

[文章编号 1000-1182(2005)02-0167-03]

下颌第一磨牙种植体周围应力三维有限元分析

王晓洁, 罗教明, 陈继镛, 张兴栋

(四川大学生物材料工程研究中心, 四川 成都 610064)

[摘要] 目的 探讨精确的有限元分析 (FEA) 模型建立的方法, 使 FEA 分析计算结果更加真实有效。方法 采用下颌骨计算机断层扫描 (CT) 数据, 通过计算机图像处理及计算机辅助设计 (CAD) 技术, 获取精确的下颌骨第一磨牙几何模型。应用 FEA 技术对圆柱状种植体周围骨内应力分布情况进行分析。结果 种植体周围应力分布具有高度的非对称性, 主要集中于下颌骨舌侧颈部, 颊侧主要为拉应力作用, 舌侧为压应力作用。结论 基于 CT 数据建立的模型能更真实地反映下颌骨的结构特点, 使 FEA 分析结果更趋于真实。

[关键词] 应力分布; 牙种植体; 三维有限元分析; 下颌骨模型

[中图分类号] R 783.6 [文献标识码] A

The Study on Three-dimension Finite Element Analysis of the Stress Distribution in the Mandible Bone around Dental Implants WANG Xiao-jie, LUO Jiao-ming, CHEN Ji-yong, ZHANG Xing-dong. (Engineering Research Center in Biomaterials, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract Objective The aim of this study was to investigate how to model an accuracy 3-dimension Finite Element Analysis (3D-FEA) model. **Methods** Based on computed tomography (CT) scan data of a woman, a 3D finite element model of the first molar on the left was rebuilt by computer images process and computer aided design (CAD). Analysis of the stress distribution on a cylinder dental implant and in the bone around it was conducted. **Results** The stress distribution showed extremely asymmetry in bucco-lingual section: stress concentrated on the lingual side of the mandible; stress mainly was tensile in buccal side, and on the contrary compressive in lingual side. **Conclusion** The results were more reliable because this model more really displayed the mandible.

Key words stress distribution; dental implants; three-dimension finite element analysis; mandible model

种植体周围骨内应力分布的合理性对种植体长期使用有重要影响, 其研究一直是人们关注的焦点^{1~3}。有限元分析 (three-dimension finite element analysis, FEA) 技术应用于牙种植体的研究已有近 30 年的历史, 是研究复杂应力分布的最有效手段。但其分析结果的准确性和科学价值很大程度上取决于模型的准确程度。由于牙槽骨结构复杂多样及计算条件有限, 早期的二维轴对称简化处理对早期牙种植体的研究和设计做出了重要贡献⁴。近代医学影像技术, 特别是螺旋计算机断层扫描 (scan computed tomography, SCT) 技术的发展, 为建立精确的三维有限元模型 (three-dimension finite element model, 3D-FEM) 奠定了良好的基础。从 CT 的断层扫描数据出发建立三维有限元模型不仅可以获得人体骨组织的精确几何数据, 同时还可获取骨质密度等重要数据, 是目前

FEA 建模研究的重点和热点^{5,6}。

本研究利用健康人体下颌骨 CT 数据建立精确的下颌骨第一磨牙 FEA 模型, 并对生理加载下的种植体周围骨内应力分布进行分析, 以得到更符合真实情况的分析数据, 为新型牙种植体的研究和设计以及临床应用提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

选取四川大学生物材料工程研究中心生产的 TC4 (Ti6Al4V) 钛合金圆柱状种植体, 直径 5 mm, 长度 13 mm, 中心孔直径 3 mm, 孔深 8 mm, 15° 基桩, 基桩高度 10 mm。分析软件采用 ANSYS 大型通用有限元分析系统软件。

1.2 牙槽骨几何模型的建立

采用 25 岁年轻女性的正常下颌骨左侧第一磨牙位 CT 断层扫描数据, 长轴约 28 ~ 30 mm, 短轴约 13 ~ 15 mm, 应用边缘检测技术, 获取牙槽骨断层边缘的准确轮廓数据, 采用 CAD 技术建立牙槽骨几何模型。

[收稿日期 2004-03-01; 修回日期 2004-09-04]

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (30471758)

[作者简介] 王晓洁 (1978-), 女, 河南人, 硕士研究生

[通讯作者] 罗教明, Tel: 028-85410563

1.3 有限元分析

将牙槽骨几何模型考虑为均匀、连续、各向同性线弹性性质(表 1)。选用三维实体各向同性线弹单元进行网格划分(图 1),单元总数为 23 660。于钛合金圆柱状种植体上部赋予磨牙负载 300 N,采用二分之一对称模型及其对称约束、牙槽骨底部固定约束进行 FEA 分析。

表 1 种植体、牙槽骨力学参数

Tab 1 Mechanical parameter of the implant and alveolar bone

名称	弹性模量 (GPa)	泊松比
TC4 (Ti6Al4V)	110.0	0.3
密质骨	15.0	0.3
松质骨	1.5	0.3

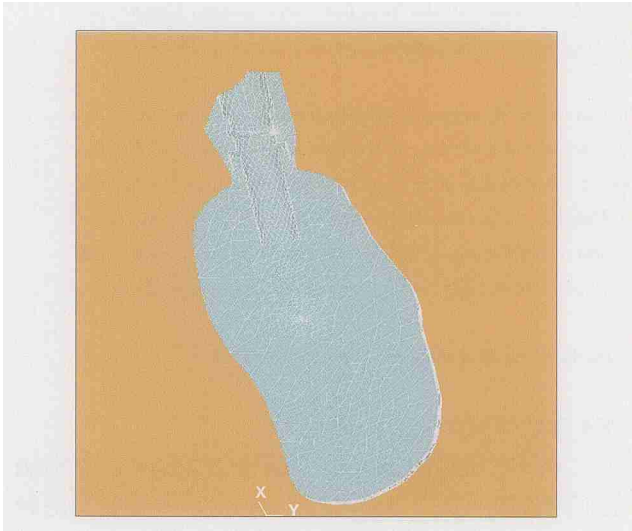


图 1 网格划分后的有限元模型

Fig 1 The three-dimensional finite element model

2 结果

种植体及周围骨内的平均等效应力分布见图 2, 3。在种植体颈部出现应力集中区域,最大应力点出现在该剖面与牙槽骨交界面的牙槽骨舌侧顶部,即图 3 中的 MX 点,数值为 16.5 MPa。种植体 - 骨界面周围骨内颊侧、舌侧路径平均等效应力 (Von Mises) 分布曲线如图 4 所示,两条路径 B、L 的定义如图 3 所示。颊侧路径 B 为种植体 - 骨界面经 E、D、C 点,舌侧路径 L 为种植体 - 骨界面经 A、B、C 点。B-V 为颊侧路径 - 应力分布曲线, L-V 为舌侧路径 - 应力分布曲线。在种植体 - 牙槽骨界面舌侧,从种植体颈部至底部,平均等效应力由最大值 15 MPa 急剧下降,在皮质骨与松质骨交界面深度约 3 mm 处达到 6 MPa,在

松质骨内经约 4 mm 长度相对平缓下降至 1.8 MPa,之后至路径终点,应力值缓慢增大至 2.25 MPa。沿 B-V 颊侧路径,随深度增加,平均等效应力从 5.2 MPa 迅速升高,在深度约为 2.3 mm 处达到极大值约 9.4 MPa,在皮质骨界面深度约 3.0 mm 处,出现突变由 8.0 MPa 降至 2.0 MPa。松质骨内,平均等效应力在 2.0 ~ 4.0 MPa 范围内小幅度变化。上述两条路径剪切应力分布曲线见图 5。B-XY 和 L-XY 分别代表颊、舌侧矢面分量,它们的特征分别与 B-V 和 L-V 相似,但作用力性质不同,颊侧为拉力,舌侧为压力。

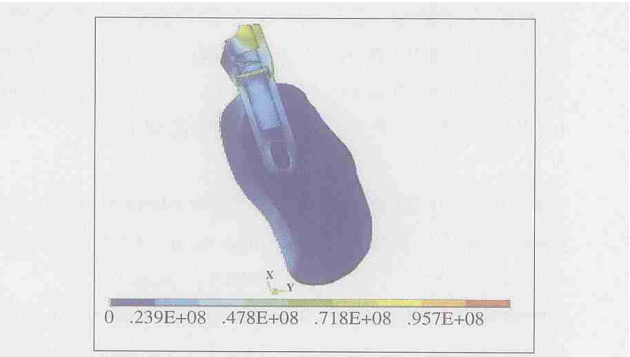


图 2 TC4 种植体及周围骨的平均等效应力分布云图

Fig 2 Contour plots of Von Mises distribution in implant and the bone around the implant

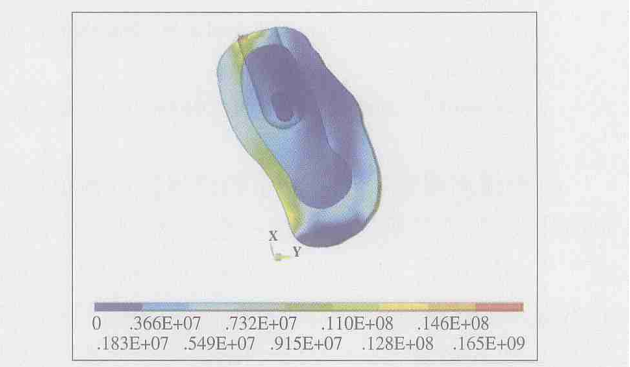


图 3 TC4 种植体周围牙槽骨内的平均等效应力分布云图

Fig 3 Contour plots of Von Mises distribution in the bone around implant

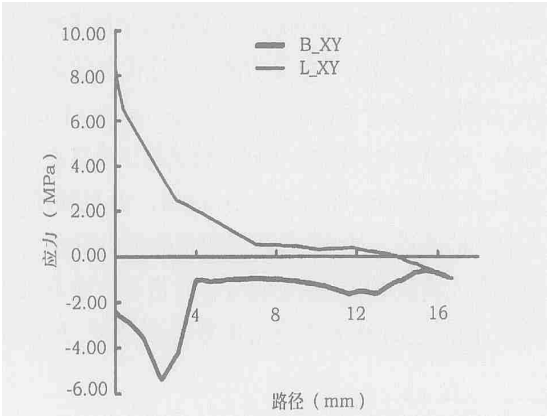


图 4 TC4 种植体周围颊、舌侧路径应力分布曲线

Fig 4 Stress distribution in the bone around implant on buccal side and lingual side, respectively

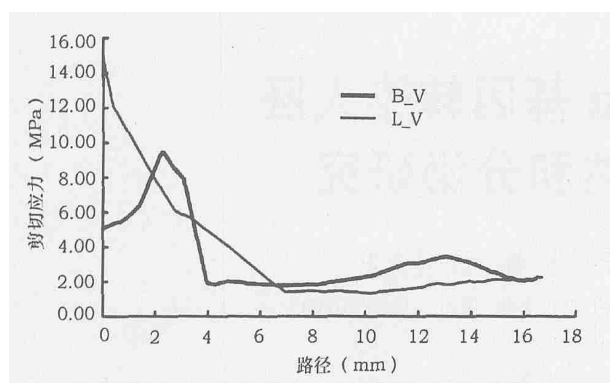


图 5 种植体周围颊、舌侧路径剪切应力分布曲线

Fig 5 Shear stress distribution in the bone around implant on the buccal side and the lingual side respectively

3 讨论

精确的几何模型是有限元分析结果更加真实的保证。本文从 CT 数据出发,采用边缘检测技术和 CAD 建模技术,重建左侧下颌第一磨牙位的几何模型,该模型精度高,较真实地反映了下颌骨的结构特点,使 FEA 分析结果更趋于真实。

通过对 CT 图像的分析、测量获得了牙及牙槽骨准确几何尺寸和空间取向数据。本文下颌骨第一磨牙位颊舌向横断面长轴约 30 mm,短轴 20 mm。长轴两侧(颊、舌侧)皮质骨厚度表现出明显的不对称性,颊侧平均厚度约 5 mm,舌侧 3 mm,且𬐮力方向与牙长轴有 15° 夹角。如采用二维轴对称模型计算将会产生较大误差。

种植体表面经生物活性处理,特别是经等离子喷涂羟基磷灰石涂层手术愈合后,种植体-牙槽骨界面会形成骨结合,因此,在进行 FEA 分析时,可假设在该界面两侧的单元无相对滑移。在下颌骨正常生理条件下,𬐮力约为 300 N,其大小在种植体和牙槽骨弹性形变范围内,且应变较小,可近似为线弹性。圆柱状种植体具有轴对称特点,因此采用二分之一对称模

型及牙槽骨底部固定约束进行 FEA 分析。

日常咀嚼食物所需𬐮力通过𬬞面沿咬合方向施加⁷,所以本研究选用直径为 5 mm,长度为 13 mm 的圆柱状两段式种植体,垂直下颌骨植入骨内,并在基桩上施加 300 N 载荷且加载方向与种植体下部结构成 15°。三维有限元分析结果显示,由于下颌骨模型的非对称性,在种植体周围骨内颊侧主要为拉应力作用,舌侧为压应力作用。种植体颈部存在应力集中区域,最大点位于舌侧牙槽骨颈部与种植体相交处附近。

本研究结果表明,通过建模,较精确模拟了下颌骨形态,为三维有限元分析结果的可靠性提供了依据,相对于二维有限元分析和对称性模型有一定进步意义,对更真实的颌骨三维有限元分析模型有待进一步研究。

[参考文献]

- 1] Roychowdhury A, Pal S. A 3-D FEM analysis of single and multiple screw-root dental implant fixed in a mandible J. Crit Rev Biomed Eng, 2000, 28(3): 405-410.
- 2] 巢永烈,梁星. 种植义齿学 M. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1999:40-41.
- 3] 陈安玉. 口腔种植体 M. 成都:四川科学技术出版社,1991: 56-73.
- 4] 李湘霞. 关于牙种植体的有限元研究进展 J. 现代口腔医学杂志, 1999, 13(4): 295-298.
- 5] Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature J. J Prosthet Dent, 2001, 85(6): 585-598.
- 6] Akagaw Y, Wdantoto M, Sato Y. The three dimensional bone interface of an osseointegrated implant: a method for study J. J Prosthet Dent, 1992, 68(5): 813-816.
- 7] 皮昕. 口腔解剖生理学 M. 第 4 版, 北京:人民卫生出版社, 2000:208-209.

(本文编辑 王 晴)

中重度牙周炎的诊断和治疗学习班通知

经中华口腔医学会批准,由牙周病学专业委员会主办的 2005 年国家级继续教育项目“中重度牙周炎的诊断和治疗”学习班(8 学分)将于 2005 年 7 月 7 日至 9 日在大连市举行,届时学习班有多位国内知名牙周病学专家授课,主要内容包括:中重度牙周炎的诊断和危险因素评估、牙周病治疗的回顾与发展、循证医学与牙周病学、牙周基础性手术和再生性手术的方法和原则、松动移位牙及继发性𬐮创伤的治疗和中重度牙周炎的多学科综合治疗等。同时专委会还将组织相关的学术活动,欢迎参加。

报名截止时间:2005 年 6 月 15 日;学习班报到时间:2005 年 7 月 6 日;联系地址:大连市沙河口区长江路 935 号大连市口腔医院医务科;邮政编码:116021;联系人:李立娅;联系电话:0411-84625234-412 或 434;传真:0411-84644794;E-mail: dlsunjiang@sohu.com。