

DOI:10.3724/SP.J.1008.2008.01320

牙槽嵴-种植体系列有限元模型的快速构建方法

惠光艳^{1*}, 刘宝林², 仇敏²

1. 济南军区青岛第一疗养院口腔科, 青岛 266071
2. 第四军医大学口腔医学院种植科, 西安 710032

[摘要] **目的:**通过电子表格驱动的 CAD 零件造型和有限元分析软件相结合的方法完成不同类型牙槽嵴-种植体复合体有限元模型的快速构建。**方法:**利用 CAD 软件分别建立牙槽嵴和种植体基础模型,以电子表格软件驱动零件外形尺寸获得不同类型种植体、密质骨和松质骨 CAD 模型,在 CAD 软件中完成零件装配后导入有限元分析软件生成牙槽嵴-种植体复合体系列模型。**结果:**通过不同版本模型激活,获得质量良好,无相互干涉的不同分类种植体-骨复合体有限元模型 300 个。**结论:**本方法建模迅速高效,易用性好,所获得的系列模型基本覆盖各种不同类型牙槽嵴,为全面、准确了解种植体生物力学特性提供了一套新的分析方法或工具。

[关键词] 牙种植体;生物力学;计算机辅助设计;有限元分析

[中图分类号] R 782.12 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2008)11-1320-04

Rapid construction method for alveoli-implant finite element model series

HUI Guang-yan^{1*}, LIU Bao-lin², QIU Min²

1. Department of Stomatology, the First Qingdao Sanatorium, PLA Jinan Military Area Command, Qingdao 266071, China
2. Department of Implant, College of Stomatology, Forth Military Medical University, Xi'an 710032

[ABSTRACT] **Objective:** To rapidly construct bone-implant complex finite element model series using worksheet-driven CAD and finite element analysis software. **Methods:** The alveolar ridge and implant models were constructed by CAD software separately. Based on those models, the CAD models of different compositions of cancellous and compact bone and different implants were built and assembled. Electronic form software was utilized to drive the change of dimension in the process. All the models were imported into finite element analysis software and converted to finite element models after installation of different parts in the CAD software. **Results:** A total of 300 finite element models for different alveoli-implants were obtained through activating different versions of models. The models were of high quality and had no interference with each other. **Conclusion:** Our modeling method is rapid and highly effective. The series of models basically covers all types of alveoli, which provides a tool for studying the biomechanical characters of implants.

[KEY WORDS] dental implants; biomechanics; computer-aided design; finite element analysis

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2008, 29(11):1320-1323]

在口腔种植领域中,生物力学相容性是影响种植体近、远期成功率的重要因素^[1]。种植体植入牙槽嵴并承担负荷后,其组织界面应力分布合理与否将直接影响骨整合界面的形成,应力分布不合理是导致种植体失败的主要原因^[2]。有限元法作为一种求解连续介质力学问题的数值方法,自 1973 年引入口腔医学领域以来,已成为口腔种植生物力学领域里一种有效的研究手段,广大学者通过有限元法对种植体的生物力学特性进行了大量研究^[3]。由于牙

缺失后牙槽嵴的吸收、萎缩因局部和全身因素而存在个体差异,可呈现不同程度和类型。因此,针对单一骨模型完成的有限元分析结果存在一定的局限性,适用范围受到限制^[4]。本研究通过电子表格驱动的 CAD 零件造型和有限元分析软件相结合的方法完成不同类型牙槽嵴种植体复合体有限元模型的快速构建,为全面、准确了解在不同类型牙槽嵴中的种植体生物力学特性创造条件。

[收稿日期] 2008-04-27 **[接受日期]** 2008-06-17

[作者简介] 惠光艳,博士,副主任医师,硕士生导师。

* 通讯作者(Corresponding author). Tel:0532-83785522. E-mail:huiguangyan1968@126.com

1 材料和方法

1.1 建模素材的选择 由于牙槽嵴的个体差异明显,分类繁多,利用个体患者放射资料建模缺乏足够代表性^[5]。本研究拟通过 CAD 软件获得一个标准牙槽嵴-种植体复合体的基础模型,同时以电子表格驱动,改变该模型的几何尺寸、骨质比例和种植体类型等条件,以获得所需不同类型模型。

1.2 软、硬件环境 PC 机配置为 AMD ATHLON XP 1800+, 1 G RAM, 160 G HARDDISK, ATI 9800SE VIDEOCARD, 软件环境为 MICROSOFT WINDOWS XP SP2, 建模软件选用 AUTODESK MECHANICAL DESKTOP 2004 和 ANSYS WORKBENCH 8.1, 电子表格软件选用 MICROSOFT EXCEL 2002。

1.3 牙槽嵴和种植体基础模型的构建 牙槽嵴模型由松质骨和密质骨两部分(即 CAD 软件中的“零件”)组成,种植体以第四军医大学 Mdic 种植体为原型,设计为单零件以便于应用电子表格驱动。采用 MDT 2004 绘制截面轮廓图并约束草图,利用“旋转”、“拉伸”和“放样”等操作步骤,获得如图 1 所示基础模型。

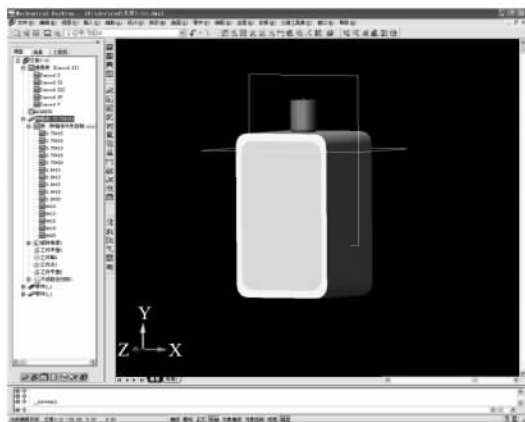


图 1 CAD 基础模型及电子表格驱动界面

Fig 1 Basal CAD model and worksheet driven interface

1.4 电子表格驱动的实现 添加全局及局部设计变量后,选择“表格驱动设置”,创建电子表格。设计 3 个 Excel 表格驱动模型尺寸,其中骨外形表(表 1)设计为 5 种不同版本,控制模型的外形尺寸,以模拟 Cawood 分类中的不同类型:(1)拔牙后阶段;(2)圆钝牙槽嵴;(3)刃状牙槽嵴;(4)扁平牙槽嵴;(5)低平牙槽嵴。松质骨外形控制表设计为 4 种版本,控制松/密质骨的比例,以模拟 Zarb 分类中的颌骨质量分级:(1)密质骨 > 90%;(2)密质骨 > 50%;(3)密质

骨 < 10%;(4)密质骨 < 10%。其中(3)和(4)几何尺寸无明显差别,通过设定松质骨不同力学参数予以区分。种植体外形控制表设计为 15 种版本,控制种植体的长度和直径,并通过特征抑制来设定是否生成带有真实螺纹的种植体模型。本研究中采用的种植体为 Mdic 系列种植体,其直径为 3.6、3.75、4.0 mm,长度为 10、13、15、18、20 mm,基台高度统一为 5.5 mm。以上表格中各版本零件的具体数值皆可根据不同情况予以更改,并通过模型的更新加以体现。

表 1 骨外形表

Tab 1 Overall dimension of bone

Index	Cawood classification				
	II	III	IV	V	VI
Upper width	15	14	9	8	7
Inferior width	15	14	14	8	7
Height	28	25	25	15	10
Length	18	18	18	18	18

1.5 模型在 CAD 软件中的装配 通过零件之间的布尔运算和复制引用,将种植体垂直植入牙槽嵴中央,通过装配约束使种植体中心螺钉上表面与牙槽嵴平面平齐。通过零件干涉检查确认零件间无相互干涉。

1.6 有限元模型的生成和约束条件的设定 将装配完毕的 CAD 模型导入 ANSYS WORKBENCH 8.1,即生成有限元模型。假设种植体与周围颌骨之间为 100%骨结合;种植体及周围骨组织均为完全连续的各向同性的线弹性材料。约束条件为骨下缘和两端固定。对于临床常用的按照骨质量进行的牙槽嵴分类,通过设定松质骨不同的弹性模量予以区分,具体材料特性见文献^[6-8]。

2 结果

通过激活种植体、松质骨、密质骨的不同版本,共获得不同分类种植体-骨复合体有限元模型 300 个。模型质量好,无零件间相互干涉,螺纹密合。

如图 2 中模型,通过在 MDT2004 表格驱动界面下分别激活 3 个 Excel 表格中的“Cawood II”,“Zarb III”和“3.75 mm × 10 mm”选项,即可获得宽 15 mm、高 28 mm、长 18 mm 的类长方体骨段 CAD 模型,密质骨含量小于 50%,骨段中央植入 1 枚直径 3.75 mm × 10 mm 长度种植体。CAD 模型经由 Ansys 软件导入后转化为有限元模型,修改松质骨弹性模量为 1.6×10^9 Pa,即完成 III 类骨质下 Ca-

wood II, Zarb III型牙槽嵴-种植体复合有限元模型的建立。在 Ansys 操作界面下设定骨与种植体之间关系为“bonded”,骨下缘和两端的密质骨及松质骨为“fixation”,即可满足实验所需的约束条件。根据研究目的在 Ansys 中选择不同的“force”和“pressure”,经运算后可输出相应条件下骨种植体复合体的各种力学参数。如通过在种植体顶部加载压力模拟垂直向咬合力,垂直向加载模拟侧向力,按照上述约束条件,经运算后即可获得如下一些力学参数:密质骨与松质骨的最大及最小等效应力、应力分布云图、各方向最大变形及变形云图,种植体的最大及最小应力、应力分布云图、变形大小及变形云图。通过这些结果,即可对骨及种植体的生物力学改变有较明确了解。因本文主要讨论建模方案,具体分析从略。



图2 Cawood II, Zarb III型牙槽嵴种植体复合有限元模型(III类骨质)

Fig 2 Alveoli-implant complex finite element model (Cawood II, Zarb III, Class III)

3 讨论

在有限元分析中,最基本的步骤就是有限元模型的建立。模型能否从力学上代表实物将直接影响分析结果的信度和准确性。近年来,学者们多通过SCT、ECT等放射手段获得离体或患者颌骨的影像学资料,再通过专用软件予以重建。模型精确度通常可以得到保证。但由于正常及异常牙槽嵴临床表现不同,个体差异明显,因而分析结果缺乏足够的代表性,难以全面说明问题。此外,由于生物体外形结构复杂,模型重建相对困难,费时费力,非专业人员不易掌握。

基于牙槽嵴形态的多样性,根据临床诊断和修复前外科、种植外科适应证选择的需要,学者们提出了众多的分类,分类标准多依据牙槽嵴的高度和宽度等形态学指标(如 Mercier 分类, Kent 分类, Cawood 分类)或密质骨与松质骨比例(Zarb 分类)等。如能根据不同分类构建相应的有限元模型,其生物力学分析结果既基本符合个性化的要求,适用范围也更广泛。这也是本建模方案的设计初衷。Cawood 和 Zarb 分类在临床甚为常用,通过临床检查、模型测量及放射检查即可完成分类,其分类指标较容易量化,故经比较后选择较易数字化的 Cawood 和 Zarb 分类,上述分类的指标变化可在 CAD 软件中通过对模型的编辑予以体现,所建立的系列模型,基本可覆盖各种不同类型正常及异常牙槽嵴,对于明确种植体在不同牙槽嵴上的生物力学特性及个性化选择种植体具有一定的指导意义。本方法易用性好,在建立基础模型后,只需修改电子表格即可获得所需模型,对于各种不同种植体只需将具体外形数据添加到表格中即可,使用者不必掌握烦琐的 CAD 建模方法,只需具备一定的办公软件知识即可应用,适用于广大临床医生和研究者。

颌骨作为一种生物组织,其力学性质十分复杂,目前大多数学者在实际应用中将其简化为连续、均匀、各向同性的线弹性材料,属弹性力学的研究范畴。根据圣维南原理,分布于弹性体上一小块面积(或体积)内的载荷所引起的物体中的应力,在离载荷作用区稍远的地方,基本上只同载荷的合力和合力矩有关;载荷的具体分布只影响载荷作用区附近的应力分布^[9]。由于我们的研究对象是种植体与颌骨组织结合处的应力大小与分布,因此,过大的模型尺寸对提高结果精度无明显作用。大量试验结果也说明了这一点。Meijer 等^[10]的实验结果显示:部分下颌骨和全下颌骨三维模型分析结果差异极小,而建模和计算时间,前者较后者显著减少,因而建议采用部分下颌骨模型替代整个下颌骨模型。Teixeira 等^[11]的进一步研究指出部分下颌骨有限元模型的最小长度为 4.2 mm,小于该长度的节段性下颌骨将引起有限元分析结果的差异,超过该长度后,模型大小对结果影响很小。在本研究中,软件通过 6 个节点控制模型外形,模型长度可调,精度基本可满足生物力学分析要求。因为 MDT2004 是基于非均匀有理 B 样条曲线的曲面建模软件,理论上可以拟合任何闭合曲线,如需获得更为精确,更接近颌骨外形的模型,可通过适当增加外形控制节点数,并修改电子表格调整模型的大小和外形,即可获得模型精度和

运算时间的良好平衡。由于增加节点只需通过基础模型完成,不必进行多次重复的建模操作,同样可以节省大量的操作时间。

得益于 CAD 软件对实体模型的良好操作性,本方法除可应用于种植体的生物力学研究外,通过对模型的分割和装配,尚可应用于对种植体牙槽嵴增高牵张器的手术模拟和力学分析;通过调用 CAD 软件的 VBA 接口可实现对患者影像资料的调用,从而为临床个性化种植体的选择创造条件。此外,通过调用 ANSYS APDL 接口尚可实现种植体的优化设计。上述种种将是本实验的进一步研究方向。

[参考文献]

- [1] Lin C L, Wang J C, Ramp L C, Liu P R. Biomechanical response of implant systems placed in the maxillary posterior region under various conditions of angulation, bone density, and loading [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2008, 23: 57-64.
- [2] Tsutsumi S, Fukuda S, Tani Y. Biomechanical designing of implants [J]. *J Dent Res*, 1989, 68: 766.
- [3] Quaresma S E, Cury P R, Sendyk W R, Sendyk C. A finite element analysis of two different dental implants; stress distribution in the prosthesis, abutment, implant, and supporting bone [J]. *J Oral Implantol*, 2008, 34: 1-6.
- [4] Huang H M, Lee S Y, Yeh C Y, Lin C T. Resonance frequency

assessment of dental implant stability with various bone qualities: a numerical approach [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2002, 13: 65-74.

- [5] 邱蔚六. 口腔颌面外科理论与实践 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 296-301.
- [6] Ihde S, Goldmann T, Himmlova L, Aleksic Z. The use of finite element analysis to model bone-implant contact with basal implants [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008, 106: 39-48.
- [7] Shi L, Li H, Fok A S, Ucer C, Devlin H, Horner K. Shape optimization of dental implants [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007, 22: 911-920.
- [8] Maezawa N, Shiota M, Kasugai S, Wakabayashi N. Three-dimensional stress analysis of tooth/implant-retained long-span fixed dentures [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007, 22: 710-718.
- [9] 徐芝纶. 弹性力学 [M]. 上册. 3 版. 北京: 人民教育出版社, 1990: 256.
- [10] Meijer H J, Starmans F J, Bosman F, Steen W H. A comparison of three finite element models of an edentulous mandible provided with implants [J]. *J Oral Rehabil*, 1993, 20: 147-157.
- [11] Teixeira E R, Sato Y, Akagawa Y, Shindoi N. A comparative evaluation of mandibular finite element models with different lengths and elements for implant biomechanics [J]. *J Oral Rehabil*, 1998, 25: 299-303.

[本文编辑] 孙岩, 尹茶

· 消 息 ·

《第二军医大学学报》征订启事

《第二军医大学学报》是由第二军医大学主办的国内外公开发行的 (CN31-1001/R, ISSN 0258-879X) 的综合性医药卫生类学术期刊, 1980 年 6 月创刊。本刊面向全国和海外作者征稿, 主要报道基础、临床、预防、军事医学、药理学和中国医学等领域的最新科研成果。由著名肝胆外科专家、国家最高科技奖获得者吴孟超院士任主编。辟有: 院士论坛、专家论坛、专题报道、论著、研究快报、临床病理(例)讨论、个案报告等栏目。读者对象主要为从事医药卫生工作的中高级科研、医疗、教学、预防机构人员和高等医药院校的师生。

本刊一直被《中文核心期刊要目总览》确认为“中国综合性医药卫生类核心期刊”; 是“中国科学引文数据库统计源期刊”、“中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊”; 被包括万方数据——中国数字化期刊群、中国学术期刊综合评价数据库等在内的国内所有重要检索系统收录, 并被荷兰《医学文摘》(EMBASE)、美国《化学文摘》(CA)、英国国际农业与生物科学中心 (CABI) 文摘数据库、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)、波兰《哥白尼索引》等国际检索系统收录。先后获得“第二届国家期刊奖百种重点期刊奖”、“第三届国家期刊奖提名奖”和“首届全国高校精品科技期刊奖”。

本刊为月刊, A4 开本, 80 g 铜版纸彩色双胶印刷, 每期定价 15 元, 全年共 180 元。可在当地邮局订阅(邮发代号 4-373), 漏订者可来函本刊编辑部办理邮购。

地址: 上海市翔殷路 800 号《第二军医大学学报》编辑部, 邮编: 200433

联系人: 商素芳 电话: 021-25074352, 021-25074340 转 824 分机

E-mail: bxue@smmu.edu.cn 或 bxue304@yahoo.com.cn

http://www.ajsmmu.cn 或 http://journals.smmu.edu.cn