

文章编号:1004-7220(2009)04-0300-05

## 不同受力方式下上颌第一磨牙牙槽骨 应力分布的有限元分析

王晓玲<sup>1</sup>, 徐宝华<sup>2</sup>, 梁伟<sup>3</sup>, 王淑玉<sup>3</sup>, 刘崇<sup>3</sup>

(1. 绍兴市牙病防治院 正畸科, 绍兴 312000; 2. 中日友好医院 口腔正畸科, 北京 100029;

3. 北京航空 航天大学航空科学与工程学院 固体力学系, 北京 100083)

**摘要:**目的 利用有限元的方法研究上颌第一磨牙在牙齿矫治过程中不同受力方式牙槽骨应力分布的特点。方法 应用三维激光扫描的方法建立上颌第一磨牙、牙周膜、牙槽骨及颊面管的有限元模型,进行不同方式的加载并观察牙槽骨及其各个截面的应力分布。**结果** 牙齿在单一水平力和垂直力作用下,上颌第一磨牙牙槽骨在牙颈部和根部分叉处出现应力集中;牙齿趋于整体移动时,上颌第一磨牙牙槽骨处于均匀的低应力分布,各应力都小于倾斜移动或旋转移动时的应力,牙槽骨的应力在根分叉平面稍大。**结论** 不同受力方式下,上颌第一磨牙牙槽骨在牙颈部平面或根分叉平面应力最大,临床上应注意观察这些部位的变化;整体移动更有利于牙齿及牙周组织的健康。

**关键词:** 上颌第一磨牙; 牙槽骨; 有限元法; 应力分析

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

## Stress analysis of maxillary first molar alveolar bone under different orthodontics forces by means of finite element method

WANG Xiao-ling<sup>1</sup>, XU Bao-hua<sup>2</sup>, LIANG Wei<sup>3</sup>, WANG Shu-yu<sup>3</sup>, LIU Chong<sup>3</sup>. (1. Dental Disease Prevention And Treatment Hospital of Shaoxing, Shaoxing 312000, China; 2. Dept. of Orthodontics, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China; 3. School of Aeronautical Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract: Objective** To observe the stress distribution of maxillary first molar alveolar bone under different orthodontic forces using finite element model. **Method** The finite element model was built by using advanced 3-dimensional laser scanning, comprising a maxillary first molar, periodontal ligament, alveolar bone, and a buccal tube. Different loads were applied at a point of the buccal tube and its stress of alveolar bone was analyzed. **Result** With a simple horizontal or vertical force, the stress pattern in the alveolar bone showed high concentration at the cervical level or furcation level. When the maxillary first molar was moving bodily, the stress of alveolar bone was uniform and comparatively small. **Conclusions** When the tooth obtained bodily movement, the stress of alveolar bone was uniform and low, which displays that the bodily movement profits the healthy of the alveolar bone. Since the biggest stress of the maxillary first molar alveolar bone was in cervical region or furcation level, the changes of these regions should be observed carefully

**Key words:** Maxillary first molar; Alveolar bone; Finite element method; Stress analysis

收稿日期:2009-02-13; 修回日期:2009-06-03

基金项目:北京市教育委员会共建项目(XK100060522);绍兴市重点科技攻关资助项目(2007A23021)

作者简介:王晓玲(1968-),女,硕士,副主任医师,研究方向:口腔正畸。

通讯作者:王晓玲, Tel: (0575)88551129; E-mail: LLL9316@163.com

上颌第一磨牙作为正畸治疗过程中最重要的支抗磨牙,其牙槽骨的健康状况对于维持牙齿的稳定至关重要。正畸力作用于牙齿,通过牙周膜传导到牙槽骨,在牙槽骨中产生应力,当牙槽骨的应力值超过一定界限时就会出现骨吸收<sup>[1]</sup>,降低牙槽嵴高度,影响牙齿的稳固性。因此,研究牙齿受力对牙槽骨应力分布的影响对维护牙槽骨的健康有重要的意义。以往研究表明,正畸过程中决定牙槽骨健康的主要因素有个体组织反应的差异和正畸力的大小、方向的不同,而正畸医生常凭借个人经验对正畸力加以控制<sup>[2]</sup>。一般情况下,上颌第一磨牙的临床矫治力有一个范围,临床上只能通过患者有无不适,牙齿有无过度松动等症状来判断这些力对牙槽骨的影响,本研究旨在通过建立上颌第一磨牙、牙周组织及颊面管的有限元模型,研究上颌第一磨牙牙槽骨在不同大小和方向的正畸力作用下,其应力大小、分布的情况,从而了解牙槽骨受到的影响,以指导临床对于正畸力的运用。

## 1 材料和方法

### 1.1 有限元模型的建立

选用日本 Nission 公司具有牙冠和牙根的全口牙列教学模型,用线激光扫描仪对左上颌第一磨牙模型冠根进行分区域扫描,将数据导入 CAD 软件 CATIA V5,通过其曲面建模功能,建立左上颌第一磨牙的三维几何模型。再将牙根部向外抽壳建立牙周膜的模型,牙周膜的平均厚度为 0.25 mm,在牙周膜的外围生成牙槽骨的三维几何模型。再根据矫治器的几何参数建立颊面管的有限元模型,其定位参照临床上的定位方法。将三维几何模型导入有限元软件 MSC. PATRAN 中,得到有限元模型(见图 1),并进行四节点四面体的网格划分<sup>[3,4]</sup>。

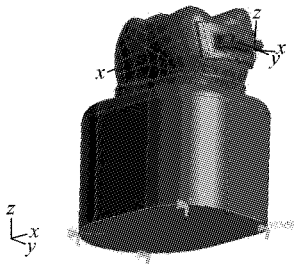


图1 上颌第一磨牙有限元模型图

Fig.1 The finite element model of the maxillary first molar

本研究所涉材料的弹性模量  $E$  及泊松比  $\nu$  均来自文献<sup>[5]</sup>(见表 1),生物材料都假设为连续、均质、各向同性的线弹性体,牙槽骨的底部为固定约束边界。

表 1 材料的力学参数<sup>[5]</sup>

Tab.1 Mechanics parameters of materials<sup>[5]</sup>

材料	$E/\text{GPa}$	$\nu$
牙齿	20.2	0.3
牙周膜	0.00689	0.45
牙槽骨	13.7	0.3
矫治器	200	0.3

### 1.2 在有限元模型上加载

加载部位:水平加力点在颊面管近中端龈方的中点,垂直加力点在颊面管龈方的中点。

加载方式:① 近中水平力 2N(沿颊面管的方向);② 近中水平力 2N + 最佳抗倾斜力矩  $M_t$  ( $M_t/F = 8.1:1$ ) + 最佳抗旋转力矩  $M_r$  ( $M_r/F = 8:1$ ),此时磨牙趋于整体移动;③ 垂直升高力 1N;④ 垂直升高力 1N + 最佳抗倾斜力矩  $M_t$  ( $M_t/F = 4.95:1$ ),此时磨牙趋向于整体升高;⑤ 垂直压低力 1N;⑥ 垂直压低力 1N + 最佳抗倾斜力矩  $M_t$  ( $M_t/F = 4.95:1$ ),此时磨牙趋向于整体压低。

### 1.3 计算

利用 MSC. NASTRAN 计算在以上 6 种工况下上颌第一磨牙牙槽骨的最大 von Mises 应力、最大拉应力、最大压应力值以及在 5 个截面中牙槽骨 von Mises 应力、拉应力、压应力的分布情况,这 5 个截面包括:截面 A、B、C、D、E,是从根尖至牙颈部均分为 5 等份,每个等份约 2.1 mm,相当于根下 1/3 平面、根中 1/3 平面、根上 1/3 平面、根分叉平面及牙颈部平面,计算每个截面牙槽骨的最大 von Mises 应力、最大拉应力、最大压应力值。

## 2 结果

### 2.1 单纯力与加载抗平衡力矩后牙槽骨应力的比较

在单纯的水平力或者垂直力作用下,牙齿发生倾斜和旋转移动,牙槽骨应力集中。在同等力值作用下再加载抗平衡力矩后,牙齿趋于整体水平移动、整体升高或整体压低,此时牙槽骨应力分布均匀,无明显的应力集中(见图 2),并且牙槽骨的最大 von Mises 应力、最大拉应力、最大压应力值基本都小于

单纯力作用下的近 1 倍及以上(见表 2)。

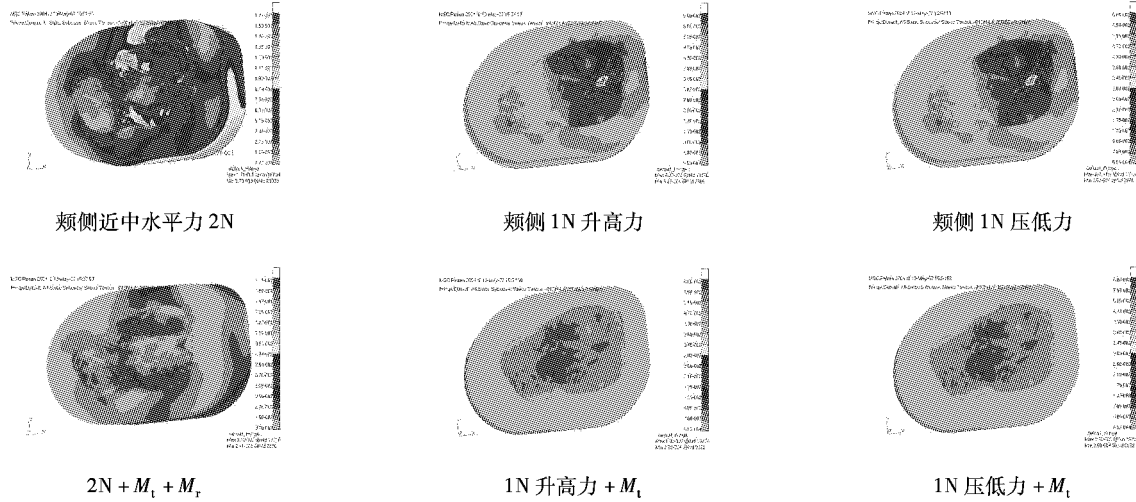


图 2 不同加载方式牙槽骨的 Von Mises 应力分布图  
Fig.2 The Von Mises stress distribution of the alveolar bone under different orthodontics forces

表 2 不同加载方式牙槽骨的最大应力值  
Tab.2 The biggest stress of the alveolar bone under different orthodontics forces

	水平力		升高力		压低力	
	2N	2N + 抗平衡力矩	1N	1N + 抗平衡力矩	1N	1N + 抗平衡力矩
Von Mises 应力/kPa	171	91	60	19	60	19
最大拉应力/kPa	252	128	44	25	41	10
最大压应力/kPa	224	130	41	10	44	25

### 2.2 单纯力与加载抗平衡力矩后牙槽骨各个截面的应力比较

在单纯的水平力或者垂直力作用下,各个截面牙槽骨的最大 von Mises 应力、最大拉应力、最大压应力值相差较大(见图 3),特别是垂直力作用下,从

下列的折线图可看出,折线的起伏较大,而加载抗平衡力矩后,各个截面牙槽骨应力相差不大,从折线图也可看出折线的起伏较平缓,也说明了各个截面的牙槽骨应力分布较均匀,没有明显集中在某一个部位(见图 4、5、6)。

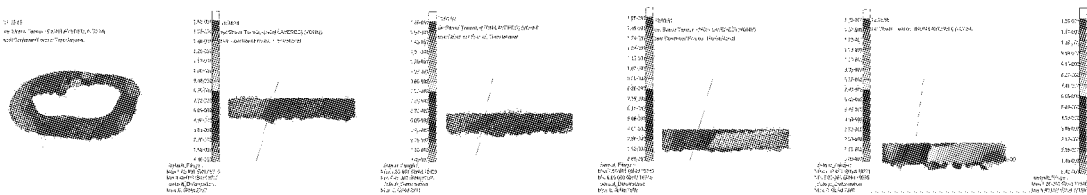


图 3 近中水平力 2N 作用下牙槽骨各个截面的 Von Mises 应力分布图  
Fig.3 The Von Mises stress distribution of different section under 2N mesial force

## 3 讨论

上颌第一磨牙在正畸治疗过程中做为主要支抗

磨牙,其稳固性对于维持咀嚼功能有着非常重要的意义。正畸治疗结束后有时会遇到一些患者,特别是一些成人患者出现牙槽骨吸收,继而附着的牙龈

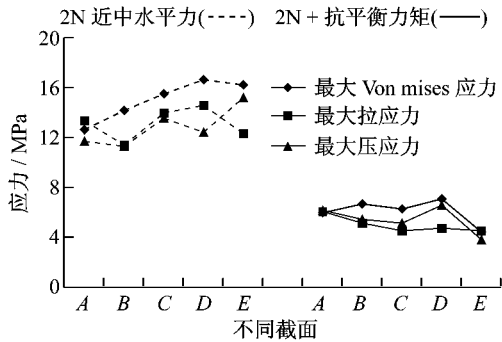


图4 2N不同近中水平加载作用下各截面应力分布图  
 Fig.4 The stress distribution of different section with two kinds of mesial loads

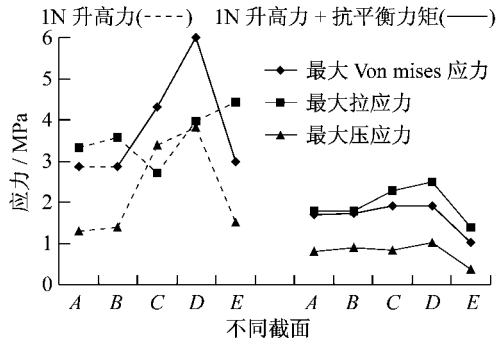


图5 1N不同升高加载作用下各截面应力分布图  
 Fig.5 The stress distribution of different section with two kinds of extrusions loads

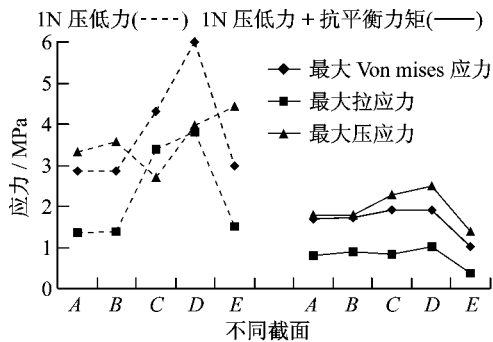


图6 1N不同压低加载作用下各截面应力分布图  
 Fig.6 The stress distribution of different section with two kinds of intrusion loads

组织萎缩,出现牙颈部三角间隙,导致食物嵌塞或牙齿松动,影响牙齿的稳固性及咀嚼功能。因而,矫治过程中保持牙槽骨的健康和牙槽骨的高度对矫治后牙列的健康和功能具有很重要的意义。正畸过程

中,力作用于牙齿,通过牙周膜传导到牙槽骨,力在牙槽骨中分布产生应力。目前的观点认为牙齿移动的最适力值有一个较宽的范围,力值的大小并不是影响牙齿移动的唯一因素,而力在牙周组织中的分布更为重要<sup>[1]</sup>,因而,研究牙齿受力后牙槽骨应力的分布情况对临床操作中保持牙槽骨的健康具有一定的指导作用。

有限元分析法的优点使其越来越被广泛的应用于口腔正畸的生物力学研究。上颌第一磨牙、牙周组织及矫治器的表面形态和内部结构细微复杂,在建模过程中反映其真实状态难度很大。三维激光扫描是一种高精度的采样方法<sup>[6]</sup>,本实验选用了线激光扫描法获取基础几何模型,较CT<sup>[7]</sup>及层切法省时、费用低、精度高、准确性好,较好地再现了上颌第一磨牙的外形。但激光扫描只能获得精确的外形,不能反映精细的内部结构。本实验是研究牙齿不同的移动方式对牙槽骨应力分布的影响,并不涉及牙齿内部的精细结构。尽管McMuinness等<sup>[8]</sup>的研究认为,将牙槽骨分成松质骨和皮质骨的研究结果与不分开的结果有差别,但并不影响计算结果的总体变化趋势,因而,为了简化模型本研究仍把牙槽骨作为一种材料处理。

同一颗牙齿倾斜移动和整体移动时,应力在牙槽骨中的分布是不同的。因此,牙齿的移动方式会影响到牙槽骨的应力分布及矫治力值的运用。以往认为整体移动时,牙齿受到多向力的作用容易在牙槽骨产生较大的应力,引起牙槽骨的吸收。本研究表明,在同等力值作用下,倾斜移动和整体移动在牙槽骨中的应力分布明显不同,整体移动除了同等主向力作用外,还需要其他方向的抗倾斜力或抗旋转力的作用。然而,即使在多向力的作用下,整体移动时牙槽骨的应力值要小于倾斜移动近1/2以上,提示整体移动不易在牙槽骨产生过大的应力集中,这与Sang等<sup>[10]</sup>的研究一致,因而,整体移动不易引起牙槽骨的吸收,矫治力值的使用可适度的加大。而单纯力作用下引起牙齿倾斜移动时,易引起牙槽骨应力集中,某些部位易产生较大的应力值,而引起牙槽骨的吸收,因而使用的矫治力值需适度的减小。此结果与国内的一些研究结果相似<sup>[11,12]</sup>,因而,临床上无论是水平向移动磨牙,还是垂直向升高或压

(下转第316页)