

· 临床研究 ·

# 舌侧矫治种植支抗关闭拔牙间隙阶段 三维有限元模型的建立

张晓娟 郭宏铭 白玉兴 厉松

**【摘要】** 目的 为舌侧矫治种植支抗关闭拔牙间隙过程中的力学分析建立三维有限元模型。方法 选取一例舌侧矫治病例 矫治前拍摄头颅 CBCT ,用 Mimics10.0 软件通过三维重建的方法获得牙齿及颌骨(含皮质骨和松质骨)的三维模型。将 CBCT 获得的重建模型和三维数字化扫描模型用 Rapid Form 2006 软件配准,获得牙齿及颌骨三维整合牙颌模型,用该整合模型进行数字化排牙得到牙冠牙根良好排列的排牙模型,然后用 Pro/E 软件设计弓丝,并用 Mimics10.0 软件进行托槽定位,用 ANSYS12.0 软件进行网格划分,最终获得牙齿、皮质骨、松质骨、弓丝、托槽的三维有限元模型。用 CBCT 图像扫描获得 A1(2.0x12.0mm)的种植钉,重建获得种植钉的三维有限元模型。结果 建立了包括牙齿、颌骨(含松质骨和皮质骨)、舌侧托槽、弓丝、种植体的三维有限元的整体模型。结论 建立的有限元模型模拟了实际临床矫治过程中牙齿及颌骨的原始解剖形态,网格划分详细,可以模拟正畸临床中牙齿及颌骨的受力情况及位移情况。

**【关键词】** 舌侧矫治; 应力; 有限元分析; 种植体

**【中图分类号】** R783.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-673X(2014)04-0214-04

## Establishment of three-dimensional finite element model in space closure with MIA in lingual orthodontics

ZHANG Xiao-juan , GUO Hong-ming , BAI Yu-xing , LI Song. Department of Orthodontics , Capital Medical University School of Stomatology , Beijing 100050 , China

**【Abstract】 Objective** To establish a three-dimensional finite element model in space closure using micro screw implant anchorage (MIA) in lingual orthodontics. **Methods** One case of lingual orthodontics was selected randomly and the patient was scanned by CBCT in full-skull before treatment. The maxillo-dental model including teeth and jaws (cortical bone and cancellous bone) was reconstructed using Mimics10.0 software. Rapid Form 2006 software registration was used and the integration model including teeth and jaws obtained. Then the tooth arrangement model with the individual anatomic roots and jaws in good dimensional relationship without fenestration and dehiscence was set up. Individualized arch wires were designed with software PRO/E, and brackets were positioned with Mimics 10.0 software. The geometric mesh of maxillo-dental model and appliances were set up with ANSYS12.0 software including teeth, jaws (cortical bone and cancellous bone), arch wire and brackets. The implants A1 (2.0x12.0mm) were scanned by CBCT to reconstruct the finite element model of implants. **Results** The three-dimensional finite element model in space closure using micro screw implant anchorage (MIA) in lingual orthodontics was established. **Conclusion** The three-dimensional finite element model simulated the process of clinical actual anatomy and treatment.

**【Key words】** Lingual orthodontics; Stress; Finite element analysis; MIA

舌侧矫治技术与传统的唇侧矫治技术相比,不仅是矫治器的粘结位置不同,更重要的是舌侧矫治过程中牙齿移动的生物力学机制与唇侧矫治有很大的差别<sup>[1]</sup>。目前已经有相关研究探讨唇侧矫治中使用种植

支抗关闭拔牙间隙的有限元模型<sup>[2]</sup>,但是有关舌侧矫治应用种植支抗关闭拔牙间隙的有限元模型尚无报道。本研究拟建立基于舌侧矫治设计理念的牙列-上颌骨-舌侧矫治器-个性化舌侧弓丝-种植体的三维有限元模型,该模型拟用于舌侧矫治中滑动法关闭拔牙间隙,为进一步探讨舌侧矫治中的生物力学机制奠定基础。

### 资料和方法

#### 1. 研究样本

本研究样本选取在首都医科大学附属北京口腔

基金项目:北京市自然科学基金(4112020);北京市科委首都临床特色应用研究(z121107001012022)

作者单位:100050 北京 首都医科大学口腔医学院正畸科(张晓娟现在潞河医院工作)

通讯作者:郭宏铭,E-mail: hongming\_guo@aliyun.com,电话:010-57099223

医院正畸科进行舌侧矫治的患者一例,纳入标准:恒牙列、牙列完整、无牙体病变或修复体。排除标准:①牙齿和颌骨的 CBCT 图像不清晰;②不愿接受 CBCT 检查;③有系统性疾病。

## 2. 牙列-上颌骨模型的建立

使用 Mimics10.0 软件(Materialise 公司,比利时,时代天使公司提供)选取 CT 图像上相应的阈值,利用 Calculate 3D 命令,建立上颌骨、皮质骨及牙列的三维模型,上颌骨保留眼眶以下的部分,并以 stl 格式逐个输出。上颌骨模型通过布尔运算减去牙齿及皮质骨的模型得到完整的松质骨模型。

## 3. 建立三维牙颌整合模型

采用柯尼卡美能达非接触彩色三维扫描仪 Vivid9i 对患者的石膏模型进行扫描,输出 STL 格式的三维数字化牙列模型,然后将患者的数字化扫描模型和 CBCT 重建的牙颌模型导入到 Rapidform2006 软件中,进行顺序性点、面配准,最终获得高精度 3D 整合牙颌模型,牙冠部分精度为 0.02mm<sup>[3]</sup>(图 1)。

## 4. 计算机辅助排牙

在三维牙颌整合模型上运用 OrthoDS 4.6(时代天使公司,中国上海)进行牙齿排列,排牙时兼顾牙冠、牙根及咬合关系,使牙冠排齐整平,后牙咬合关系中性,前牙覆殆覆盖正常,并且牙根互相平行、位于牙槽骨内无外露。排牙完成后得到牙冠、牙根与颌骨具有良好位置关系的个性化排牙模型<sup>[3]</sup>。

## 5. 绘制个性化弓丝

根据数字化排牙模型的舌侧形态,利用 pro/ENGINEER Wildfire4.0(Parametric Technology Corporation,美国)绘制出与模型匹配的个性化舌侧弓丝用于辅助下一步的托槽定位,个性化舌侧弓丝尺寸为 0.022×0.016 英寸(0.56×0.41mm)。

## 6. 定位托槽

本研究借鉴 Hiro 系统<sup>[4]</sup>的方法,在排牙模型上以一根全尺寸规格的个性化弓丝来定位托槽体(非

凡 3D 舌侧托槽,德国)。使用 Mimics10.0 软件进行托槽定位;定位完成后,用 OrthoDS 4.6 软件退回到牙齿排齐间隙未关闭的状态,导出牙齿、颌骨及托槽的 stl 文件。

## 7. 种植体数字化

将 A1 的微种植支抗钉(2.0×12.0mm)扫描后获得数字化的种植钉模型。用 Mimics10.0 软件调整种植钉的坐标,使种植钉位于上颌第二前磨牙及第一磨牙之间,且与腭平面成 30°。

## 8. 建立牙列-上颌骨-舌侧矫治器-弓丝-种植体整体三维有限元模型

将上述的牙齿、颌骨、托槽、弓丝及种植体的模型导入到 Magic13.0 软件对牙齿、颌骨进行光滑处理后生成模型,再将其导入到 ANSYS WORKBENCH 12.0 软件中,使用 ANSYS 自动划分体单元命令,划分有限元网格。模型采用非线性大变形计算,同时考虑到摩擦的影响,采用前处理软件 ANSA13.0 对模型网格进行优化,使用二次 10 节点四面体单元网格。检验划分完成的网格和消除畸形单元,网格划分后形成整个上颌骨和除第一前磨牙外的全部上颌牙的三维有限元模型。在有限元计算中,为了简化计算,假设牙齿、颌骨为各向同性线弹性材料,并定义各部分实体的材料属性<sup>[5-7]</sup>(表 1)。

## 结 果

根据舌侧矫治的设计原理建立关闭拔牙间隙阶段舌侧矫治器的整体实体模型,该模型包括 27 个实体模型,其中牙齿 12 个,托槽 10 个,皮质骨 1 个,松质骨 1 个,弓丝 1 个,种植体 2 个(图 2)。

网格划分后共得到节点 515801 个,单元 317856 个。其中托槽和弓丝 36738 个节点,19461 个单元;牙齿 356557 个节点,207706 单元;皮质骨 84058 个节点,47613 个单元,松质骨 51106 个节点,29440 个单元,种植钉 23787 个节点,13636 个单元(图 3)。

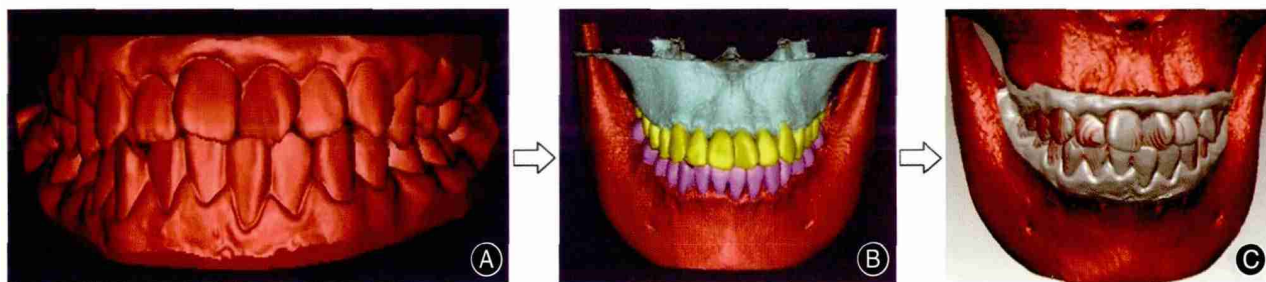


图 1 牙颌模型 A: 三维数字化扫描模型; B: CBCT 重建的牙颌模型; C: 三维牙颌整合模型

表 1 不同材料的牙周组织参数

材料	弹性模量( Pa)	泊松比( $\nu$ )
牙齿	$2.32 \times 10^{10}$	0.3
皮质骨	$2.00 \times 10^{10}$	0.3
松质骨	$7.84 \times 10^9$	0.3
弓丝	$1.88 \times 10^{11}$	0.3
托槽	$1.88 \times 10^{11}$	0.3

讨 论

在探讨正畸治疗中矫治器生物力学机制的研究中,三维有限元分析是目前应用最为广泛的方法,也是一种比较成熟的分析方法。国内外学者对唇侧矫治过程中三维有限元模型的建立有较多的报道, Tanne 等<sup>[8]</sup>于 1988 年首次建立上颌中切牙的三维有限元模型。严拥庆等<sup>[9]</sup>建立了下颌牙列-颌骨-弓

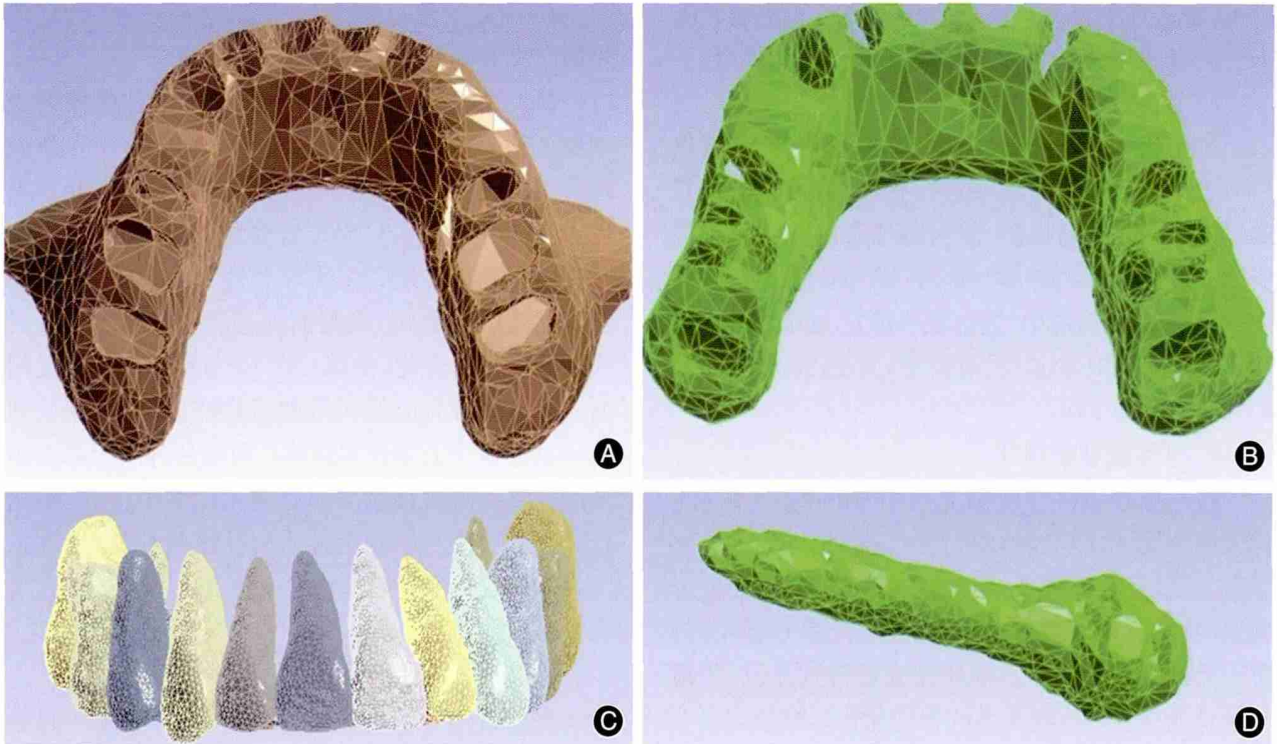


图 2 不同结构的三维重建模型 A: 皮质骨; B: 松质骨; C: 牙齿; D: 种植钉

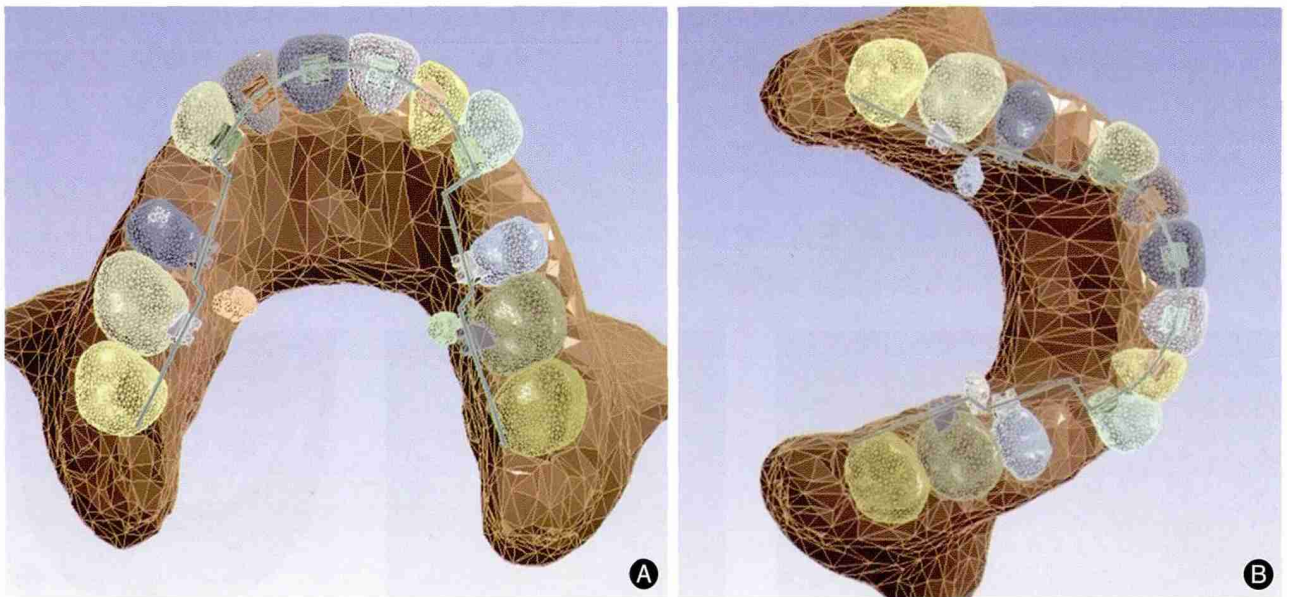


图 3 整合实体模型的三维有限元分析

在以往的研究中,皮质骨的厚度常通过定义颌骨表面均匀厚度的组织得到,获得的皮质骨为壳单元,内部为松质骨,最后分别定义皮质骨和松质骨的弹性模量<sup>[13,14]</sup>,然而实际上人颌骨表面的皮质骨并不是均匀一致的,本研究采用 Mimics 软件三维重建的方法获得皮质骨,再通过布尔运算获得松质骨,由此获得的松质骨和皮质骨均为实体单元,以此作为有限元分析的模型更接近于实际解剖结构,应力分析将会更接近于实际受力情况,本研究中采用的整体三维有限元模型是根据个体化舌侧矫治的计算机设计步骤进行建模的,为了保证真实性和个体性,模型尺寸数据完全基于 CBCT 拍摄的原始数据建模。

综上所述,用数字化扫描模型和 CBCT 图像建立包括牙齿、颌骨(含松质骨和皮质骨)、舌侧托槽、弓丝、种植体的三维有限元整体模型,其模型保留了原始的解剖形态,网格划分详细,可以用该模型进行各种力值加载来模拟正畸临床中牙齿及颌骨的受力情况及位移情况。

#### 参 考 文 献

- 1 邹道星,郭宏铭,白玉兴,等. 双丝弓个性化舌侧托槽的计算机辅助设计. 北京口腔医学 2013, 21(6): 332-334.
- 2 戴慧,漆剑频,李平,等. MDCT 在建立种植支抗关闭拔牙间隙三维有限元模型中的应用. 中国医学影像技术, 2008, 24(8): 1264-1266.
- 3 唐敏,郭宏铭. 三维整合模型的精度研究. 北京口腔医学 2011,

- 19(3): 128-130.
- 4 Hiro T, Takemoto K. Resin core indirect bonding system-improvement of lingual orthodontic treatment. Jpn Orthod Society, 1998, 57: 83-91.
- 5 McGuinness NJ, Wilson AN, Jones ML, et al. A stress analysis of the periodontal ligament under various orthodontic loadings. Eur J Orthod, 1991, 13(3): 231-242.
- 6 Andersen K, Pedersen E, Melsen B. Material parameters and stress profiles within the periodontal ligament. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1991, 99(5): 427-439.
- 7 Middleton J, Jones M, Wilson A. The role of the periodontal ligament in bone modeling: The initial development of a time-dependent finite element model. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996, 109(2): 155-162.
- 8 Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratios and the center of rotation. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1988, 94(5): 426-431.
- 9 严拥庆,阎贺庆,蔡中,等. 方丝弓矫治器三维有限元力学模型的建立. 上海口腔医学, 2005, 14(3): 301-305.
- 10 Liang W, Rong QG, Lin JX, et al. Torque control of the maxillary incisors in lingual and labial orthodontics: A 3-dimensional finite element analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 135(3): 316-322.
- 11 柳大为,周彦恒,郭亮,等. 关闭拔牙间隙阶段个体化舌侧矫治器三维有限元模型的建立. 中华口腔正畸学杂志, 2009, 16(4): 219-222.
- 12 Kojima Y, Fukui H. Numerical simulation of canine retraction by sliding mechanics. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005, 127(5): 542-551.
- 13 傅晓峰,王林,蒲广义. 上颌牙列及 MBT 直丝弓矫治器三维有限元模型的建立. 口腔医学, 2006, 36(5): 354-355.
- 14 Nagahara K, Murata S, Nakamura S, et al. Displacement and stress distribution in the temporomandibular joint during clenching. Angle Orthodontist, 1999, 69(4): 372-379.

(2013 年 11 月 12 日收稿)

## 《北京口腔医学》杂志 2015 年第 23 卷征订启事

《北京口腔医学》杂志是由首都医科大学口腔医学院主办、国内外公开发行的口腔医学专业学术性期刊,现为双月刊,双月 28 日出版。主编为白玉兴教授,编委会由全国各大口腔医学院校各学科专家组成。本刊为中国科技核心期刊,中国科技论文统计源期刊。宗旨是紧密跟踪口腔医学科技发展,加强口腔专业有关新理论、新技术、新工艺等方面信息的报道和交流,促进口腔医学事业的发展。主要栏目有论著、临床报道、病例讨论、文献综述、国内外动态等。本刊读者主要是各级口腔医疗、护理、教学、科研等方面人员以及研究生、大学生等。读者遍布全国 31 个省、自治区、直辖市。本刊采用彩色印刷,欢迎投稿、订阅。

《北京口腔医学》杂志邮发代号 82—708,每期定价 10 元/期,全年 6 期共计 60 元。欢迎广大读者到当地邮局订阅。如错过邮局征订时间,可向本刊编辑部联系邮购,每册 10 元(含邮寄费)。编辑部地址:北京市东城区天坛西里 4 号,邮编 100050,联系电话 010-67013675 57099045。E-mail: bjkyqx@126.com。