

# 微植体支抗滑动法关闭间隙的三维有限元建模及实验验证

吴映燕<sup>1,2</sup> 蒋 勇<sup>1</sup> 陈 琳<sup>3</sup>

**摘要** 对志愿者头颅部进行螺旋 CT 扫描,利用 Mimics 软件进行实体模型的重建,优化后导入 Ansys 软件中赋值及网格划分,建立左侧下颌第一磨牙缺失的包含微型种植体、直丝弓托槽、牙列、牙周膜、牙槽骨的下颌三维有限元模型,实验模拟与临床基本相符。

**关键词** 有限元模型;生物力学;滑动法;微型种植体

**中图分类号** R 783.5

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2014)06-0853-04

第一磨牙是牙合形成的基础,但在正畸临床工作中,有时需要主动或被动的拔除<sup>[1]</sup>。磨牙移动的阻力较大,常会造成前牙舌倾等副作用,相关的临床研究较多<sup>[2-3]</sup>,但尚缺乏系统性的生物力学研究为其提供基础理论依据。近年来有限元法在分析口腔生物力学领域显示出极大的优越性,其结果的准确依赖于模型的精确程度。目前研究中利用滑动法关闭间隙的有限元模型<sup>[4-5]</sup>多为单颗牙、几个牙或片段弓丝模型,托槽多为扫描或手绘建立,利用此种简化模型来模拟包含全牙列及牙周组织的矫治力学体系,其结果的准确性会受到影响。该研究采用 CT 扫描结合 CAD 软件 Mimics、Geomagic 及 Ansys,建立包含直丝弓矫治器和微型种植体的下颌三维有限元模型,为后期下颌第二磨牙近中移动的生物力学研究提供了一个数字化平台。

## 1 材料与方法

**1.1 材料来源** 选择 1 例女性志愿者,22 周岁,左侧下颌第一磨牙缺失、牙弓形态基本对称、牙齿解剖形态正常、无龋病及牙周疾病。

**1.2 实验设备** ① 64 排多层螺旋 CT 扫描仪(SI-

MENS); ② 计算机配置: Intel Core2 双核 3.00 GHz, 4 G 内存, 500 G 硬盘, Windows XP 操作系统; ③ 软件: Mimics 10.0 (Materialise, Belgium); Geomagic 10.0 (Geomagic, USA); Ansys Workbench 12.0 (Ansys, USA); Solidworks 2007 (Solidworks, USA)。

## 1.3 建模方法

**1.3.1 数据获取** 利用 CT 扫描仪对患者头部颌骨区域进行螺旋扫描及断面图像处理,螺旋层厚 0.2 mm,共得到 430 张二维扫描断层图像,以 DICOM 格式输出。

**1.3.2 建立牙列-下颌骨模型** 将数据文件导入 Mimics 软件,通过阈值化操作,使用 Calculate 3D 工具条生成颌骨的三维几何表面模型,再将模型以点云格式数据文件输入到 Geomagic 软件中进行曲面优化后生成下颌骨及牙列的 CAD 曲面模型。

**1.3.3 建立弓丝-托槽-微植体-牙列-下颌骨模型** 运用计算机辅助设计的方法建立 0.019" × 0.025" 的不锈钢方丝模型和直径 1.5 mm、长度 9 mm 的微型种植体模型。将杭州新亚齿科材料有限公司提供的下颌 MBT 托槽和颊面管 (STL 格式,槽沟宽度为 0.022") 导入牙列-下颌骨模型。读取模型数据,以下颌牙合平面与地平面平行为准,调整弓丝位置使之平行于下颌牙合平面,将托槽槽沟切端与弓丝切端平面接触,模拟弓丝进入托槽的状态,同时再调整每个牙齿,使其唇颊面和对应的托槽底板均匀接触,模拟托槽粘接牙齿的状态,托槽的长轴平行于牙体长轴,参考《口腔正畸学》<sup>[6]</sup>的 MBT 托槽定位平均垂直高度将托槽粘接于牙齿的临床冠中心,应用这种方法,模拟牙列的排齐整平。最后将整体几何模型以 IGES 格式导出。

**1.3.4 整体三维有限元模型的建立** 在下颌第一、二前磨牙牙根之间的平均点,且距牙槽嵴顶 5 mm 的位置,将微植体植入颊侧牙槽骨内。同时在牙根表面均匀扩展 0.25 mm 生成牙周膜,将所建立的 3D 几何模型导入 Ansys Workbench 12.0 有限元分析软件,选择 solid189 四面体单元进行网格划分,局部(如微型种植体与骨皮质、骨松质接触处)实施网格细化。对各部分进行整体布尔运算,最终建立了左

2014-02-24 接收

基金项目: 中国博士后科学基金面上资助(编号: 2012M512141)

作者单位: <sup>1</sup>安徽医科大学口腔医学院,合肥 230032

<sup>2</sup>安徽医学高等专科学校口腔系,合肥 230601

<sup>3</sup>北京武警总医院口腔科,北京 100039

作者简介: 吴映燕,女,硕士研究生;

蒋 勇,男,教授,硕士生导师,责任作者, E-mail: jiangyong@ahmu.edu.cn

侧第一磨牙缺失的下颌三维有限元模型。模型各组成材料的弹性模量和泊松比见表 1。

表 1 模型各组成部分的材料特性<sup>[7]</sup>

项目	弹性模量( GPa)	泊松比
皮质骨	13.7	0.30
松质骨	1.37	0.30
牙周膜	0.068 9	0.45
牙釉质	84.1	0.33
牙骨质	18.6	0.31
不锈钢弓丝	176	0.30
托槽、颊面管	206	0.30
钛	106.4	0.34

1.4 实验验证 张超<sup>[2]</sup>对 17 例拔除下颌第一磨牙的患者使用微植体支抗关闭拔牙间隙,发现第二磨牙存在近中倾斜和近中扭转,而下切牙位置基本没有变化。为了验证模型的准确性,按照张超的方法设计了一种工况:将微型种植体与第二磨牙相连,利用镍钛拉簧模拟 150 g 拉力近中移动第二磨牙。

## 2 结果

2.1 建模 建立了左侧下颌第一磨牙缺失,包含 MBT 直丝弓矫治器、微型种植体的下颌三维有限元生物力学模型(图 1~5)。网格划分后各组单元数和节点值,见表 2。模型的建立为进一步研究微型种植体支抗与直丝弓矫治器联合应用,分析牙齿及周围牙周组织的生物力学影响,提供了良好的基础。

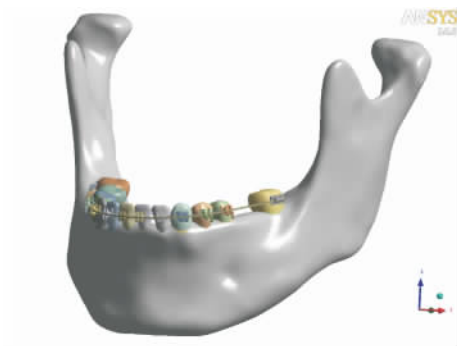


图 1 下颌骨、牙列、弓丝及托槽实体模型



图 2 下颌牙列、弓丝及托槽三维有限元模型



图 3 微型种植体三维有限元模型



图 4 托槽三维有限元模型

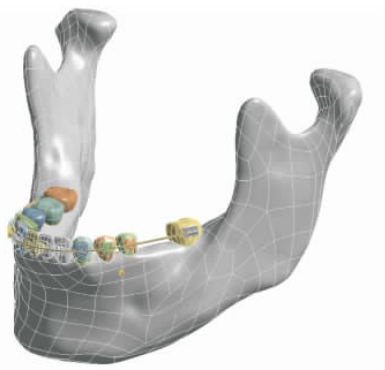


图 5 整体的三维有限元模型

表 2 模型划分的单元数与节点数

项目	单元数	节点数
牙齿	24 797	38 632
牙周膜	46 514	93 875
皮质骨	66 595	106 798
松质骨	157 270	229 514
托槽和弓丝	50 840	83 398
微型种植体	14 691	22 592
模型总体	360 707	574 809

2.2 验证 计算机模拟工况见图 6,各牙的初始位移情况见图 7,第二磨牙移动趋势见图 8。从图中可以看出各牙的移动趋势:第二磨牙为近中倾斜和近中舌侧旋转,初始位移量大(红色线条最多);前磨牙为远中倾斜,初始位移量小,而下前牙基本不发生移动。

## 3 讨论

有限元分析法是近年来随着计算机技术发展起来的一种现代计算方法,模型的相似性会直接影响到计算结果的精确程度。本研究充分利用 Mimics

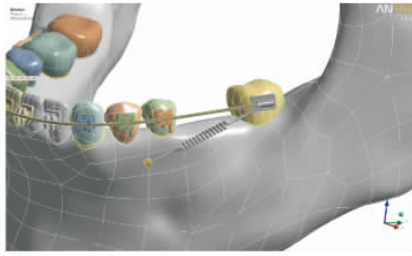


图6 微型种植体做为直接支抗近中移动第二磨牙

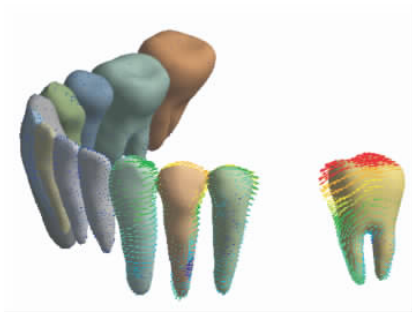


图7 下颌各牙的初始位移情况

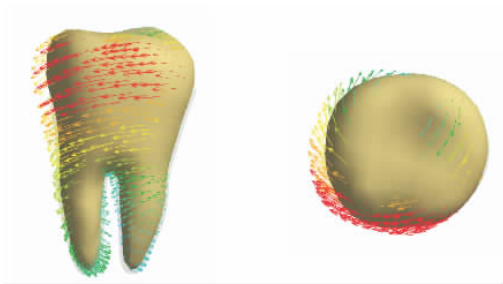


图8 第二磨牙初始位移图

和 Ansys 之间良好的软件兼容性,通过数据信息的转换,建立了具有高度相似性的下颌三维有限元模型。

正畸矫治技术发展迅速,现代直丝弓矫治技术已经成为目前固定矫治的主流,其中 MBT 滑动直丝弓矫治器具有代表性。其重视牙列的完全整平,强调滑动法关闭间隙,对托槽粘接要求较高。有学者<sup>[8]</sup>建立的模型中托槽是通过扫描得到,并没有精确定位,也有学者建立的模型没有纳入整个矫治系统,仅仅对单颗牙齿分析移动趋势和牙周组织应力<sup>[9]</sup>。本实验通过确定弓丝、定位托槽、再定位牙齿的方法,排齐整平了下颌牙列,当不锈钢方丝放入牙列后不对牙齿产生作用力,托槽中的 MBT 数据能够得到充分的表达,即牙列的完全整平排齐,这较以往建模有了较大的提高。

微型种植体已被正畸医师越来越多的应用于临床,相关研究建立了很多不同的应力分析模型,但多

采用部分下颌骨来代替整个下颌骨<sup>[10]</sup>,或将颌骨简化为规则的几何体<sup>[11]</sup>。由于颌骨较为复杂,按照简化模型计算应该会产生误差。相比以往的建模方式,本研究通过 CT 技术结合 Mimics、Geomagic、Ansys 软件,模型更接近真实的人体下颌骨结构,下颌骨的完整性得到了保证,可较准确地反映微型种植体-骨界面的应力分布情况。

本实验所建的下颌骨三维有限元模型包括了排齐整平的下颌牙列、不锈钢弓丝、MBT 直丝弓托槽和微型种植体支抗,各子部件相互独立,既可以单独取出研究,也可以在模型中进行整体研究。所建下颌模型比较完整,且通过建立工况实验验证发现其与临床实际结果基本符合,可以比较真实的模拟临床上的一些实际病例,为教学、临床诊断和治疗提供了可靠的资料,也为今后相关的生物力学研究和分析奠定了基础。

## 参考文献

- [1] Saga A Y, Maruo I T, Maruo H, et al. Treatment of an adult with several missing teeth and atrophic old mandibular first molar extraction sites [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2011, 140(6): 869-78.
- [2] 张超. 微螺钉支抗种植体近中移动下颌第二磨牙的临床研究 [J]. 现代预防医学 2010, 37(17): 3372-3.
- [3] 郭军, 法永红, 蔡兴伟, 等. 微型种植体支抗近中移动磨牙过程中的强支抗效应 [J]. 中国组织工程研究与临床康复 2010, 14(9): 1577-80.
- [4] 张菊菊, 段银钟, 霍娜, 等. 3 种不同施力方式远移上颌第一磨牙牙周膜应力的三维有限元分析 [J]. 口腔医学研究, 2006, 22(2): 166-8.
- [5] 邓峰, 张磊, 张翼, 等. 直丝弓滑动法关闭间隙的三维有限元模型的建立 [J]. 中国生物医学工程学报, 2007, 26(3): 426-30.
- [6] 林久祥. 口腔正畸学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 274-5.
- [7] Boccaccio A, Lamberti L, Pappalettere C, et al. Mechanical behavior of an osteotomized mandible with distraction orthodontic devices [J]. J Biomech 2006, 39(15): 2907-18.
- [8] 邓峰, 张磊, 张翼, 等. 直丝弓滑动法关闭间隙的三维有限元模型的建立 [J]. 中国生物医学工程学报, 2007, 26(3): 426-30.
- [9] 黄跃, 张玉惠, 卫晓霞, 等. 上颌尖牙压低的三维有限元分析 [J]. 泸州医学院学报 2008, 31(5): 521-3.
- [10] 单丽华, 董福生, 宫伟伟, 等. 微型种植体下颌骨三维有限元模型的建立 [J]. 现代口腔医学杂志 2010, 24(6): 425-8.
- [11] 林东, 林珊, 郭金泉. 对微小种植体及其骨组织生物力学的三维有限元分析 [J]. 实用医药杂志 2009, 26(8): 50-2.

# 胃食管反流病患者焦虑抑郁状态及其对治疗的影响

王伟伟<sup>1</sup>, 王亚雷<sup>1</sup>, 许建明<sup>1</sup>, 李仁君<sup>2</sup>, 吴军<sup>3</sup>, 张开光<sup>4</sup>, 牛小平<sup>5</sup>

**摘要** 收集胃食管反流病(GERD)患者189例,其中反流性食管炎(RE)患者56例,非糜烂性反流病(NERD)患者133例,以347例健康体检者作为对照组。GERD组及对照组填写反流性疾病问卷(RDQ)、综合医院焦虑抑郁量表(HADS)、匹茨堡睡眠质量指数表(PSQI)。GERD患者接受埃索美拉唑40 mg/d治疗2周。结果显示GERD组焦虑抑郁状态及睡眠障碍的发生率高于对照组( $P < 0.05$ );RE患者与NERD患者焦虑抑郁状态及睡眠障碍的发生率差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。GERD患者焦虑抑郁状态、睡眠障碍与症状严重程度呈正相关。单因素Logistic回归分析显示女性、NERD、焦虑抑郁状态是质子泵抑制剂(PPI)疗效的影响因素,多因素Logistic回归分析显示女性、NERD是PPI疗效的独立预测因素。

**关键词** 胃食管反流病;质子泵抑制剂;焦虑;抑郁

中图分类号 R 571; R 975; R 749

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2014)06-0856-04

胃食管反流病(gastroesophageal reflux disease, GERD)是消化科常见疾病,严重影响患者的生活质

量。研究<sup>[1]</sup>表明GERD患者存在焦虑抑郁状态,同时部分GERD患者也存在睡眠障碍。但GERD患者焦虑抑郁状态、睡眠障碍与症状严重程度间的关系尚无定论。治疗方面,质子泵抑制剂(proton pump inhibitors, PPI)是治疗GERD的常用药物,但仍有10%~40%患者经过标准剂量的PPI治疗后症状无法缓解<sup>[2]</sup>。该研究旨在探讨GERD患者的焦虑抑郁状态及其对治疗的影响,以为GERD的临床诊治提供一定的指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 研究对象** 收集2012年7月~2013年6月安徽医科大学第一附属医院、安徽医科大学附属安庆医院、淮南朝阳医院、安徽医科大学附属省立医院、皖南医学院附属弋矶山医院5家医院消化内科门诊就诊的189例GERD患者,男91例,女98例,年龄20~79( $50.37 \pm 11.28$ )岁。GERD患者中反流性食管炎(reflux esophagitis, RE)患者56例,非糜烂性反流病(non-erosive reflux disease, NERD)患者133例。另外选择安徽医科大学第一附属医院347例健康体检者作为对照组,其性别、年龄比较,差异无统计学意义。

**1.1.2 入选标准** GERD组:①有典型烧心、反流等症状,症状持续1个月以上,平均每周 $\geq 3$ 次,胃

2014-01-05 接收

作者单位: <sup>1</sup>安徽医科大学第一附属医院消化内科,合肥 230022

<sup>2</sup>安徽医科大学附属安庆医院消化内科,安庆 246003

<sup>3</sup>淮南朝阳医院消化内科,淮南 232000

<sup>4</sup>安徽医科大学附属省立医院消化内科,合肥 230001

<sup>5</sup>皖南医学院附属弋矶山医院消化内科,芜湖 241001

作者简介:王伟伟,男,硕士研究生;

王亚雷,男,副教授,副主任医师,硕士生导师,责任作者,

E-mail: alei416@163.com

## Space closure using micro-implant and sliding mechanics: the three-dimensional finite element modeling and numerical analysis

Wu Yingyan<sup>1,2</sup>, Jiang Yong<sup>1</sup>, Chen Lin<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Stomatology Anhui Medical University Hefei 230032; <sup>2</sup>Dept of Stomatology Anhui Medical College, Hefei 230601; <sup>3</sup>Dept of Stomatology, Armed Police General Hospital Beijing 100039)

**Abstract** A volunteer was scanned by spiral CT, the Dicom format images were imported into Mimics software to reconstruct 3-D mandibular model, then optimized by Geomagic and meshed in Ansys software. A good geometric precise three-dimensional finite element model was constructed. The displacement of dentition was similar with clinical situation by computer.

**Key words** finite element model; biomechanics; sliding mechanics; micro-implant