

文章编号:1004-7220(2009)04-0295-05

· 口腔生物力学 ·

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

丁 熙¹, 朱彤好¹, 廖胜辉², 张秀华¹, 张 林¹, 陈 宏¹

(1. 温州医学院附属第一医院 口腔医疗中心, 温州 325002; 2. 浙江大学计算机学院 CAD/CG 国家重点实验室, 杭州 310058)

摘要: 目的 建立包含不同长度标准直径种植体的下颌骨三维有限元模型, 分析不同长度种植体对即刻负载种植体骨界面应力应变分布的影响。方法 采用薄层 CT 扫描下颌骨和自主开发的 USIS 软件建立直径 4.1 mm 不同长度螺纹种植体即刻负载的三维有限元模型, 用 ANSYS 软件分析长度分别为 6、8、10、12、14 mm 的种植体, 在垂直和颊舌向 45° 加载 150N 力时种植体骨界面的 von Mises 应力、应变值。结果 随着种植体长度的增加, 种植体骨界面的应力和应变值均呈下降趋势。垂直加载时, 骨界面应力值在种植体长度从 6 mm 增加到 14 mm 分别下降 14.9%、8.4%、11.3% 和 11.2%; 其应变值分别下降 23.4%、12.6%、12.7% 和 14.4%。颊舌向加载时, 骨界面应力值在种植体长度从 6 mm 增加到 14 mm 分别下降 19.23%、7.77%、5.2% 和 3%; 其应变值分别下降 18.2%、23.6%、10.5% 和 12.9%。种植体骨界面应力值在长度从 6 mm 增加到 8 mm 时下降最明显, 尤其是颊舌向加载时。种植体骨界面应变值也是在长度从 6 mm 增加到 8 mm 及 8 mm 增加到 10 mm 时下降最明显。结论 种植体长度的增加能降低骨界面应力和应变值, 呈负相关关系; 但只在长度从 6 mm 增加到 8 mm 时应力值降低才较明显。这提示临床上尽量不要采用长度为 6 mm 的种植体, 并应适当地选择足够长度的种植体。

关键词: 牙种植体; 即刻负载; 有限元法; 应力; 长度; 生物力学

中图分类号: R782.2; R318.01 文献标志码: A

Influence of different implant length on stress distribution of implant-bone interface with immediate loading

DING Xi¹, ZHU Xing-hao¹, LIAO Sheng-hui², ZHANG Xiu-hua¹, ZHANG Lin¹, CHEN Hong¹. (1. Department of Stomatology, the First Hospital Affiliated of Wenzhou Medical college, Wenzhou 325002, China; 2. State Key Lab of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Objective The three-dimensional finite element model of mandible with dental implants for immediate loading was established to analyze stress distribution of bone around the dental implants with different implant length. **Method** Five three-dimensional finite element models of thread dental implants with immediate loading were constructed using CT scanning and USIS (Universal Surgical Integration System) software developed by ourselves. Each of them included different length implants which was 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm respectively. The values of Von Mises stress and strain at implant-bone interface were calculated with the software of ANSYS, when the dental implants were loaded with vertical, buccolingual force of 150 N. **Result** The values of Von Mises stress and strain on the bone around implants all decreased with the length of dental implants increased. With the length increased from 6 mm to 8 mm, the value of Von Mises stress at implant-bone interface reduced remarkably, especially when the dental implants were loaded with buccolin-

收稿日期: 2009-02-25; 修回日期: 2009-06-02

基金项目: 浙江省医学科技发展基金资助项目(2004B155)

作者简介: 丁熙(1976-), 男, 硕士, 汉族, 主治医师, 研究方向: 口腔种植牙

通讯作者: 丁熙, Tel: (0577)88069250; E-mail: dingxi@hosp1.ac.cn

gual force. However, when the length increased from 8 mm to 10 mm, from 10 mm to 12 mm and from 12 mm to 14 mm, the values of Von Mises stress decreased unapparent. The value of Von Mises stress at implant-bone interface also reduced obviously with the length increased from 6 mm to 8 mm. **Conclusions** With the length of dental implants increased, the value of stress at implant-bone interface decreased, which showed a negative correlation in between. But the increase only appears apparently when the length of dental implants added from 6 mm to 8 mm. It suggests that we should choose sufficient longer implants in clinical treatment and avoid use the implant of 6mm length if possible.

Key words: Dental implants; Immediate loading; Finite element method; Stress; Length; Biomechanics

近20年来,种植牙修复已广泛的应用于全颌牙列缺失及局部牙缺失,并取得很高的成功率,而且即刻负载技术也逐步应用于临床。许多学者报道了即刻加载或早期加载在种植义齿领域的成功应用。但其成功率低于延期加载,原因主要是种植体周围炎和颈部骨质严重吸收的发生。种植牙成功与否的一个关键因素是应力转移到周围骨界面的方式^[1]。目前,关于种植体长度对种植体骨界面的应力分布是否有较大影响,各学者意见不一,并且大多是基于种植体与骨组织形成完全骨结合的假设^[2,3]。本文将对长度的变化对即刻负载种植体骨界面应力应变分布的影响作一探讨。

1 材料和方法

1.1 下颌骨三维有限元模型的建立

采用 GE MEDICAL SYSTEMS 三维螺旋 CT 机对无牙颌人下颌骨进行连续薄层平行扫描,层厚 1 mm,扫描范围从下颌骨下缘至髁突,共 82 层。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,颊孔之间的部分细分,建立下颌骨三维有限元模型。模型共形成 171 488 个节点,116 645 个四面体单元。

1.2 不同长度种植体三维有限元模型的建立

模拟标准的 ITI 螺纹实心种植体的形态,直径为 4.1 mm,长度为 10 mm,螺纹深度 0.35 mm,螺距 1.25 mm,上部结构为高度 5.5 mm、锥度为 6° 的实心基台,在软件 USIS 中建立实体模型。按照不同 ITI 种植体的真实尺寸,分别建立直径为 4.1 mm,长度分别为 6、8、10、12 及 14 mm 的实体模型,划分四面体单元,建立三维有限元网格模型。长度为 6 mm 的种植体共形成节点 8 029 个,四面体单元 4 592

个;长度为 8 mm 的种植体共形成节点 10 153 个,四面体单元 5 711 个;长度为 10 mm 的种植体共形成节点 10 950 个,四面体单元 6 095 个;长度为 12 mm 的种植体共形成节点 14 159 个,四面体单元 7 916 个;长度为 14 mm 的种植体共形成节点 15 435 个,四面体单元 8 623 个,如图 1 所示。

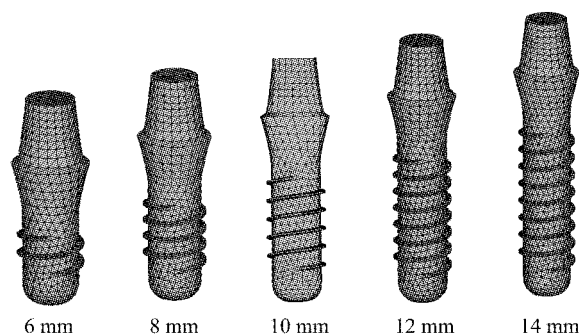


图1 不同直径种植体网格图

Fig.1 Mesh models of different length implants

1.3 不同长度即刻负载种植体-下颌骨三维有限元模型的建立

在软件 USIS 中,于下颌骨有限元模型颊孔之间的同一部位,植入不同直径的种植体。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 μm 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和一个松质骨接触区,并在种植体表面建立相应的目标区。将 USIS 中建立的有限元模型直接导出到大型有限元软件 ANSYS 10.0 中。

1.4 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连续、均质、线性、各向同性的弹性材料,材料变形为小变形,各种材料的力学参数见表 1。种植体骨界面定义为滑动摩擦接触,以模拟种植体即刻加载的界面状态,即界

面单元在外力作用下允许相对滑动,摩擦系数 $\mu = 0.3$ ^[4]。

表 1 有关材料的力学参数^[5,6]

Tab.1 Mechanical properties ascribed to materials in the model

材料	E/GPa	ν
钛	103.4	0.35
骨皮质	13.7	0.30
骨松质	1.37	0.30

1.5 边界条件和加载

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,如图 2 所示。

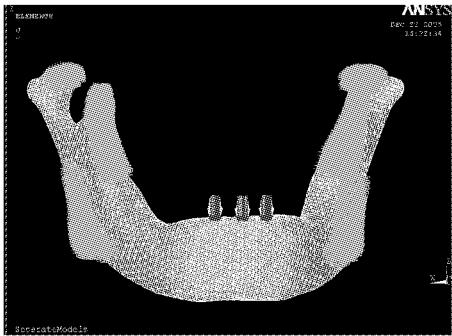


图 2 含即刻负载种植体下颌骨模型边界约束

Fig.2 Boundary condition of mandible model with dental implants for immediate loading

1.6 有限元计算

采用有限元软件 ANSYS 10.0 进行力学计算,输出种植体骨界面的应力、应变值,对种植体骨界面的 von Mises 应力和应变进行分析。

2 结果

2.1 长度变化对种植体骨界面 von Mises 应力分布的影响

垂直加载时,种植体骨界面的应力主要集中于颈部骨皮质,底部次之。颊舌向加载时,应力主要集中于颈部舌侧骨皮质,底部及中部均很小。由图 3 所见,颊舌向加载时,种植体骨界面的应力明显大于垂直加载;随着种植体长度的增加,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

大值均呈下降趋势。垂直加载时,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,应力值减少 14.9%;从 8 mm 增加到 10 mm,应力值减少 8.4%;从 10 mm 增加到 12 mm,应力值减少 11.3%;从 12 mm 增加到 14 mm,应力值减少 11.2%。颊舌向加载时,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,应力值减少 19.23%;从 8 mm 增加到 10 mm,应力值减少 7.77%;从 10 mm 增加到 12 mm,应力值减少 5.2%;从 12 mm 增加到 14 mm,应力值减少 3%。由以上可知,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,骨界面应力下降最明显,尤其是颊舌向加载时。

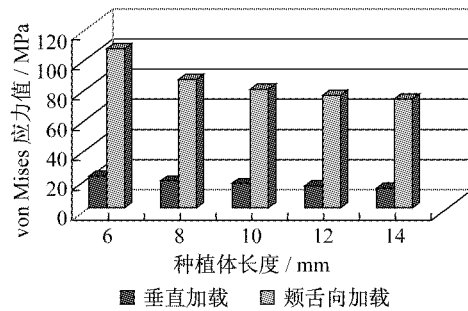


图 3 不同种植体长度对种植体骨界面 von Mises 应力值

Fig.3 Von Mises stress on the implant-bone interface with different length implants

2.2 直径变化对种植体骨界面 von Mises 应变分布的影响

垂直加载时,种植体骨界面的应变主要集中于底部颊侧和颊侧螺纹部位。颊舌向加载时,应变主要集中于颈部舌侧骨松质,底部颊侧次之,中部较小。由图 4 所见,颊舌向加载时,种植体骨界面的应力明显大于垂直加载;随着种植体长度的增加,不论是垂直加载还是颊舌向加载,种植体骨界面的 von Mises 应变最大值均呈下降趋势。垂直加载时,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,应变值减少 23.4%;从 8 mm 增加到 10 mm,应变值减少 12.6%;从 10 mm 增加到 12 mm,应变值减少 12.7%;从 12 mm 增加到 14 mm,应变值减少 14.4%。颊舌向加载时,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,应变值减少 18.2%;从 8 mm 增加到 10 mm,应变值减少 23.6%;从 10 mm 增加到 12 mm,应变值减少 10.5%;从 12 mm 增加到 14 mm 时应变值减少 12.9%。由以上可知,垂直加载时,种植体长度从 6 mm 增加到 8 mm,

骨界面应变下降最明显;颊舌向加载时,种植体长度从6 mm增加到8 mm及8 mm增加到10 mm,骨界面应变下降最明显。

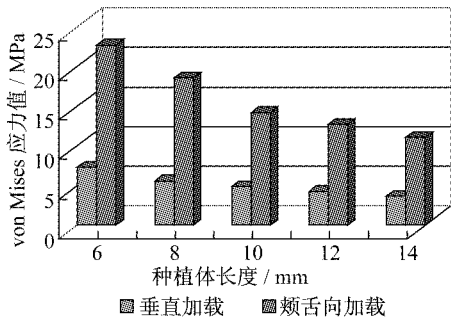


图4 不同长度种植体对种植体骨界面 von Mises 应变值

Fig.4 Von Mises strain on the implant-bone interface with different length implants

3 讨论

有限元法是一种有效的生物力学分析方法,并已在种植义齿的研究领域获得了广泛的应用,取得了满意的效果。它可对复杂的几何形状物体建模,求得整体和局部的应力、应变值及其分布规律,并可根据需要改变受载与边界条件等力学参数,在维持原模型几何形状不变的情况下,可方便地对其应力、应变大小和分布的变化进行对比分析。CT扫描时,扫描的断层越密,几何相似性越好,在每个断层划分节点时,节点数越多,其几何相似性也越好,即节点数越多,模型的几何形态越接近原物^[3]。本实验建立的有限元模型采用1 mm层厚CT扫描,并直接利用DICOM文件本身所包含的几何信息建模,此方法简化了以往采用比较陈旧的用CT扫描拍摄胶片,再经摄像机、图像采集卡等多种手段对CT或螺旋CT断层片二维图像进行处理和转化的繁琐过程。避免了在反复操作过程中主客观各种因素可能造成的部分数据和信息丢失,直接将扫描得到的CT数据传入计算机,运用面向对象编程技术对其进行数据处理,实现了高度自动化的计算机辅助有限元建模。

本实验根据颌骨CT图像的灰度分布区分骨皮质和骨松质的界限进行建模,不同于以往将骨皮质简单的假设为一层平面。由于下颌骨非规则的几何外形,必须根据形状和朝向决定非平行“最佳切割

曲面”的位置,以获取建立颌骨有限元模型的最佳几何信息。最终生成的面元排列方向与颌骨的走向非常符合,且大小、疏密过渡光滑,保证了有限元模型网格划分的质量。由于颌骨本身复杂的非规则结构,并且要集成精确的种植体(如精细的螺纹结构),模型采用的四面体单元最适于模拟这些复杂的边界条件,提高了几何相似性。从理论上讲,单元格划分越细,节点数越多,网格与实体几何相似性越好,计算结果越接近理论计算值,精确度也越高。但是受到系统允许的单元、节点数及计算机容量的限制,除数量外网格的疏密分布也很重要,一般应力小的地方网格可以疏一点,应力大的地方、孔洞的周围或者需要关心的部位网格应该密一些。本文建立的有限元模型中,集成了真实ITI螺纹种植体模型,模拟下颌骨的生理状况加载,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,种植体基台表面予以分散加载;将即刻负载种植体与颌骨的界面状态定义为滑动摩擦接触,即界面单元在外力作用下允许相对滑动,较好地模拟了骨结合未形成时的实际情况,大大提高了模型的几何相似性和力学相似性。但是,由于CT扫描间隔是固定的,层间不可能很密,对有些细微结构来说,截面形态的变化出现跳跃和不连续性,故颌骨及牙列CT图像的三维建模仍是一个难题。

种植牙在行使咀嚼功能时,种植体可把适度的咬合力负载传递分散到邻近的骨组织,避免应力过度集中并引起骨改建。维持、稳定骨组织界面能为种植体提供良好的支持。种植体周围骨组织吸收是影响种植体长期成功的重要因素,为保证正常负载条件下,种植体对周围骨产生的应力传递不致超过骨组织的生理承受限度,种植体骨界面必须有一个良好的应力分布。合理的生物力学环境,可保证种植体周围有一个安全稳定的骨组织界面。其中种植体的长度是一个重要的影响因素^[7]。

Meijer等^[8]用三维有限元分析证明,骨界面应力受种植体长短的影响不大,而主要受下颌骨高度的影响。赖红昌等^[2]及李湘霞等^[9]的三维有限元分析结果也认为骨界面应力受种植体长短的影响不大。但兰泽栋等^[7]和张少峰等^[10]用有限元法研究证实种植体周围骨组织应力的大小与种植体长度成负相关关系。随着种植体长度的增加,界面骨组织

内的应力分布越趋于合理,尤其是较长的种植体在同等力载荷条件下,其颈部及根端部骨界面的应力及位移均较小,在某种程度上增加了支抗种植体-骨界面承受载荷的能力。董福生等^[3]认为:在垂直加载时,种植体的长度对种植体骨界面的应力值无明显影响,而在水平力作用下,对种植体骨界面应力分布是有影响的。而本文的有限元研究结果与文献[7,10]的结果大致相同。从对即刻负载种植体的实验结果来看,不论是垂直加载还是颊舌向加载,种植体长度与种植体骨界面应力及应变的大小基本成负相关关系;但只有长度从6 mm增加到8 mm时,种植体骨界面应力值下降才较明显,特别是颊舌向加载时,这一点与文献[3]的结果相似;而长度从8 mm到14 mm每增加2 mm时,骨界面应力值下降并不很明显,这一点与文献[2,9]的结果相似;骨界面的应变值同样是在种植体长度从6 mm增加到8 mm及从8 mm增加到10 mm时下降最明显。另外,Lum等^[11]研究认为,在水平力作用下,种植体长度超过12 mm后,再增加其长度时,应力降低不明显。这与本文的结果也是基本一致的。此外,Goodacre等^[12]在种植体临床并发症的回顾性研究中发现,种植体的长度与种植的成败密切相关,短的种植体种植失败率较高。Grunder等^[13]在即刻种植研究中发现,短的种植体失败率较高。这些临床观察的结果与本文的有限元研究结果也相吻合。

实验结果表明:种植体长度的增加能降低骨界面应力和应变值,呈负相关关系,但只在长度从6 mm增加到8 mm时骨界面应力值降低才较明显,特别是颊舌向加载时;而长度从8 mm到14 mm每增加2 mm时,骨界面应力值下降才不明显;骨界面的应变值同样是在种植体长度从6 mm增加到8 mm及从8 mm增加到10 mm时下降明显。综上所述,本文的实验结果提示,临床上尽量不要采用长度为6 mm的种植体,并且应适当地选择足够长度的种植体,以提高种植的成功率。

参考文献:

- [1] Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: A review of the literature[J]. J Prosthetic Dent, 2001, 85(6): 585-598.
- [2] 赖红昌,熊焕国,薛森,等.不同长度种植体对骨界面应力影响的三维有限元分析[J].上海口腔医学,1997, 6(1): 20-22.
- [3] 董福生,董玉英,邢汝东,等.种植体长度对骨界面应力分布影响的三维有限元分析[J].中国口腔种植学杂志, 2001, 6(3): 106-108.
- [4] Mellal A, Wiskott HWA, 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.
- [5] 丁熙,朱形好,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.
- [6] 丁熙,朱形好,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.
- [7] 兰泽栋,林珠,龙红月,等.支抗种植体长度对骨界面应力分布的影响[J].中国口腔种植学杂志, 2003, 8(3): 112-115.
- [8] Meijer HJ, Starman FJ, Boman F, et al. Stress distribution around dental implants: influence of superstructure, length of implants, and height of mandible[J]. J Prosthet Dent, 1992, 68(1): 96-100.
- [9] 李湘霞,韩科,卜奎晨等.单个下颌磨牙缺失种植修复体尺寸对骨界面应力分布的影响[J].口腔颌面修复学杂志, 2004, 5(4): 234-236.
- [10] 张少峰,马轩祥,欧阳官,等.种植体长度和直径对种植全口义齿应力的影响[J].实用口腔医学杂志, 1997, 13(3): 199-201.
- [11] Lum LB, Osier JF. Load transfer from endosteal implants to supporting bone: an analysis using statics. Part one: Horizontal loading[J]. J Oral Implantol, 1992, 18(4): 343-353.
- [12] Goodacre CJ, Kan JY, Rungcharassaeng K, et al. Clinical complications of osseointegrated implants[J]. J Prosthet Dent, 1999, 81(5): 537-552.
- [13] Grunder JH. A 3- year prospective multicenter follow-up report on the immediate and delayed- immediate placement of implants. Int J Oral Maxillofac Implants. 1999, 14(2): 210-216.
- [1] Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element a-