系统还提供其它方法,例如 Cerec3 提供了另外两种方法^[9]。现有修复体 CAD/CAM 系统调整咬合常用的技术有“虚拟颌架”以及 FGP(functionally generate path)等方法^[10,11]。本实验尚未涉及修复体咬合的调整,具体方法可采用 FGP 技术。在前期实验中,我们利用数学变换实现了标准牙冠表面特征区的局部形变,而这种局部形变仅发生在预先设定的特征区范围内而不会引起牙冠表面其它部位的形变^[9]。这可以为我们研究如何实现咬合调整提供可行的技术思路和方法。在本实验中,修复体组织面的数据就是预备体的表面数据,然而在图形处理过程中可能会产生误差,误差主要发生在预备体数据由扫描线转化为自由曲面的阶段,这种误差不可避免,不过我们可以在临床要求的最小允许误差范围内拟合自由曲面以获得最大的拟合精度。对修复材料的研究目前也是重点,国内已取得一定成果^[12]。

(下转第 720 页 to page 720)

割和任意取出;分辨率高,对重点区域可采用小间距扫描等优点。为了得到优质的图像,本研究扫描时将整个标本模型置于水中,可以减少模型与周围介质的密度差异^[7](因水的密度远大于空气的密度),与之前未置于水中的同一标本模型相比,伪影明显减少;并使用骨算法重建图像,使本研究生成的三维重建具有更好的准确性。螺旋 CT 断面扫描技术可有效的运用到牙体三维重构模型的建立,但金属桩核的存在会使扫描图片产生伪影,这些伪影影响比较大,直接用这些图片进行建模将存在很大的误差。由于制作该带桩金属嵌体的技术很精细,我们除了滤去部分伪影,还假设在牙体空腔内的金属部分与牙体内表面完全紧密接触,这样就可以将牙体空腔的内表面运用到金属模型中,最大限度地减少伪影的影响。

综上所述,将螺旋 CT 扫描与有限元方法相结合,可以建立复杂的牙体模型,建成后三维有限元模型与实体组织具有良好的几何相似性,且能真实地模拟实际情况,使用性好,为其生物力学的研究提供数学模型基础。

参考文献:

- [1] Coelho Santos MJ, Mondelli RF, Lauris JR, *et al.* Clinical evaluation of ceramic inlays and onlays fabricated with two systems:two-year clinical follow up [J]. *Oper Dent*, 2004,29(2):123-30.
- [2] 张新春,米乃元,王焱,等. 桩冠修复中不同形式箍效应的三维有限元分析[J]. *中山医科大学学报*,2000,21(4):263-5.
- [3] 连克乾,钟小龙,张春元,等. 分体制锁式合金带桩嵌体修复磨牙残冠的临床研究[J]. *中山大学学报(医学科学版)*,2003,4(24):398-400.
- [4] 牟月照,吴峻岭. 天然牙与桩核修复体三维有限元模型的 CT 扫描建模[J]. *医学影像杂志*, 2003,11(13):817-9.
- [5] Verdonshot N, Fennis WM, Kujs RH, *et al.* Generation of three dimensional finite element models of restored human teeth using micro-CT techniques [J]. *Int J Prosthodont*, 2001, 14(4):310-5.
- [6] Toparli M, Aykul H, Aksoy T. Stress distribution associated with loaded acrylic-metal-cement crowns by using finite element method [J]. *J Oral Rehabil*, 2002, 29(11):1108-14.
- [7] Toparli M, Aykul H, Sasaki S. Temperature and thermal stress analysis of a crowned maxillary second premolar tooth using three-dimensional finite element method [J]. *J Oral Rehabil*, 2003, 30(1):99-105.

(编辑 刘清海)

(上接第 713 页 from page 713)

参考文献:

- [1] 吕培军. 数学与计算机技术在口腔医学中的应用[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.3-67.
- [2] Leonardo C, Roberto S. CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine [J]. *J Prosthet Dent*, 2004, 92(6): 591-5.
- [3] 邹波,吕培军,王勇.标准牙数据的获取[J].*实用口腔医学杂志*,2002,18(6):550-2.
- [4] Rekow D. CAD/CAM in dentistry: a historical perspective and view of the future [J]. *J Can Dent Assoc*, 1992, 58(4): 283, 287-8.
- [5] 邹波,吕培军,王勇.一种新型三维牙颌模型激光扫描仪可靠性对比实验 [J]. *实用口腔医学杂志*,2002,18(6):546-9.
- [6] 高勃,王忠义,施长溪,等.下颌磨牙全冠计算机辅助设计初步[J]. *实用口腔医学杂志*, 1999, 15(4): 304-5.
- [7] 张修银,杨宠莹,高建新,等.计算机辅助后牙全冠修复的设计[J]. *口腔材料器械杂志*, 2001, 10(3): 140-3.
- [8] Van der Zel JM, Vlaar S, De Ruiter WJ, *et al.* The CICERO system for CAD/CAM fabrication of full-ceramic crowns [J]. *J Prosthet Dent*, 2001, 85(3): 261-7.
- [9] Schneider W. Cerec 3 [J]. *Int J Comput Dent*, 2000, 3(1):33-40.
- [10] Olthoff LW, Van der Zel JM, De Ruiter WJ, *et al.* Computer modeling of occlusal surfaces of posterior teeth with the CICERO CAD/CAM system [J]. *J Prosthet Dent*, 2000, 84(2): 154-62.
- [11] Muller H. Correlation and function in Cerec 3 [J]. *Int J Comput Dent*, 2000, 3(1):49-56.
- [12] 邹波,吕培军,王勇,等.标准牙冠计算机三维图形的重建及其空间几何变换的研究[J].*实用口腔医学杂志*, 2002,18(6):553-6.
- [13] 付强,赵云凤,李彦,等.新型高强度牙科切削陶瓷材料的研制[J]. *中山医科大学学报*, 2002, 23(6): 438-40.

(编辑 刘清海)