

[文章编号] 1000-1182(2008)06-0584-04

# 种植体螺纹位置对应力分布影响的有限元研究

赵静辉, 周延民, 李春艳

(吉林大学口腔医院 种植中心, 吉林 长春 130041)

**[摘要]** 目的 研究集中载荷下, 螺纹不同位置设计对种植体及其周围骨组织应力分布的影响, 探讨种植体表面螺纹分布的优化设计。方法 应用Solidworks 2005 plus自动化软件和Cosmos/works 7.0分析软件比较在垂直和斜向45°载荷下, 螺纹分别位于种植体上1/3(模型A)、中1/3(模型B)、下1/3(模型C)以及遍及整个种植体(模型D)4种情况下种植体-骨界面应力分布状况。结果 模型C颈部皮质骨Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值最低, 但斜向载荷下模型C种植体和松质骨应力显著高于模型A。模型B应力分布明显集中, 垂直载荷下各应力均显著高于其他3种模型。模型A和D应力分布较均匀。应力集中主要出现在种植体颈部、皮质骨上缘与种植体接触处和种植体底部最下一个螺纹。斜向载荷下界面的应力显著高于垂直载荷下应力。结论 螺纹位置影响种植体-骨界面的应力分布, 种植体设计时应谨慎考虑, 斜向载荷在种植修复中应尽可能避免。

**[关键词]** 牙种植体; 螺纹位置; 生物力学; 应力分布; 有限元分析

**[中图分类号]** R318.01 **[文献标识码]** A

**Finite element analysis of the effects of implant thread locations on stress distribution** ZHAO Jing-hui, ZHOU Yan-min, LI Chun-yan. (Dept. of Implant Centre, Stomatological College, Jilin University, Changchun 130041, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the effects of different implant thread locations on stress distribution in implant and bone under concentrated load, and discuss the best design of location of implant thread. **Methods** The stress in implant-bone interface of implants with different thread locations(model A, B, C, D), which were loaded in axial and oblique 45° to axle, were analyzed by Solidworks 2005 plus and Cosmos/works 7.0 software. **Results** The stresses in cervical cortical bone of implant with model C were lower than others. But under oblique load, the stresses of implant and cancellous bone in model C were higher than model A. The stresses distribution of model B was obviously concentrated, and under axial load, all kinds of stresses in this model were higher than others. The stress distribution in model A and D were more even, the stress concentrated more on implant neck, upper part of cortical bone and the lowest thread on implant. The stresses in interface under oblique load were much higher than those under axial load. **Conclusion** The location of thread has effect on stress distribution in implant-bone interface. More attention should be paid to it when we design implants, and we should try to avoid oblique load in implant prosthodontics.

**[Key words]** dental implants; locations of thread; biomechanics; stress distribution; finite element analysis

螺纹种植体相对传统无螺纹种植体而言, 除了种植体植入时螺纹的切削和自攻作用外, 螺纹的机械制锁作用可以增加种植体初期稳定性。同时, 螺纹增加了种植体表面积, 从而增加了种植体与骨整合的面积, 大大提高了种植义齿的成功率及远期效果, 具有无螺纹种植体无可比拟的优势, 成为目前临床主要应用的种植体类型。种植体表面螺纹的设

计影响种植体的生物力学行为, 评价不同种植体的骨整合能力时, 螺纹不可忽视<sup>[1]</sup>。因此, 对螺纹的研究具有重要的意义。本研究采用三维有限元方法分析比较4种不同螺纹分布的种植体及其周围骨组织的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值, 从生物力学角度探讨螺纹分布的最佳设计。

## 1 材料和方法

### 1.1 模型的建立

从正常的人体下颌骨提取原始数据, 根据实验设计建立有限元模型, 在微机上建立一个20 mm×

[收稿日期] 2008-04-30; [修回日期] 2008-07-03

[作者简介] 赵静辉(1977-), 女, 黑龙江人, 主治医师, 博士

[通讯作者] 周延民, Tel: 0431-88796025

8 mm×16 mm的矩形颌骨块,钛合金种植体可垂直于牙槽嵴植入其中,周围是松质骨,上下外表面3 mm为皮质骨。冠修复体外形简化为非解剖式殆面的圆柱体。所有种植体均为直径4.0 mm,长度12.0 mm,螺纹顶角60°,牙高0.5 mm,螺距0.8 mm。螺纹分别位于种植体上1/3(模型A)、中1/3(模型B)、下1/3(模型C)及遍及整个种植体(模型D)。计算机图像处理系统自动划分网格、单元、节点,模型A、B、C、D单元数分别为57 674、65 507、64 909、44 690;节点数分别为80 895、92 121、91 214、62 686。

1.2 材料力学参数

皮质骨、松质骨、钛合金的弹性模量分别为13 700<sup>[2]</sup>、1 370<sup>[3]</sup>、120 000 MPa<sup>[3]</sup>;泊松比分别为0.30<sup>[2]</sup>、0.30<sup>[3]</sup>、0.35 μ<sup>[3]</sup>。

1.3 实验条件的假设

种植体各部件之间以及种植体与上部冠修复体之间设定为完全精确适合,不考虑各部件之间的吻合差异。各组织均为连续、各向同性、均质的线弹性材料,材料为小变形,对模型底部进行约束,骨-种植体界面设定为完全的骨整合,在载荷作用下二者无相对滑动。

1.4 加载条件

采用两种加载方式:1)沿种植体轴向垂直加载;2)与种植体轴线成45°斜向加载,由颊侧指向舌侧。二者均为作用于殆面的集中载荷,加载量为30 N。

1.5 分析方法

本研究采用Solidworks 2005 plus自动化软件建立模型,Cosmos/works 7.0分析软件对结果进行计算分析。沿牙槽骨颊舌向,通过种植体中心纵剖有限元模型,观察各组模型的三维有限元应力分布云图,得出各组模型的应力峰值数据。分析指标:1)垂直、斜向载荷下4种模型应力分布特征;2)种植体、皮质骨、松质骨的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值。

2 结果

在30 N垂直和斜向载荷下,各模型种植体、皮质骨、松质骨的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值见表1、2。各模型应力分布云图见图1~4。

两种载荷下,模型C种植体螺纹设计颈部皮质骨的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值最低,但斜向载荷下模型C种植体和松质骨应力显著高于模型A。模型B应力分布明显集中,垂直载荷下各应力均显著高于其他3种模型,斜向载荷下的Von-Mises应力也高于其他3种模型。模型A和D应力分布相对

较均匀,但是垂直载荷下模型A种植体颈部Von-Mises应力、压应力高于模型C和D组,斜向载荷下模型A种植体和皮质骨Von-Mises应力、压应力稍高于模型D。应力集中主要出现在种植体颈部、皮质骨上缘与种植体接触处和种植体底部最下一个螺纹;斜向载荷下界面的应力显著高于垂直载荷下应力。

表 1 在30 N垂直载荷下,各模型的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值(MPa)

Tab 1 Under 30 N axial load, the biggest Von-Mises stress, tensile stress and compressive stress values in the four models(MPa)

模型	Von-Mises应力	拉应力	压应力
A 种植体	4.902 5	1.024 0	-6.065 1
	皮质骨	3.078 0	1.024 0
	松质骨	2.117 6	0.632 0
B 种植体	13.229 0	13.251 0	-17.178 0
	皮质骨	11.196 0	13.251 0
	松质骨	13.217 0	13.251 0
C 种植体	2.968 0	3.933 1	-3.507 7
	皮质骨	1.288 7	0.261 4
	松质骨	2.968 0	3.933 1
D 种植体	4.021 7	4.611 0	-4.147 5
	皮质骨	3.386 2	0.793 5
	松质骨	3.561 0	4.611 0

表 2 在30 N斜向载荷下,各模型的Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值(MPa)

Tab 2 Under 30 N oblique load, the biggest Von-Mises stress, tensile stress and compressive stress values in the four models(MPa)

模型	Von-Mises应力	拉应力	压应力
A 种植体	14.076 0	6.589 6	-18.653 8
	皮质骨	8.189 9	4.241 2
	松质骨	8.855 4	6.786 7
B 种植体	17.621 0	21.163 0	-18.801 1
	皮质骨	13.541 0	4.808 6
	松质骨	17.242 0	21.163 0
C 种植体	16.359 0	18.658 0	-21.359 0
	皮质骨	4.740 1	2.266 2
	松质骨	16.358 7	18.658 0
D 种植体	13.254 0	15.871 0	-17.051 0
	皮质骨	6.744 7	7.115 8
	松质骨	13.254 0	15.871 0

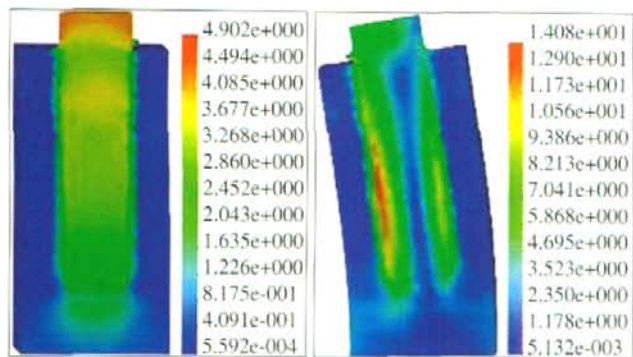


图1 模型A垂直(左)、斜向载荷(右)下Von-Mises应力图  
Fig 1 Under axial(left) and oblique load(right), the Von-Mises distribution of model A

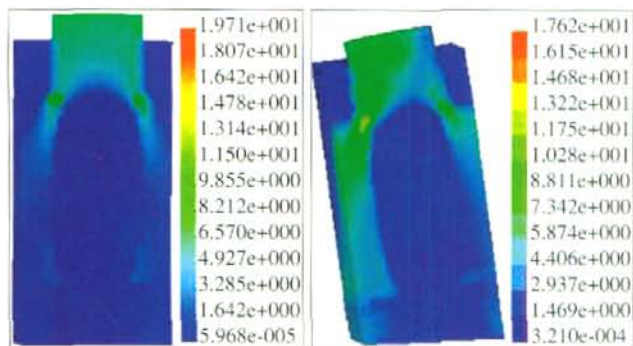


图2 模型B垂直(左)、斜向载荷(右)下Von-Mises应力图  
Fig 2 Under axial(left) and oblique load(right), the Von-Mises distribution of model B

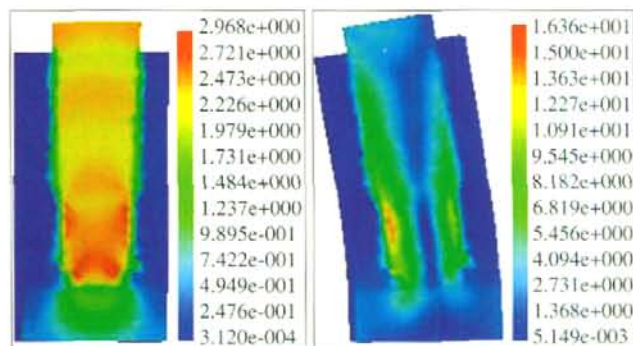


图3 模型C垂直(左)、斜向载荷(右)下Von-Mises应力图  
Fig 3 Under axial(left) and oblique load(right), the Von-Mises distribution of model C

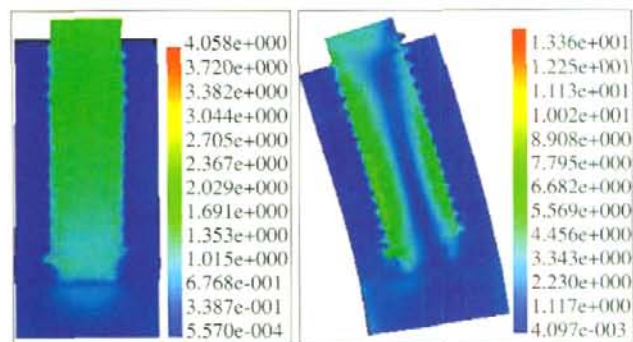


图4 模型D垂直(左)、斜向载荷(右)下Von-Mises应力图  
Fig 4 Under axial(left) and oblique load(right), the Von-Mises distribution of model D

### 3 讨论

有限元是一种与计算机技术相结合的数值分析方法,具有较高的可靠性和准确度,是口腔生物力学领域中的一重要研究手段,已被广泛用于种植义齿的生物力学分析<sup>[4-5]</sup>。本研究有限元模型精细的网格划分、大量的单元和节点数,增加了结果分析的准确性。模型约束平面远离应力分析区,从而避免影响分析结果。研究表明,对种植体近远中4.2 mm的颌骨长度进行有限元分析即可,距离所研究种植体表面4.2 mm以外的单元、节点对应力没有影响<sup>[6]</sup>。由此,本研究只选取局部一块颌骨块建模,简化了复杂的建模步骤,节省了计算时间,突出了研究重点。同时冠修复体外形简化为非解剖式骀面圆柱体。这使得在进行模型单元划分、节点融合及计算分析等步骤时,减少数据丢失。用Solidworks 2005 plus自动化软件建立模型,模型按实物尺寸绘制,螺纹形态逼真,增强结果可靠性。

种植义齿修复时,垂直于骀面的轴向载荷是所有种植外科、修复科医生所期盼的理想状态。但在现实中,由于牙拔除后骨吸收、牙槽骨萎缩,非轴向载荷状况很常见<sup>[7]</sup>。为达到与口腔内情况最逼真的模拟,本研究设计垂直、斜向45°两种方向的载荷,垂直载荷下组织内各应力值较小,应力分布较均匀,同一模型斜向载荷下各组织内应力显著高于垂直载荷,最高可达到垂直载荷下的5~6倍,但模型B这种差异不如其他3种模型显著。垂直载荷下模型C种植体的Von-Mises应力、压应力值最低,表明模型C螺纹承受垂直载荷的能力强,但斜向载荷下种植体、松质骨各项应力值明显高于模型A,而这种高水平的应力对松质骨的骨重建非常不利。

骨整合种植体界面为刚性界面,骀力直接传递到临近骨组织,如果设计不合理,会产生高水平的应力,从而影响骨的生理机能。过大的应力既可引起边缘骨的吸收、丧失,同时在咀嚼过程中又会导致骨的疲劳、微骨折。几何形态是与应力分布相关的一个关键因素,本研究从影响种植体表面形态的螺纹位置入手,优化种植体螺纹分布设计,从而改善界面的生物力学行为,提高种植义齿的远期成功率。Von-Mises应力,又称等效应力,对于韧性材料(如金属)是一个重要参数,它与导致弹性变形的扭曲能量有关,用于界定屈服点,一旦达到屈服点,材料将不具有弹性,产生永久变形<sup>[5]</sup>。本实验研究了种植体及其周围骨组织的应力分布规律及Von-Mises应力、拉应力、压应力峰值,从实验数据可以看出,模型C颈部皮质骨应力均最低,尤其垂直载



荷下。但有学者提出：应力过低与应力过高同样值得注意，应力不能低于生理极限，这种过低的应力是否会造成骨的费用性萎缩还有待于进一步研究<sup>[8]</sup>。模型B各项应力均明显高于其他3种模型，应力主要集中于皮质骨和松质骨交界、螺纹起始处，此种螺纹设计不可取。模型A垂直载荷下种植体颈部Von-Mises应力、压应力高于模型C和D组，斜向载荷下种植体、皮质骨的Von-Mises应力、压应力稍高于模型D。理想的应力分布状况：应力在界面上均匀分布，界面应力值是一条平滑的曲线，各部位应力差值小。综合比较分析，两种载荷下模型A、D应力分布比较均匀。应力集中主要出现在种植体颈部、皮质骨上缘与种植体接触处和种植体底部最下一个螺纹。以往常见的颈部骨边缘性丧失可能与这一区域的高应力集中有关。综合以上分析笔者建议：种植体螺纹设计为全螺纹分布较佳，从中1/3开始对螺纹行截齿处理，向种植体末端移行，牙高逐渐降低，从而减少种植体底部的应力集中。

本研究的定性分析结果表明，螺纹位置影响种植体-骨界面的应力分布，模型A和D应力分布较均匀，表现出可接受的生物力学行为。为了达到对于种植义齿理想的生物力学环境，种植体设计和选择时谨慎考虑螺纹位置与分布十分必要。

#### [参考文献]

- [1] Perényi J, Bene L, Radnai M, et al. Model investigation of push-

out test used for quantitative evaluation of dental implant osseointegration[J]. *Fogorv Sz*, 2002, 95(3):105-111.

- [2] van Zyl PP, Grundling NL, Jooste CH, et al. Three-dimensional finite element model of a human mandible incorporating six osseointegrated implants for stress analysis of mandibular cantilever prostheses[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1995, 10(1):51-57.
- [3] van Rossen IP, Braak LH, de Putter C, et al. Stress-absorbing elements in dental implants[J]. *J Prosthet Dent*, 1990, 64(2):198-205.
- [4] Chun HJ, Cheong SY, Han JH, et al. Evaluation of design parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis[J]. *J Oral Rehabil*, 2002, 29(6):565-574.
- [5] Çağlar A, Aydın C, Ozen J, et al. Effects of mesiodistal inclination of implants on stress distribution in implant-supported fixed prostheses[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2006, 21(1):36-44.
- [6] Teixeira ER, Sato Y, Akagawa Y, et al. A comparative evaluation of mandibular finite element models with different lengths and elements for implant biomechanics[J]. *J Oral Rehabil*, 1998, 25(4):299-303.
- [7] Tepper G, Haas R, Zechner W, et al. Three-dimensional finite element analysis of implant stability in the atrophic posterior maxilla: A mathematical study of the sinus floor augmentation[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2002, 13(6):657-665.
- [8] Rieger MR, Adams WK, Kinzel GL. A finite element survey of eleven endosseous implants[J]. *J Prosthet Dent*, 1990, 63(4):457-465.

(本文编辑 王 晴)

(上接第583页)

- cell cycle phases[J]. *Chin J Biochemistry Molecular Biology*, 2004, 20(3):358-362.
- [12] Thomas G. The S6 kinase signalling pathway in the control of development and growth[J]. *Biol Res*, 2002, 35(3):305-313.
- [13] Shima H, Pende M, Chen Y, et al. Disruption of the p70(s6K)/p85(s6K) gene reveals a small mouse phenotype and a new functional S6 kinase[J]. *EMBO J*, 1998, 17(22):6649-6659.
- [14] 刘 奕, 张 扬, 杨鸣良, 等. mTOR/eIF-4EBP1信号通路在黏液表皮样癌发生中的作用[J]. *临床口腔医学杂志*, 2004, 20(6):325-327.
- LIU Yi, ZHANG Yang, YANG Ming-liang, et al. Effect of mTOR/eIF-4EBP1 signal pathway on mucoepidermoid carcinoma[J]. *J Clin Stomatol*, 2004, 20(6):325-327.
- [15] 刘 奕, 杨鸣良, 张 扬, 等. 哺乳动物的雷帕霉素靶蛋白及其底物在口腔鳞状细胞癌中的表达[J]. *华西口腔医学杂志*, 2004, 22(4):331-333.
- LIU Yi, YANG Ming-liang, ZHANG Yang, et al. The expression of mTOR and its substrates in oral squamous cell carcinoma[J]. *West China J Stomatol*, 2004, 22(4):331-333.

- [16] 刘 奕, 包 扬, 赵震锦, 等. mTOR/P70 S6激酶信号通路在腮腺腺癌发生中的作用[J]. *中国医科大学学报*, 2004, 33(3):229-231.
- LIU Yi, BAO Yang, ZHAO Zhen-jin, et al. Effect of mTOR/P70 S6 kinase signal pathway on parotid adenocarcinoma[J]. *J Chin Med Univ*, 2004, 33(3):229-231.
- [17] Liu Y, Hidayat S, Su WH, et al. Expression and activity of mTOR and its substrates in different cell cycle phases and in oral squamous cell carcinomas of different malignant grade[J]. *Cell Biochem Funct*, 2007, 25(1):45-53.
- [18] Sawada M, Shimizu N. Stimulation of bone formation in the expanding mid-palatal suture by transforming growth factor-beta 1 in the rat[J]. *Eur J Orthod*, 1996, 18(2):169-179.
- [19] Pavlin D, Goldman ES, Gluhak-Heinrich J, et al. Orthodontically stressed periodontium of transgenic mouse as a model for studying mechanical response in bone: The effect on the number of osteoblasts[J]. *Clin Orthod Res*, 2000, 3(3):55-66.

(本文编辑 王 晴)