

文章编号:1004-7220(2013)02-0184-05

# 不同植入扭矩对种植体骨界面生物力学特性的影响

丁熙<sup>1</sup>, 朱彤好<sup>1</sup>, 林芝<sup>1</sup>, 廖胜辉<sup>2</sup>, 黄建静<sup>1</sup>, 张秀华<sup>1</sup>

(1. 温州医学院附属第一医院 口腔医疗中心, 浙江 温州 325002; 2. 中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

**摘要:** **目的** 探讨不同植入扭矩对种植体骨界面生物力学特性的影响。**方法** 采用薄层 CT 扫描和自主开发的 USIS 软件建立包含种植体的即刻负载下颌骨三维有限元模型。采用 ANSYS 软件分析种植体在 0、15、25 N·cm 3 种植入扭矩下, 垂直和颊舌向 45° 加载 150 N 力时种植体骨界面 von Mises 应力、应变值。**结果** 垂直载荷时, 3 种植入扭矩下的种植体骨界面 von Mises 应力最大值分别为 33.6、56.4 和 69.6 MPa, 应变最大值分别为 5 157、8 645、15 630  $\mu\epsilon$ 。颊舌向载荷时, 3 种植入扭矩下的种植体骨界面 von Mises 应力最大值分别为 95.3、100.6 和 108.3 MPa, 应变最大值分别为 17 110、18 690、21 380  $\mu\epsilon$ 。**结论** 种植体植入扭矩的增大会增加种植体骨界面的应力应变值, 颊舌向载荷时比垂直载荷时增加明显缓慢。

**关键词:** 牙种植体; 扭矩; 有限元分析; 应力; 应变; 载荷

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

## Influence of insertion torque on biomechanical characteristics at implant-bone interface

DING Xi<sup>1</sup>, ZHU Xing-hao<sup>1</sup>, LIN Zhi<sup>1</sup>, LIAO Sheng-hui<sup>2</sup>, HUANG Jian-jing<sup>1</sup>, ZHANG Xiu-hua<sup>1</sup> (1. Department of Stomatology, the First Hospital Affiliated to Wenzhou Medical College, Wenzhou 325002, Zhejiang, China; 2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** **Objective** To evaluate the influence of different insertion torque values on stress and strain distributions at implant-bone interface. **Methods** The three-dimensional finite element model of the whole mandible with dental implants for immediate loading was created by CT scanning and self-developed USIS (universal surgical integration system) software. The insertion torque values of dental implants were supposed to be 0, 15 and 25 N·cm, respectively. The values of Von Mises stress and strain at implant-bone interface were calculated with ANSYS software, when the dental implants were loaded with vertical and buccolingual force at a 45° oblique angle of 150 N. **Results** When the dental implants were loaded with the vertical force, the maximum Von Mises stress was 33.6, 56.4, 69.6 MPa and the maximum strain was 5 157, 8 645, 15 630  $\mu\epsilon$ , respectively, under the three insertion torques. When the dental implants were loaded with the buccolingual force, the maximum Von Mises stress was 95.3, 100.6, 108.3 MPa and the maximum strain was 17 110, 18 690, 21 380  $\mu\epsilon$ , respectively, under the three insertion torques. **Conclusions** With the increased torque value of dental implants, the stress and strain at the implant-bone interface were both increased, and the increase of stress and strain was much slower under buccolingual loading than that under vertical loading.

**Key words:** Dental implants; Torque; Finite element analysis; Stress; Strain; Loads

收稿日期:2012-06-05; 修回日期:2012-07-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81000461), 浙江省自然科学基金资助项目(Y2100274), 温州市科技局对外合作项目(H20100027)。

通信作者:丁熙, 副教授, E-mail:dingxi@wzhospital.cn; 朱彤好, 主任医师, E-mail:zhuxinghao@hotmail.com。

种植体植入的初期稳定性是种植体获得良好骨结合的重要条件,尤其在即刻负载的情况下。适当的植入扭矩值是拥有良好初期稳定性的必要条件之一。种植体的承载能力与扭矩值有一定的关系,一般是扭矩值越大承载能力越大<sup>[1-2]</sup>。但是,通过提高种植体的植入扭矩来增加种植体的初期稳定性,能否保障种植体即刻负载的成功率,学者们有不同意见。高扭矩植入会增加种植体对骨组织的压力,可能对骨结合有不利影响<sup>[3-4]</sup>。本文将探讨不同植入扭矩对种植体骨界面生物力学特性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 含牙种植体完整下颌骨三维有限元模型的建立

选取一名下颌前牙区已植入 3 颗种植体的无牙颌女性,采用 GE MEDICAL SYSTEMS (Light Speed

Pro 16) 三维螺旋 CT 机对其下颌骨进行薄层扫描,层厚 1 mm,扫描范围从下颌骨下缘至髁突。扫描图像数据以 DICOM 格式刻录存盘后,导入自主开发的通用外科手术集成系统(universal surgical integration system, USIS)。采用基于下颌骨外形特征的流线型专用网格划分器进行有限元网格划分,颞孔之间的部分细分,建立下颌骨三维有限元模型。建模具体方法见参考文献[5-6],下颌骨模型共形成 171 488 个节点,116 645 个四面体单元。其中,螺纹种植体模拟 Straumann 种植体建模,直径为 4.1 mm,长度为 10 mm,螺纹深度 0.35 mm,螺距 1.25 mm;上部实心基台高度 5.5 mm、锥度为 6°。单个种植体共包括 21 420 个节点,13 924 个四面体。图 1 所示为建立的含牙种植体完整下颌骨有限元模型。

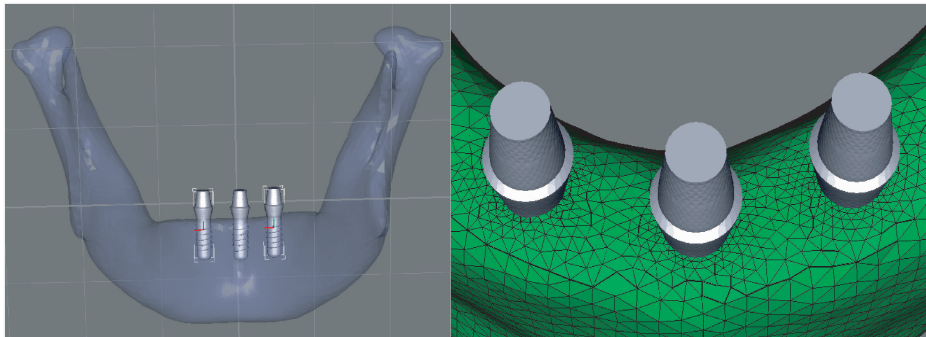


图 1 含牙种植体完整的下颌骨有限元模型

Fig.1 Finite element model of the whole mandible with dental implants

### 1.2 实验条件假设和材料力学参数

将模型中各种材料和组织考虑为均质、线性、连续、各向同性的弹性材料,材料变形为小变形。种植体骨界面定义为滑动摩擦接触,以模拟种植体即刻负载骨结合形成前的界面状态,即界面单元在外力作用下允许相对滑动,摩擦系数  $\mu = 0.3$ <sup>[7]</sup>。种植体和其周围的颌骨不共用一个邻接界面,通过复制并在法线方向上移 2  $\mu\text{m}$  的间隙距离,生成颌骨独立的骨接触边界。在每个种植体颌骨接触边界上生成一个皮质骨接触区和一个松质骨接触区,并在种植体表面建立相应的目标区<sup>[8]</sup>。各种材料的力学参数见表 1<sup>[5-6]</sup>。

表 1 有关材料的力学参数<sup>[5-6]</sup>

Tab.1 Mechanical properties of materials in the model

材料	弹性模量/GPa	泊松比
皮质骨	13.7	0.30
松质骨	1.37	0.30
钛	103.4	0.35

### 1.3 植入扭矩和边界条件加载

ANSYS 软件中模拟种植体植入扭矩为 0、15 和 25  $\text{N} \cdot \text{cm}$  3 种状况,在种植体颈部顺时针加载力矩。将髁突前斜面、咬肌、翼内肌、翼外肌、颞肌附着区域予以刚性约束。种植体基台表面以 150 N 的力分散加载,方向分别为垂直加载和颊舌向 45° 加载(见图 2)。

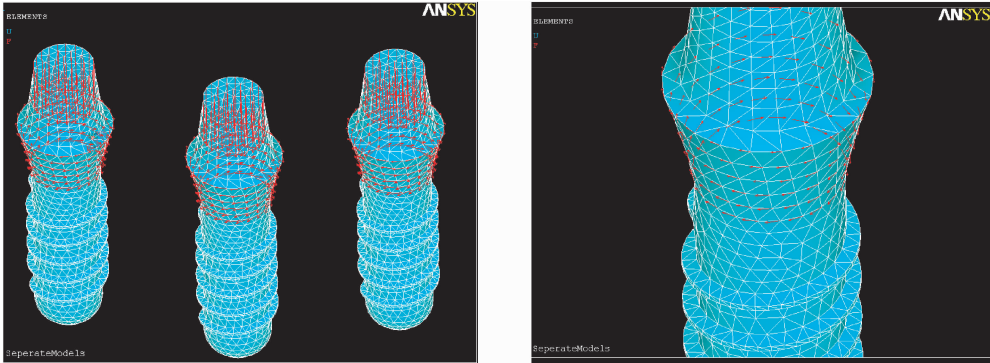


图2 种植体扭矩模拟加载

Fig. 2 Torque load simulation of dental implants

#### 1.4 有限元计算分析

采用大型有限元软件 ANSYS 10.0 进行计算, 输出种植体骨界面的应力、应变值进行分析。

## 2 结果

### 2.1 不同植入扭矩对种植体骨界面 von Mises 应力分布的影响(见图3)

垂直加载时,种植体骨界面的应力主要集中于种植体颈部骨皮质的近远中侧,中间部分受力较小。颊舌向加载时,种植体骨界面的应力明显增大,主要集中于种植体颈部骨皮质舌侧,底部及中部均很小。颊舌向加载时,种植体骨界面的 von Mises 应力值明显大于垂直加载时;随着植入扭矩的增大,不论是垂直加载还是颊舌向加载,种植体骨界面的 von Mises 应力最大值均呈上升趋势。垂直加载时,种植体植入扭矩从 0 增加到 15 N·cm,应力最大值从 33.6 增大到 56.4 MPa,增加了 67.9%;扭矩从 15 增加到 25 N·cm,应力最大值从 56.4 增大到 69.6 MPa,增加了 23.4%。颊舌向加载时,种植体植入扭矩从 0

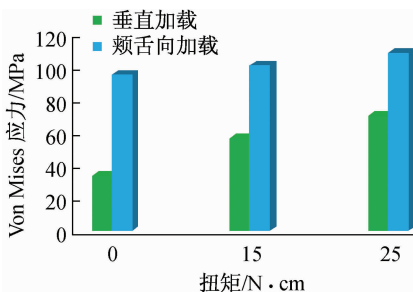


图3 不同植入扭矩时种植体骨界面 Von Mises 应力值

Fig. 3 Von Mises stress at the implant-bone interface with different insertion torques

增加到 15 N·cm,应力最大值从 100.6 增大到 108.3 MPa,增加了 5.6%;扭矩从 15 增加到 25 N·cm,应力最大值从 56.4 增大到 69.6 MPa,增加了 7.7%。随着植入扭矩的增大,种植体骨界面应力在垂直加载时增加明显,在颊舌向加载时增加不明显。

### 2.2 不同植入扭矩对种植体骨界面 von Mises 应变分布的影响(见图4)

垂直加载时,种植体骨界面的应变主要集中于种植体底部和螺纹部位。颊舌向加载时,应变主要集中于种植体颈部下方骨松质舌侧和底部颊侧。颊舌向加载时,种植体骨界面的 von Mises 应变值明显大于垂直加载时;随着植入扭矩的增大,不论是垂直加载还是颊舌向加载,种植体骨界面的 von Mises 应变最大值均呈上升趋势。垂直加载时,种植体植入扭矩从 0 增加到 15 N·cm,应变最大值从 5 157 增大到 8 645  $\mu\epsilon$ ,增加了 67.6%;扭矩从 15 增加到 25 N·cm,应变最大值从 8 645 增大到 15 630  $\mu\epsilon$ ,

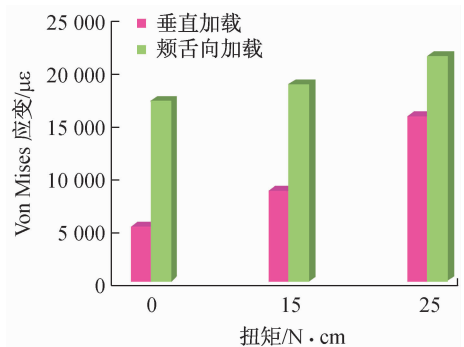


图4 不同植入扭矩时种植体骨界面 Von Mises 应变值

Fig. 4 Von Mises strain at the implant-bone interface with different insertion torques

增加了 80.8%。颊舌向加载时,种植体植入扭矩从 0 增加到 15 N·cm,应变最大值从 17 110 增大到 18 690  $\mu\epsilon$ ,增加了 9.2%;扭矩从 15 增加到 25 N·cm,应变最大值从 18 690 增大到 21 380  $\mu\epsilon$ ,增加了 14.4%。随着植入扭矩的增大,种植体骨界面应变在垂直加载时增加显著,在颊舌向加载时增加不明显。

### 3 讨论

生物力学是采用理论力学和材料力学的方法研究生物体的力学问题,即生命组织的材料力学性质、生物体受力状况以及受力后的运动、变形、破坏等物理变化、生长发育代谢等生物变化。有限元法目前已成为口腔生物力学(尤其种植牙)研究的一个重要手段。为了使种植义齿具有最佳的生物力学相容性,国内外学者对骨代谢的力学因素及种植义齿设计中的力学因素:如种植体材料的性质、表面结构和形态、种植体的直径和长度、种植体的数目及其在颌骨中的分布、悬臂梁长度、受力角度及加载方式、颌骨的形态和结构、上部修复材料及连接方式、天然牙-种植体联合固定修复等进行了大量的研究,但对有关植入扭矩对种植体骨界面力学分布的研究鲜有报道。

近年来,种植牙技术已日趋成熟,成功率不断提高,即刻负载或即刻修复日益受到重视。目前认为,即刻负载较延期负载要求更好的初期稳定性,初期稳定性是影响即刻负载种植体成败的关键因素,但对力学因素影响即刻负载种植体初期稳定性的机制尚不清楚<sup>[5]</sup>。牙种植体植入时给予适当的植入扭矩值,将有利于促进种植体-骨结合,提高种植手术的成功率,尽早恢复义齿的功能和外貌,故适当的植入扭矩值是拥有良好初期稳定性的必要条件。一般来说,植入的扭矩值越大,种植体承载能力越大。但是,如果过分强调初期稳定性,则会造成植入扭矩值过大、骨过度受压、血管阻塞,容易导致骨坏死,引起种植失败。如果初期稳定性不足,植入扭矩值过小,种植体与骨之间会形成微动,纤维结缔组织趁机长入,亦不利于成骨。目前,不同骨质条件下的最佳植入扭矩值尚未定论<sup>[9]</sup>,对即刻负载尚缺乏统一的初期稳定性要求。有实验要求即刻负荷的植入扭矩值大于 25 N·cm<sup>[10]</sup>。Aparicio 等<sup>[11]</sup>认为,植入扭矩大于 30~35 N·cm 是拥有良好初期稳定性的必要

条件之一;宿玉成<sup>[12]</sup>认为,种植体的最佳扭矩值应大于 25 N·cm。

本文模拟即刻负载的有限元分析结果认为,扭矩值与骨界面应力应变存在正相关关系。种植体植入扭矩值的增大会增加种植体骨界面的应力应变值,颊舌向载荷时比垂直载荷时增加明显缓慢,说明植入扭矩大的种植体承受侧向力的能力比较强。适宜的应力刺激不仅能防止种植体周围的废用性萎缩,还可以有利于骨的生长与改建,促进骨结合的形成,以维持种植体持续稳定<sup>[13]</sup>。骨组织应力适应性有一定的范围,在一定的应力大小和作用方式下,骨组织能够维持生理结构正常状态,如果低于或超出这一范围,都将会导致骨组织吸收。但究竟何种形式的应力分布及大小对种植体-骨界面有损害作用则很难界定<sup>[14]</sup>。按照分析结果推测,扭矩值高于 35 N·cm 骨界面可能会产生大得多的应力。高扭矩产生的过大应力是否一定会造成骨组织的吸收与坏死呢?其实不然。由于骨为黏弹性组织,种植体被挤压植入后,骨被快速压缩,于是种植体植入后出现早期扭矩衰减的现象。随着时间的延长,压缩骨的应力释放,作用于种植体表面的压力逐渐减小直至为零<sup>[1-2,15]</sup>。另外,有限元计算结果的绝对值很难代表人体的真实值,只能说明应力分布变化的规律是相同的<sup>[16]</sup>。本文对扭矩的模拟是在种植体颈部每个节点顺时针加载不同的扭力矩,可以比较近似地模拟种植体植入时扭力扳手加力的过程,但完全模拟实际的临床情况还是不易做到。要完全模拟复杂的口腔生物力学环境建立数学计算模型,目前尚无法达到,仍待进一步研究。

初期稳定性是即刻负载的先决条件,但并不是唯一条件,与其同等重要的关键因素还有控制负荷量和负荷方向等<sup>[1]</sup>。植入扭矩增大的同时也会增大种植体骨界面的应力和应变,故临床上也不应过分追求过高的扭矩来达到最大的初期稳定性。扭矩值过大,可能造成骨隐裂或骨缺血,导致种植体失败可能。

### 参考文献:

- [1] 杨德圣,刘洪臣,顾晓明,等. 牙种植体挤压植入后早期扭矩值的变化[J]. 中国临床康复, 2006, 10(1): 109-111.

- [2] 余粤海, 胡启斌, 张勇平, 等. 高扭矩植入种植体的近期疗效的对比研究[J]. 中国口腔种植学杂志, 2011, 16(4): 207-210.
- [3] Ueda M, Matsuki M, Jacobsson M, *et al.* Relationship between insertion torque and removal torque analyzed in fresh temporal bone [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1991, 6(4): 442-447.
- [4] Irinakis T, Wiebe C. Initial torque stability of a new bone condensing dental implant. A cohort study of 140 consecutively placed implants [J]. *J Oral Implantol*, 2009, 35(6): 277-282.
- [5] 丁熙, 朱彤好, 廖胜辉, 等. 下颌牙种植体即刻加载三维有限元模型的建立[J]. 上海口腔医学, 2006, 15(4): 391-394.
- [6] 丁熙, 朱彤好, 廖胜辉, 等. 种植体长度对即刻负载种植体骨界面生物力学分布的影响[J]. 医用生物力学, 2009, 24(4): 295-299.
- Ding X, Zhu XH, Liao DH, *et al.* Influence of different implant length on stress distribution of implant-bone interface with immediate [J]. *J Med Biomech*, 2009, 24(4): 295-299.
- [7] Mellal A, Wiskott HW, Botsis J, *et al.* Stimulating effect of implant loading on surrounding bone. Comparison of three numerical models and validation by in vivo data [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2004, 15(2): 239-248.
- [8] 丁熙, 朱彤好, 廖胜辉, 等. 不同直径种植体对即刻负载种植体骨界面应力分布的影响[J]. 医用生物力学, 2007, 22(2): 146-150.
- Ding X, Zhu XH, Liao SH, *et al.* Influence of different implant diameter with immediate loading on stress distribution of implant-bone interface [J]. *J Med Biomech*, 2007, 22(2): 146-150.
- [9] 于惠. 不同植入扭矩值对 BLB III 代种植体-骨结合的影响[D]. 大连: 大连医科大学硕士学位论文, 2011.
- [10] 邱萍, 林野, 邱立新, 等. 牙种植即刻修复的临床研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2004, 39(4): 265-268.
- [11] Aparicio C, Lang NP, Rangert B. Validity and clinical significance of biomechanical testing of implant/bone interface [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2006, 17 (Suppl 2): 2-7.
- [12] 宿玉成. 现代口腔种植学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2004: 96.
- [13] 丁熙, 朱彤好, 陈树华, 等. 三维有限元分析角度基台对种植体骨界面应力分布的影响[J]. 医用生物力学, 2005, 20(3): 153-156.
- Ding X, Zhu XH, Chen SH, *et al.* Three-dimensional finite element stress analysis of angled abutments in implant-bone interface [J]. *J Med Biomech*, 2005, 20(3): 153-156.
- [14] 兰泽栋, 林殊. 扭转力载荷对抗种植体-骨界面应力分布的影响[J]. 第四军医大学学报, 2004, 25(13): 1238-1240.
- [15] Nkenke E, Kloss F, Wilffang J, *et al.* Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using an osteotome technique [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2002, 13(6): 595-602.
- [16] Stegaroiu R, Kusakari H, Nishiyama S, *et al.* Influence of prosthesis material on stress distribution in bone and implant: A 3-dimensional finite element analysis [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1998, 13(6): 781-790.

(上接第 177 页)

- [10] Kamnik R, Bajd T. Human voluntary activity integration in the control of a standing-up rehabilitation robot: A simulation study [J]. *Med Eng Phys*, 2007, 29(9): 1019-1029.
- [11] Chettibi T, Haddad M, Lehtihet HE, *et al.* Suboptimal trajectory generation for industrial robots using trapezoidal velocity profiles [C]// Proceedings of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing, China: [s. n.], 2006: 729-735.
- [12] Li S, Ma GL, Hu WL. Tracking control of car-like mobile robot based on backstepping [J]. *J Southeast Univ*, 2005, 35(2): 248-251.
- [13] Mahony R, Hamel T. Robust trajectory tracking for a scale model autonomous helicopter [J]. *Int J Robust Nonlinear Contr*, 2004, 14(2): 1035-1059.
- [14] Xin QB, Ying Q, Zhe PY, *et al.* Nonlinear feedback control for trajectory tracking of an unmanned underwater vehicle [C]// Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Information and Automation. Harbin, China: [s. n.], 2010: 1387-1392.
- [15] Fan L, Joo EM. Linear and Nonlinear PD-type control of robotic manipulators for trajectory tracking [C]// Proceedings of 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. Xi'an, China: [s. n.], 2009: 3442-3447.