

[文章编号] 1000-1182(2011)02-0121-04

种植牙即刻负重的生物力学的三维有限元分析

韩雪莲 刘宗伟 李岩涛

(山东省日照市中医医院 口腔科, 日照 276800)

[摘要] 目的 用三维有限元的方法分析牙种植体不同角度即刻负重的骨界面应力分布规律。方法 选成人无牙下颌骨进行薄层螺旋CT扫描, 将扫描图像导入通用外科手术集成系统, 建立下颌骨三维网格模型。模拟标准的螺纹实心种植体, 建立种植体-下颌骨即刻负重的三维有限元模型。以150 N的力轴向加载和分别10°、20°、30°侧向加载, 应用ANSYS 10.0分析软件分析种植体骨界面的Von Mises应力及应变。结果 成功地建立了一种即刻角度负重的种植体有限元模型; 三维有限元分析结果显示: 轴向加载时骨界面的Von Mises应力集中于颈部骨皮质, 应变分布均匀, 以颈部骨皮质、底部骨松质及螺纹接触部位的松质骨较为集中; 侧向不同角度加载时骨界面的Von Mises应力也集中于颈部骨皮质, 但最大值是垂直加载时的4倍, 应变分布不均匀, 主要集中于颈部骨皮质; 随着加载角度的增加, 应力、应变值也增加。结论 即刻轴向负重时, 种植体周围骨质应力及应变无明显集中, 分布均匀, 侧向负重时应力、应变明显增大, 分布不均匀。

[关键词] 即刻负重; 牙种植体; 应力; 应变; 三维有限元

[中图分类号] R 783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2011.02.003

Three dimensional finite element analysis of biomechanical distribution of dental implants with immediate loading HAN Xue-lian, LIU Zong-wei, LI Yan-tao. (Dept. of Stomatology, Rizhao Hospital of Traditional Chinese Medicine in Shandong Province, Rizhao 276800, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the stress distribution of bone around the dental implants with lateral immediate loading of different angles by three dimensional finite element. **Methods** An adult edentulous mandible was adopted for CT scanning. The CT image was imported to universal surgical integration system to establish a mandible three dimensional mesh model. The real shape of standard thread implant was simulated and the finite element model of mandible with dental implants for immediate loading was established. The models were immediately loaded with 150 N through the angle of 0°, 10°, 20°, 30°. The ANSYS 10.0 was used to analyze the Von Mises stress on the bone around dental implants. **Results** The accurate finite element model of mandible with dental implants for immediate loading was successfully established. The three dimensional finite element analytical results showed: Under axial load, the Von Mises stress of bone contact surface concentrated on the cortical bone of the implant cervix. The strain distribution was even, and centralized at the cortical bone of the implant cervix, cancellous bone of implant bottom and thread contact area. Under different lateral angle load, the Von Mises stress of bone contact surface also concentrated on the cortical bone of the implant cervix, but the maximum value was 4 times of the vertical loading, the strain distributed unevenly, mainly concentrated on the cortical bone of the implant cervix. With the load angle increased, the stress and the strain value also increased. **Conclusion** When an axial force was immediately loaded, the stress value and the strain concentration value of bone interface around the dental implants are not apparently concentrated, the stress is distributed well. While a lateral force is loaded, the stress values and the strain concentration values of bone interface around the dental implants apparently increase and the strain are distributed unevenly.

[Key words] immediate loading; dental implant; stress; strain; three dimensional finite element

在正常咀嚼过程中, 由于种植部位、上下颌接触关系、各牙体长轴与殆平面角度不同所引起的种

植角度不同等因素的影响, 即刻负重的种植义齿在种植体即刻负重后会受到不同角度的应力, 几乎不可能严格按照绝对的牙体长轴方向施加载荷。而这种由不同角度引起的应力是如何分布的, 这种分布对种植体影响如何以及影响的程度如何, 国内外对

[收稿日期] 2010-08-30; [修回日期] 2010-12-10

[作者简介] 韩雪莲(1972—), 女, 山东人, 主治医师, 硕士

[通讯作者] 刘宗伟, Tel: 0633-8290861

此报道的文献较少。本研究采用三维有限元分析的方法对种植体进行不同角度即刻负重以模拟种植体植入口腔后所受角度应力，并分析生物力学的应力分布，探讨即刻负重后应力的分布规律。

1 材料和方法

1.1 即刻负重牙种植体三维有限元模型的建立和处理

选择一成人无牙下颌骨，采用薄层螺旋CT机 (MS2000型, Marconi公司, 美国)对下颌骨进行连续平行扫描，将CT扫描的图像数据以DICOM3.0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“非种子区域分割方法”最终生成下颌骨三维网格模型。模拟标准的螺纹实心种植体，直径3.3 mm，长度12 mm，螺纹深度0.35 mm，螺距1.25 mm；上部结构模拟高度5.50 mm、直径3.50 mm、锥度为6°的实基台，其实体模型在USIS中造型。把种植体的有限元模型复制到种植区并调整好其位置，采用前推网格划分(advancing front)方法填充空隙部分，建立最终的种植体-下颌骨三维有限元模型。根据文献[1]，将接触区的摩擦系数设置为0.3，模拟即刻负重情况。建立模型的单元结点数同含骨结合式种植体的下颌骨的有限元模型。各种材料力学参数^[2-3]见表1。

表 1 下颌骨有限元模型有关材料的力学参数
Tab 1 Elastic properties ascribed to materials in mandible finite element model

材料	弹性模量/MPa	泊松比
皮质骨	13 700	0.3
松质骨	1 370	0.3
纯钛	103 400	0.35
基台	103 400	0.35

1.2 实验条件假设及骨界面载荷条件

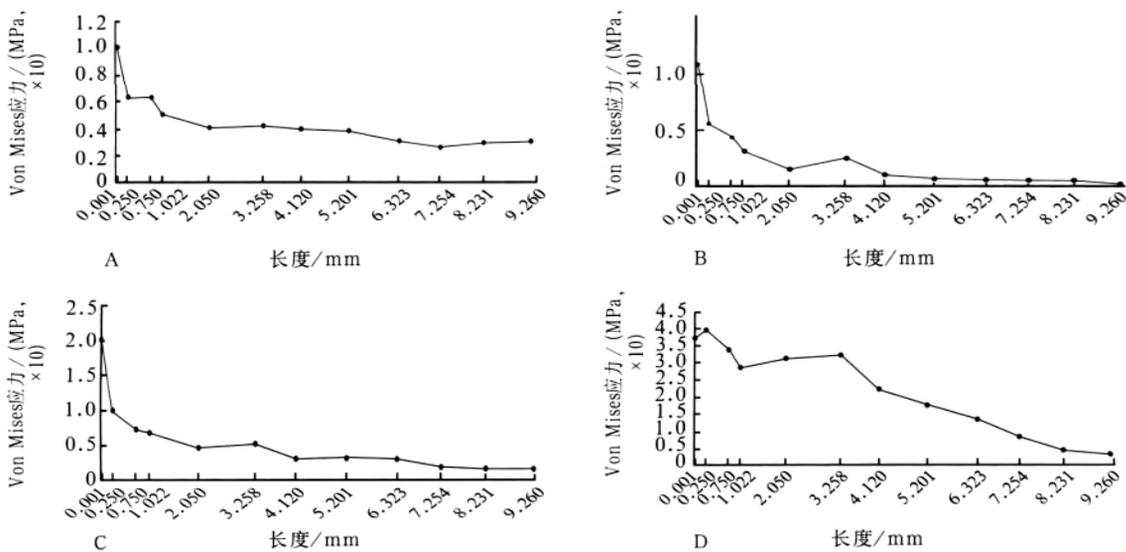
将模型中各材料和组织考虑为均质、连续、线性、各向同性线弹性材料，材料变形为小变形，将髁突前斜面、咬肌、翼内肌、翼外肌、颞肌附着区域予以刚性约束，种植体基台分散负重，以150 N的力轴向加载和分别10°、20°、30°侧向加载。

1.3 有限元力学计算分析

采用大型通用有限元分析软件ANSYS 10.0进行生物力学有限元计算。采用Von Mises应力作为衡量应力水平的主要指标。按照网格化种植体各取一轴线，在计算机上依次选取节点，通过程序处理形成骨界面Von Mises应力分布曲线。

2 结果

2.1 不同负重情况下骨界面的Von Mises应力分布
不同负重情况下骨界面的Von Mises应力分布曲线见图1。



A: 轴向负重; B: 10°侧向负重; C: 20°侧向负重; D: 30°侧向负重。

图 1 不同负重情况下骨界面的Von Mises应力分布曲线

Fig 1 The distribution curve of Von Mises stress in bone interface under different loading cases

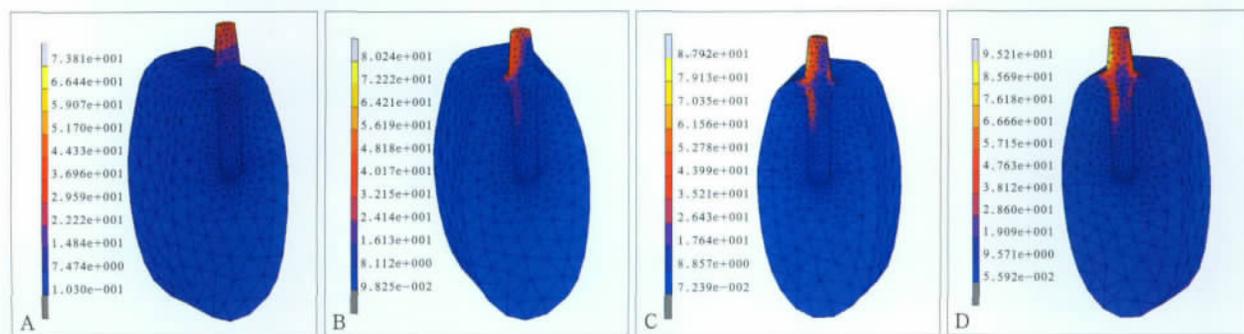
从图1中可见，种植体轴向负重时骨界面最大应力为10.08 MPa，应力集中区在颈部，而种植体中部和根尖区应力逐渐减小，中部为4.49 MPa，根尖部最小，约为2.98 MPa；种植体10°侧向负重时，颈

1/3落差较大，根中以下走势缓慢；种植体20°侧向负重时颈1/3落差较大，根中以下走势相对缓慢，最大应力约为轴向负重的2倍；种植体30°侧向负重时，颈部应力最为集中，最大应力为44.01 MPa。

2.2 颌骨内种植体断面的应力分布

不同负重情况下的种植体断面应力分布见图2。从图2可见，随着侧向受力角度的加大，种植体上

红色的区域明显增大，即颌骨内种植体骨界面所受的应力越来越大。



A: 轴向负重; B: 10°侧向负重; C: 20°侧向负重; D: 30°侧向负重。

图2 不同负重情况下的种植体断面应力分布

Fig 2 The stress distribution of implant body section under different loading cases

2.3 骨界面应力值

采用在种植体界面取点的方法成功地建立了一种包含真实螺纹形态的牙种植体即刻角度负重的种植体有限元模型。在有限元模型中表现为：加载力作用下，种植体表面所定义节点与对应骨面节点之间在三维方向上相对位移。三维有限元分析结果显示：轴向加载时骨界面的Von Mises应力集中于颈部骨皮质，应变分布均匀，以颈部骨皮质、底部骨松质及螺纹接触部位的松质骨较为集中；侧向不同角度加载时骨界面的Von Mises应力也集中于颈部骨皮质，但最大值是垂直加载时的4倍，应变分布不均匀，主要集中于颈部骨皮质；随着加载角度的增加，应力、应变值也增加。总的应力分布是颈部大于根端，根端大于根侧缘，以松质骨部最小。

3 讨论

近几年，随着各种新技术的开展，如植骨术、骨劈开术等，种植的临床技术水平有了很大的提高，即刻种植即刻负重技术也日趋成熟。即刻负重的种植体能否获得良好的初期稳定性，是广大医生和患者共同关注的焦点。影响种植体成功的因素很多，包括种植体的选择、牙种植体的植入方向、种植牙受力的角度、种植体-组织界面、种植体-基台界面等因素。为此，本研究采用有限元方法分析即刻负重的种植体受到何种方向和角度的侧向力能获得长期的成功率。

即刻负重的种植体应尽量获取较大的种植体-骨组织接触面积，以保证良好的初期稳定性。临床上一般选择根形螺纹种植体，因为此种类型的种植体抗垂直向力和抗剪切力较强。另外，种植体的初期骨结合与种植体的表面特征相关^[4]，粗糙表面比

光滑表面与骨的结合更牢固。在本研究中所建立的种植体模型就是模拟标准的螺纹实心种植体建立的三维有限元模型。

种植牙受力角度不同，其骨界面应力分布也不同。本研究应用三维有限元法分析即刻负重种植体的骨界面的应力分布，总体应力分布是颈部大于根端，根端大于根侧缘，以松质骨部最小。但由于受力角度的差异，轴向负重与侧向负重的种植体-骨界面的应力分布是有很大的差异的。压应力从轴向负重向水平负重变化的过程中，随着受力角度的增加最大压应力在钝角侧颈周皮质骨内明显增加。三维有限元结果可见：最大拉应力从轴向负重随角度增加而增加。三维有限元结果可见：颌骨内种植体骨界面所受的应力越来越大。从颈部骨界面位移上看，以轴向负重时最小，随着角度的增加而增加。以上结果表明：侧向负重随受力角度的增加，颈部应力随之增加，受力角度越大应力越大。侧向负重主要影响颈部的应力分布，角度越大危害越大，越容易导致种植体颈周骨吸收，越容易导致种植体失败。

侧向负重与轴向负重比较，虽说侧向负重可以减少根部的骨内应力，但增加了颈部的骨内应力。三维有限元分析结果示：30°侧向负重时，颈部的骨内应力已快增加到轴向时的4倍，因此，在临床种植时，应尽可能减小种植牙与骨间的角度，也要尽可能地减小到15°以内，以避免颈部的应力集中^[5]。

种植体-骨界面是影响种植义齿成功的关键界面之一，目前公认的成功牙种植体-骨界面是骨性结合界面，本研究采用先进的建模软件建立了包含真实螺纹形态的牙种植体即刻负重的三维有限元模型。螺纹型牙种植体即刻负重有限元模型的一个重要特征，是种植体相对于周围骨质发生的相对位

移,在种植体受到载荷时,骨质和种植体在三维方向上都发生了位移,因此,比较三维方向上的微动变化更能反映即刻负重的特征。在有限元模型中表现为:加载力作用下,种植体表面所定义节点与对应骨面节点之间在三维方向上相对位移,本研究就模拟了种植体即刻负重后骨界面的真实界面情况。

本研究结果显示:种植牙受力角度的加大,主要加重了种植牙颈周皮质骨内的应力,角度越大,应力就越大。许多临床应用研究^[6-10]结果证实:非轴向角度即刻负重种植牙颈周骨质的吸收是明显的。本研究结果与临床观察结果是一致的。

这一研究结果提示,在种植外科及种植修复牙时,尤其是即刻种植即刻负重的种植牙,更应注意种植牙和基桩的角度,尽量避免受到侧向力,特别是颊舌向的侧向力;同时临床上种植牙即刻修复时只允许正中殆接触,而不能有前伸殆和侧方殆接触,以保证种植义齿的成功率,否则,将会加快种植义齿颈周骨的吸收,缩短种植牙的寿命,影响种植义齿的成功率。

[参考文献]

[1] 李香霞,韩科,卜奎星,等.下颌骨形态对种植体-骨界面应力分布影响的研究[J].中华口腔医学杂志,2002,37(6):428-430.
LI Xiang-xia, HAN Ke, BU Kui-xing, et al. The study of mandible bone shape on biomechanical distribution on implant-bone interface[J]. Chin J Stomatol, 2002, 37(6):428-430.

[2] 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.

[3] Karlsson H. ABAQUS/Standard有限元软件入门指南[M]. 庄茁,译.北京:清华大学出版社,1998:15-19.
Karlsson H. The finite element software portal guide of ABAQUS/Standard[M]. Translated by ZHUANG Zhuo. Beijing: Tsinghua University Press, 1998:15-19.

[4] Vandamme K, Naert I, Geris L, et al. The effect of micromotion on the tissue response around immediately loaded roughened titanium implants in the rabbit[J]. Eur J Oral Sci, 2007, 115(1):21-29.

[5] 邹敬才,唐文杰,肖光裕,等.种植牙受力角度对骨界面应力分布的影响[J].口腔医学,1996,16(2):67-68.
ZOU Jing-cai, TANG Wen-jie, XIAO Guang-yu, et al. Influence of loading angle on biomechanical distribution on implant-bone interface[J]. Stomatology, 1996, 16(2):67-68.

[6] de Wijs FL, Cune MS, van Rossen IP, et al. Delayed implants in the anterior maxilla with the IMZ-implant system: A radiographical evaluation[J]. J Oral Rehabil, 1995, 22(11):797-802.

[7] Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, et al. The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 1986, 1(1):11-25.

[8] Lindquist LW, Rockler B, Carlsson GE. Bone resorption around fixtures in edentulous patients treated with mandibular fixed tissue-integrated prostheses[J]. J Prosthet Dent, 1988, 59(1):59-63.

[9] Meijer HJ, Steen WH, Bosman F. Standardized radiographs of the alveolar crest around implants in the mandible[J]. J Prosthet Dent, 1992, 68(2):318-321.

[10] Nasr HF, Meffert RM. A proposed radiographic index for assessment of the current status of osseointegration[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 1993, 8(3):323-328.

(本文编辑 李彩)

(上接第 120 页)

发展。这一结果有待在临床长期观察中验证。

[参考文献]

[1] Palamara JE, Palamara D, Messer HH, et al. Tooth morphology and characteristics of non-carious cervical lesions[J]. J Dent, 2006, 34(3):185-194.

[2] Borcic J, Anic I, Smojver I, et al. 3D finite element model and cervical lesion formation in normal occlusion and in malocclusion[J]. J Oral Rehabil, 2005, 32(7):504-510.

[3] 王慧芸.我国人牙的测量和统计[J].中华口腔科杂志,1959,7(3):149-155.
WANG Hui-yun. Measurement and statistics of tooth in Chinese people[J]. Chin J Stomatol, 1959, 7(3):149-155.

[4] Lindhe J, Karring T, Araujo M. Clinical periodontology and implant dentistry[M]. 4th ed. Denmark: Blackwell Munksgaard, 2003:27-43.

[5] Rees JS, Hammadeh M. Undermining of enamel as a mechanism of abfraction lesion formation: A finite element study[J]. Eur J Oral Sci, 2004, 112(4):347-352.

[6] Rees JS, Jacobsen PH. Modelling the effects of enamel anisotropy with the finite element method[J]. J Oral Rehabil, 1995, 22(6):451-454.

[7] Rees JS, Jacobsen PH. Elastic modulus of the periodontal ligament[J]. Biomaterials, 1997, 18(14):995-999.

[8] De Las Casas EB, Cornacchia TP, Gouvêa PH, et al. Abfraction and anisotropy—effects of prism orientation on stress distribution [J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2003, 6(1):65-73.

[9] Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW Jr, et al. Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale[J]. Arch Oral Biol, 2001, 46(2):173-183.

[10] Dejak B, Mlotkowski A, Romanowicz M. Finite element analysis of mechanism of cervical lesion formation in simulated molars during mastication and parafunction[J]. J Prosthet Dent, 2005, 94(6):520-529.

[11] Tanaka M, Naito T, Yokota M, et al. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force[J]. J Oral Rehabil, 2003, 30(1):60-67.

(本文编辑 胡兴戎)