

[文章编号] 1000-1182(2008)01-0019-04

## 埋伏牙牙周应力分布的三维有限元分析

张君<sup>1</sup>, 王旭霞<sup>1</sup>, 马士良<sup>2</sup>, 步捷<sup>1</sup>, 任旭升<sup>1</sup>

(1.山东大学口腔医院 正畸科, 山东 济南 250012; 2.滨州医学院口腔系 正畸教研室, 山东 滨州 256603)

**[摘要]** 目的 通过建立埋伏牙的三维有限元模型, 分析不同加载力下埋伏牙的牙周应力, 从而为临床上正畸牵引治疗埋伏牙提供基础实验依据。方法 选取实验模型, 进行双螺旋CT扫描, 应用Ansys软件建立埋伏牙的三维有限元模型, 在建立的埋伏牙三维有限元模型上添加牙周膜模型。对建立的三维有限元模型进行3种工况下的力学加载, 分别计算其牙周应力的分布情况。结果 加载1即加载力方向与牙体长轴一致时, 埋伏牙牙周应力区间较小, 最大应力值较小, 应力分布比较平均。加载3即加载力方向与牙体长轴垂直时, 埋伏牙牙周应力区间较大, 最大应力值较大, 但应力分布集中于加载指向的一侧。加载2即加载力方向与牙体长轴成45°角时, 埋伏牙牙周应力区间和最大应力值中等, 牙周应力分布居于二者之间。结论 牵引力的方向与牙体长轴一致时, 埋伏牙的最大牙周应力较小, 分布比较平均, 有利于埋伏牙的牵引萌出。牵引力方向与牙体长轴成一定角度时, 随着角度的增大, 最大牙周应力变大, 分布更加集中, 不利于埋伏牙的牵引萌出。临床上应根据实际情况选择牵引力的方向, 以使埋伏牙最终达到其正常位置。如牵引力方向与牙体长轴成角较大时, 应当适当增加支抗来抵抗较大的牵引力。

**[关键词]** 埋伏牙; 三维有限元; 牙周应力分析

**[中图分类号]** R318.01 **[文献标识码]** A

3-dimensional finite element analysis of periodontal stress distribution when impacted teeth are tracted  
ZHANG Jun<sup>1</sup>, WANG Xu-xia<sup>1</sup>, MA Shi-liang<sup>2</sup>, BU Jie<sup>1</sup>, REN Xu-sheng<sup>1</sup>. (1. Dept. of Orthodontics, School of Stomatology, Shandong University, Jinan 250012, China; 2. Dept. of Orthodontics, School of Stomatology, Binzhou Medical College, Binzhou 256603, China)

**[Abstract]** Objective To analyze stress around the impacted tooth by constituting a 3-dimensional finite element model of impacted tooth, consequently offer reference basis for clinic traction treatment. Methods The 3-dimensional finite element model of the impacted tooth was constituted by CT scan, append pericementum and alveolar bone model was used to constitute impacted model. 3 forces were loaded to 3-dimensional finite element model and the periodontal stress of impacted tooth was calculated. Results When force 1 was loaded to the model, the maximum stress was smaller, but the stress distribution was more average. When force 3 was loaded to the model, the maximum stress was larger, but the stress concentrated at the side of the force. When force 2 was loaded to the model, the stress distribution was medium. Conclusion When the direction of the force is in line with the central axis, the maximum stress is smaller, and the stress distribution is more average, while this has advantage to the eruption of the impacted tooth. When the direction of the force has angle with the central axis of the impacted tooth, the angle is larger, the maximum stress is larger and the stress distribution is more concentrate, and this goes against the eruption of the impacted tooth. The angle between the orientation of the traction and central axis of the impacted tooth is smaller, there are more advantages to the eruption of the impacted tooth. So the angle should be properly selected in order to make sure of the eruption of the impacted tooth. When the angle is quite large, more anchorage is needed to resist to the large force.

**[Key words]** impacted tooth; 3-dimensional finite element; periodontal stress analysis

恒牙的埋伏阻生是口腔科常见的错畸形之一,

它不仅影响颜面美观, 还会引起口腔功能障碍, 对发育期患者还会影响正常的生长发育。埋伏牙如不加以治疗, 可能引起许多并发症, 如牙畸形、邻牙牙根吸收、全口义齿或可摘义齿戴牙后疼痛、鼻中隔囊肿、鼻旁皮瘻、上颌窦瘻、含牙囊肿、三叉

[收稿日期] 2007-08-30; [修回日期] 2007-12-10

[基金项目] 山东省科学技术发展计划基金资助项目(2006GG2202031); 山东省东营市科技局科学技术发展计划基金资助项目(2006-24)

[作者简介] 张君(1962-), 男, 山东人, 副教授, 学士

[通讯作者] 王旭霞, Tel: 0531-88382840

神经痛、开口困难及面瘫等<sup>[1-5]</sup>。现在对埋伏牙的治疗方法主要有3种,即导萌法、正畸牵引法和拔除法,其中比较常用的保留牙齿的治疗方法是正畸牵引法。正畸牵引法首先是通过外科开窗暴露埋伏牙冠,然后粘接牵引装置,在牵引装置和固定矫治器之间加力,利用牵引力产生的骨改建而助其萌出<sup>[6]</sup>。现在国内外的研究者对埋伏牙的研究多集中在对埋伏牙的诊断和治疗上,对正畸牵引过程中牙齿移动的生物力学机制认识并不太清楚。无法确切了解在外载荷作用下牙齿、牙周膜及牙槽骨等组织的生物力学机制。对埋伏牙的正畸治疗仍依赖于经验,很难准确预测在治疗过程中,不同力值和方向加载后埋伏牙的位移方式、位移量以及牙周组织的改变等情况。这就大大降低了对埋伏牙正畸牵引治疗的可控性,延长了治疗时间,增加了患者的痛苦和治疗的难度,从而降低正畸牵引治疗埋伏牙的成功率。随着计算机技术的发展,口腔正畸学者希望通过有限元方法确定牙齿移动的生物力学机制。本研究选择CT断层图像法建立埋伏牙的三维有限元模型,通过模拟分析不同加载情况下埋伏牙的牙周应力状况,为埋伏牙的临床诊断、矫治计划的制定及治疗评价等方面提供基础实验依据。

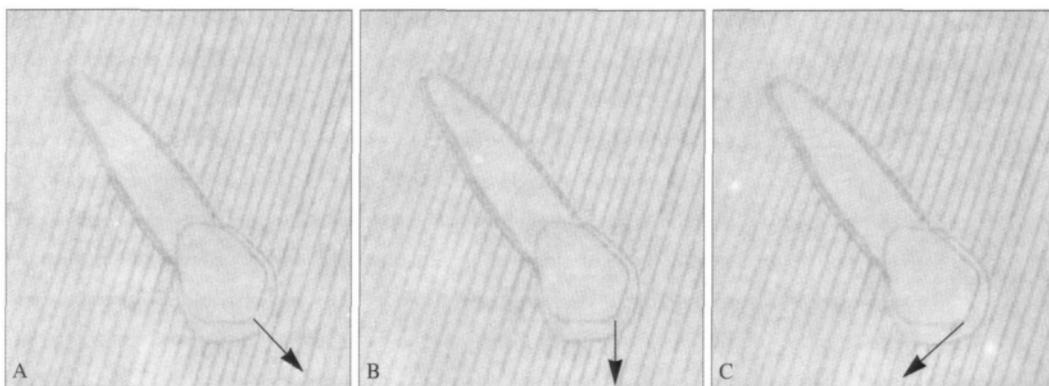
### 1 材料和方法

在山东大学口腔医院正畸科患者中选取1个埋伏牙患者作为测试对象,患者为男性,17岁,<sup>3</sup>—埋伏,腭向阻生,全口曲面断层片见图1。通过双螺旋CT以层厚0.75 mm、层间距0.75 mm对患者头部

进行连续横断扫描,获得埋伏尖牙横截面解剖形态的原始数据,按牙周膜0.25 mm的平均厚度建立包含牙、牙周膜、牙槽骨的三维有限元模型。在此基础上选取3种典型工况对埋伏牙进行牵引力的加载,其中加载1即力的方向沿着牙体长轴,加载2即力的方向与牙体长轴成45°,加载3即力的方向与牙体长轴垂直(图2)。本实验设定的载荷为恒定载荷,载荷为点加载,加载部位为尖牙牙尖节点,载荷为1.5 N。应用Ansys软件的力学分析功能对加载后的三维有限元模型进行分析。施加在埋伏牙上的牵引力必须通过牙周膜的作用才能使其萌出,牙周膜受到的应力在比较平均的情况下更有利于埋伏牙的牵引。正畸力平均分布于牙周膜时,即牙周膜各处受到的压力或拉力比较平均时,对正畸力的反应最好,正畸牵引的效果最好。牙周膜最大和最小等效应力、牙周膜最大和最小第一主应力能够反映出在加载力的作用下整个牙周膜的应力分布情况。因此,本研究测定的是3种工况下牙周膜最大和最小等效应力、最大和最小第一主应力的分布情况。



图1 患者的曲面断层片



A: 加载力1; B: 加载力2; C: 加载力3

图2 3种加载力的方向

Fig 2 Directions of three different forces

本研究所涉及材料的力学参数<sup>[7-9]</sup>为:牙本质、牙周膜、皮质骨、松质骨的弹性模量分别为18 600、69、13 700、1 370 MPa;泊松比分别为0.31、0.45、0.30、0.30。本实验边界约束条件为牙槽骨的周围完全固定。实验假设条件为将模型各组成材料视为

连续、均质、各向同性的线弹性材料,且符合小变形条件。各假设具体如下:1)均匀连续性假设:物体的力学性质在各处都完全一样,且构成的物质无间隙地充满了物体的整个几何空间。2)各向同性假设:物体在各个方向具有相同的力学性质。3)变形

为小变形假设：物体在受到载荷时，物体的变形为小变形，即弹性变形，载荷卸出后，物体又恢复到原始状态。

## 2 结果

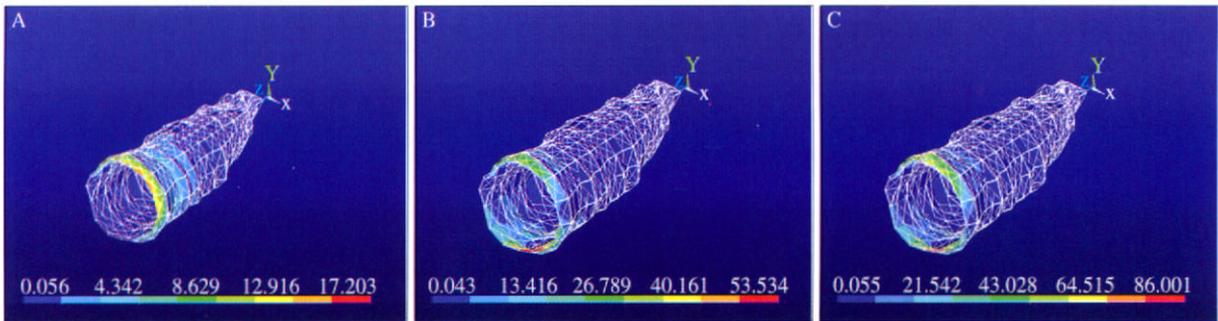
应用Ansys软件的力学分析功能对加载后的三维有限元模型进行分析，不同工况下埋伏牙牙周膜等效应力的分布情况见表1，3种工况的最小等效应力相差不大，最大等效应力依次增大。不同工况下埋伏牙牙周膜等效应力分布图见图3，由图3可见加载1埋伏牙等效应力分布比较平均，加载3埋伏牙等效

应力分布比较集中于加载指向的一侧，加载2埋伏牙等效应力分布居于二者之间。

表 1 3种工况下牙周膜等效应力和第一主应力的分布 ( Pa)

Tab 1 Equivalent stress and the maximum stress distribution of periodontal on three different force ( Pa)

工况	等效应力		第一主应力	
	最小	最大	最小	最大
加载1	5.566 2	1 934.6	- 0.390 1	1 925.8
加载2	4.308 5	6 022.0	- 52.167 2	6 021.4
加载3	5.534 8	9 674.4	- 95.210 0	8 232.5



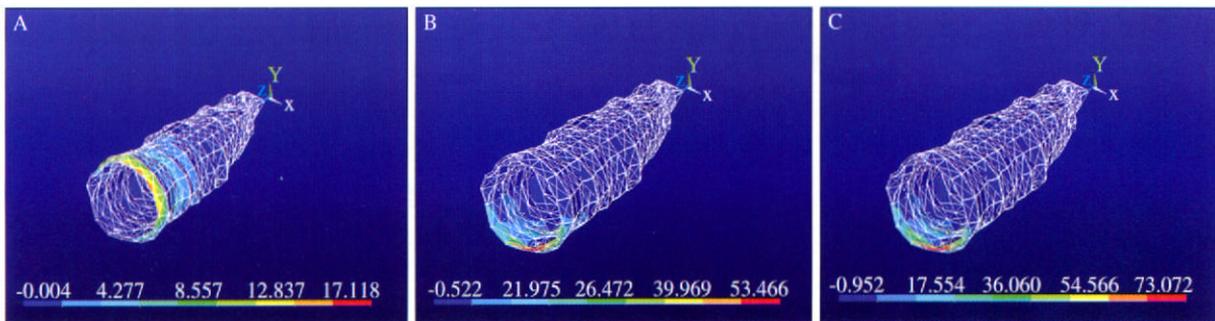
A: 加载1; B: 加载2; C: 加载3

图 3 3种工况下埋伏牙牙周膜等效应力云图

Fig 3 Equivalent stress distribution cloud of periodontal on three different forces

不同工况下埋伏牙牙周膜第一主应力分布情况见表1，3种工况的最小第一主应力依次减小，最大第一主应力依次增大。不同工况下埋伏牙牙周膜第一主应力分布图见图4，由图4可见加载1埋伏牙第

一主应力分布比较平均，加载3埋伏牙第一主应力分布比较集中于加载指向的一侧，加载2埋伏牙第一主应力分布居于二者之间。



A: 加载1; B: 加载2; C: 加载3

图 4 3种工况下埋伏牙牙周膜第一主应力云图

Fig 4 The maximum stress distribution cloud of periodontal on three different forces

## 3 讨论

埋伏牙是口腔科常见病之一，对患者颌面功能和美观都有很大影响，必须进行正确诊断和及时治疗。而研究牵引埋伏牙的生物力学机制可以为正畸临床治疗提供基础实验依据。有限元分析研究的发展为研究埋伏牙的生物力学提供了可能。对埋伏牙有限元研究的关键是建立埋伏牙的三维有限元模

型，根据对各种模型建立方法优缺点的比较，选择CT断层图像法建立埋伏牙的三维有限元模型，并分析了不同加载情况下埋伏牙的牙周应力状况。

本研究采用逆向建模方法<sup>[10]</sup>，即将已有的埋伏牙患者模型通过CT扫描获得实体信息，然后充分利用通用的大型有限元分析Ansys软件对CT扫描图像的轮廓线取坐标值，从而得到埋伏牙的三维实体模型。由于牙体是多材质组合组织，CT扫描可使牙

髓、牙本质、釉质等不同区域的密度变化显示出来,能够将牙周膜区域运用构体方法建模后和牙齿整体模型进行布尔操作,从而得到高仿真性完整的三维实体模型。本研究所建立的埋伏牙的三维有限元模型可模拟牙体结构材质的特点,具有空间结构及解剖形态良好的相似性,测量准确度高,单元划分精细,模型可任意旋转观察、切割及调整,重复使用性好。所获得的信息便于牙体力学参数的应用,其模型不但可以进行模拟牵引力加载,分析牙周应力分布模式的改变,还可以应用于模拟临床各种牵引力作用下的生物力学分析。

以往人们对正畸力(包括牵引力)的生物力学研究多集中于力值的大小,但正畸移动牙齿都是通过牙周膜对骨质改建完成的。牙周膜对正畸力的反应是正畸力能否达到目的的关键。同样大小的正畸力,如果力的方向不同,力值在牙周膜上的分布就不同,牙周膜对正畸力的反应就不同。正畸力平均分布于牙周膜时,即牙周膜受到的压力或拉力比较平均时,对正畸力的反应最好,正畸的效果最好。埋伏牙作为埋伏于颌骨内的牙齿,埋伏牙上的力必须通过牙周膜的作用才能使其萌出,牙周膜在受到应力平均的情况下更有利于埋伏牙的牵引。

通过本研究的力学加载实验发现,加载1即加载力方向与牙体长轴一致时,埋伏牙牙周应力区间(牙周膜最大和最小应力值所确定的区间)较小,最大应力值较小,但应力分布比较平均。加载3即加载力方向与牙体长轴垂直时,埋伏牙牙周应力区间较大,最大应力值较大,但应力分布集中于加载指向的一侧。加载2牙周应力分布情况居于二者之间。由此可知,牵引力的方向与牙体长轴一致时,埋伏牙的最大牙周应力适中,分布比较平均,有利于埋伏牙的牵引萌出。牵引力方向与牙体长轴成一定角度时,随着角度的增大,最大牙周应力变大,牙周应力分布集中于一侧,不利于埋伏牙的牵引萌出。牵引力方向与牙体长轴所成的角度较小时,有利于埋伏牙的牵引萌出;牵引力方向与牙体长轴所成的角度较大时,不利于埋伏牙的牵引萌出。因此在临床上牵引治疗埋伏牙时,在其他条件允许的情况下,选择牵引力与牙体长轴所成角度较小的方向牵引,有利于埋伏牙的牵引治疗。临床上应根据实际情况选择牵引力方向,以使埋伏阻生牙最终达到其正常位置。如牵引力方向与牙体长轴成角较大时,应适当增加支抗来抵抗较大的牵引力。

综上所述,本实验成功建立了埋伏牙的三维有

限元模型,分析了不同加载力下埋伏牙的牙周应力,从而为临床上正畸牵引治疗埋伏牙提供了基础实验依据。

### [参考文献]

- [1] 熊曦州, 李晓红. 下颌前磨牙区埋伏牙导致全口义齿戴牙后疼痛1例[J]. 广东牙病防治, 2005, 13(1) :67.  
XIONG Xi-zhou, LI Xiao-hong. Pain with complete denture caused by impacted mandible premolar: Case report[J]. J Dent Prevent Treat, 2005, 13(1) :67.
- [2] 段守英. 埋伏牙致可摘局部义齿戴后疼痛1例[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2002, 3(3) :179.  
DUAN Shou-ying. Pain with removable partial denture caused by impacted tooth : Case report[J]. Chin J Prosthodont, 2002, 3(3) : 179.
- [3] 姜彪南, 项晋昆, 屈双燕, 等. 鼻中隔埋伏牙致鼻中隔脓肿一例[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2005, 40(6) :457.  
JIANG Ai-nan, XU Jin-kun, QU Shuang-yan, et al. Nasal septum abscess caused by impacted tooth in nasal septum : Case report[J]. Chin J Otorhinolaryngol Head Neck Surg, 2005, 40(6) : 457.
- [4] 常 辉. 埋伏牙致上颌窦瘘1例报告[J]. 临床医学美容学杂志, 2001, 7(1/2) :10.  
CHANG Hui. Orocentral fistula caused by impacted tooth : Case report[J]. J Clin Med Aesthetics, 2001, 7(1/2) :10.
- [5] 解植美. 8例埋伏牙引起的三叉神经痛报道[J]. 口腔颌面外科杂志, 2003, 13(1) :86.  
XIE Zhi-mei. 8 cases of trigeminal neuralgia caused by impacted tooth[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2003, 13(1) :86.
- [6] 周文功. 外科导萌与正畸联合矫治上颌埋伏牙[J]. 海南医学, 2002, 13(4) :29-31.  
ZHOU Wen-gong. Correction of impacted maxillary teeth by using both of surgical exposure and orthodontics[J]. Hainan Med J, 2002, 13(4) :29-31.
- [7] Wagner A, Krach W, Schicho K, et al. A 3-dimensional finite-element analysis investigating the biomechanical behavior of the mandible and plate osteosynthesis in cases of fractures of the condylar process[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2002, 94(6) :678-686.
- [8] Chang KH, Magdum S, Khera SC, et al. An advanced approach for computer modeling and prototyping of the human tooth[J]. Ann Biomed Eng, 2003, 31(5) :621-631.
- [9] Toparli M. Stress analysis in a post-restored tooth utilizing the finite element method[J]. J Oral Rehabil, 2003, 30(5) :470-476.
- [10] 刘作广, 赵洪伦, 周慧峰. 生物组织有限元建模与分析[J]. 同济大学学报, 2002, 30(3) :356-358.  
LIU Zuo-guang, ZHAO Hong-lun, ZHOU Hui-feng. Tissue modeling and analyzing with finite element method[J]. J Tongji University, 2002, 30(3) :356-358.

(本文编辑 王 晴)