

文章编号:1004-7220(2015)01-0038-05

# 不同部位植入微种植钉进行前方牵引时 上颌骨旋转趋势

罗 晨<sup>1,2</sup>, 秦晓中<sup>1</sup>, 曾照斌<sup>2</sup>, 冯 雪<sup>2</sup>

(1. 山西省长治市人民医院 口腔科, 长治 046000; 2. 第四军医大学口腔医院 正畸科, 军事口腔医学国家重点实验室, 西安 710032)

**摘要:** **目的** 研究在不同部位植入微种植钉进行前方牵引时上颌骨旋转趋势的差异, 以期为临床正畸选择合适的种植钉植入部位提供参考和依据。 **方法** 在建立的微种植钉辅助上颌骨进行前方牵引的三维有限元模型基础上, 分别将微种植钉植入在上颌颧牙槽嵴区和前牙区(双侧侧切牙与尖牙牙根上方6 mm), 分析500 g牵引力在不同牵引部位及方向条件下上颌骨旋转趋势的差异。 **结果** 在颧牙槽嵴区进行牵引时, 上颌骨主要呈逆时针旋转趋势; 在前牙区进行牵引时, 上颌骨主要呈顺时针旋转趋势。 **结论** 当治疗反覆合较深的患者时, 选择在颧牙槽嵴区进行牵引会有较好的效果; 当治疗浅覆合伴有开合的反合患者时, 选择在前牙区进行牵引会有较好的效果。

**关键词:** 前方牵引; 有限元分析; 微种植体; 旋转; 上颌骨

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2015.01.038

## Rotation trend of maxillary complex with mini-implant assisted protraction in different maxillary positions

LUO Chen<sup>1,2</sup>, QIN Xiao-zhong<sup>1</sup>, ZENG Zhao-bin<sup>2</sup>, FENG Xue<sup>2</sup> (1. Department Of Stomatology, Changzhi People's Hospital, Changzhi 046000, China; 2. State Key Laboratory of Military Stomatology, Department of Orthodontics, School of Stomatology, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** **Objective** To investigate the differences in rotation trends of maxillary complex through planting mini-implants in different maxillary positions for the protraction of craniofacial suture, so as to provide reference and basis for the appropriate implantation location in clinical orthodontics. **Methods** The 3D finite element model of the maxillary complex with mini-implant assisted maxillary protraction was established, and the mini-implants were planted in maxillary infrazygomatic crest and the anterior region (6 mm above the root of bilateral incisors and canine), respectively. Traction force of 500 g was applied to analyze the differences in rotation trend of the maxillary complex at different maxillary positions and in different directions. **Results** When protracted in maxillary infrazygomatic crest region, the maxilla mainly showed counterclockwise rotation trend. When protracted in anterior region, the maxilla mainly showed clockwise rotation trend. **Conclusions** Protraction at infrazygomatic crest is more suitable for treating patients with hypodivergent crossbite, while protraction in maxillary anterior region is more suitable for treating patients with hyperdivergent crossbite.

**Key words:** Maxillary protraction; Finite element analysis; Mini-implant; Rotation; Maxilla

利用微种植体辅助上颌复合体进行前方牵引治疗青少年安氏Ⅲ类错合畸形, 微种植钉的植入位置

可有较多选择, 常见的植入部位是前牙区(一般在上颌侧切牙与尖牙牙根之间), 但由于微种植钉植

收稿日期: 2013-11-02; 修回日期: 2014-02-27

基金项目: 陕西省科技计划项目(2012JM4036)。

通信作者: 冯雪, 副教授, 副主任医师, Tel: (029) 84776137; E-mail: 1054030184@qq.com。

入方向和牵引角度一致,并且前牙区骨质较薄,容易导致微种植钉在牵引时发生脱落<sup>[1]</sup>。有学者将种植钉位置后移,植入在上颌第2前磨牙和第1磨牙牙根之间,但是大多数病例上颌第1磨牙近中颊根区域颊侧骨质比较薄。近年来,随着锥形束CT(CBCT)的普及,研究发现上颌第2磨牙近中颊根区域(颧牙槽嵴处)骨质要比第1磨牙近中颊根区域的颊侧骨质厚很多<sup>[6]</sup>。本研究将微种植钉分别植入上颌颧牙槽嵴处和上颌前牙区,在相同条件下进行前方牵引,分析上颌骨旋转趋势特征,以期为临床正畸选择合适的种植钉植入部位提供参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 种植体支抗辅助上颌前方牵引的三维有限元模型的建立

选择1例骨性Ⅲ类上颌发育不足青少年患者,男性,10岁。通过CT扫描等复杂有限元建模程序后,最终建立种植体支抗辅助上颌前方牵引的三维有限元模型。该模型共由节点数1 340 450个、单元数773 547个构成,属于目前建模较为精细的模型,为后续实验提供了良好的平台,保证了模型加载工况时实验结果的准确性。

### 1.2 建模中的其他技术说明

1.2.1 模型的力学参数<sup>[2]</sup> 颅面复合体三维有限元模型不同组织的力学参数见表1。

表1 上颌复合体力学参数<sup>[2]</sup>

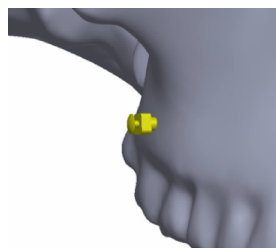
Tab.1 Mechanical parameters of the maxillary complex

力学参数	皮质骨	松质骨	发育期骨缝
弹性模量/kPa	13.7	7.9	0.070 3
泊松比	0.3	0.3	0.450 0

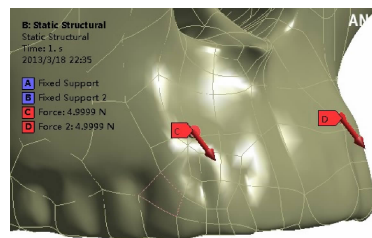
1.2.2 边界条件设定 在模型枕骨大孔周围所有节点施加位移边界条件,进行三向平移和旋转约束。在建立的颅上颌有限元模型两侧颧牙槽嵴区和前牙区的微种植钉最外端均分别施加500 g集中力,以模拟临床治疗上通过牵引橡皮圈产生的正畸力。

1.2.3 微种植钉位置设定 微种植钉1设定在与上颌合平面成60°、第1和第2磨牙根尖间的上方,距离第1磨牙牙槽嵴顶6 mm。微种植钉2设定在

与上颌尖牙骨面90°,距离上颌侧切牙与尖牙牙根上方6 mm处(见图1)。



(a) 种植钉 1



(b) 种植钉 2

图1 微种植钉植入上颌骨不同部位示意图

Fig.1 Schematic diagram of different implantation locations for mini-implants in the maxillary complex

(a) NO.1 mini-implant, (b) NO.2 mini-implant

### 1.3 加载工况设计

(1) 工况1:在种植钉1装配点,向下与合平面成30°夹角(-30°),加载力值为500 g/侧。

(2) 工况2:在种植钉2装配点,向下与合平面成30°夹角(-30°),加载力值为500 g/侧。

(3) 工况3:在种植钉1装配点,向下与合平面成0°夹角(0°),加载力值为500 g/侧。

(4) 工况4:在种植钉2装配点,向下与合平面成0°夹角(0°),加载力值为500 g/侧。

(5) 工况5:在种植钉1装配点,向上与合平面成30°夹角(+30°),加载力值为500 g/侧。

(6) 工况6:在种植钉2装配点,向上与合平面成30°夹角(+30°),加载力值为500 g/侧。

## 2 结果

### 2.1 牵引力与合平面成-30°夹角、不同部位进行牵引上颌骨旋转趋势分析

本实验通过将上颌骨发育不足的三维有限元模型,经过ANSYS软件进行求解计算后,得到上颌骨旋转中心的位置,基本在上颌第2前磨牙与第1磨

牙的根尖上方 25 ~ 30 mm 处(见图2)。在不同部位植入微种植钉进行前方牵引时,上颌骨整体位移趋势有所不同。

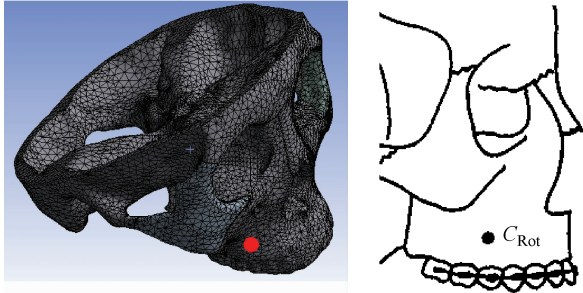
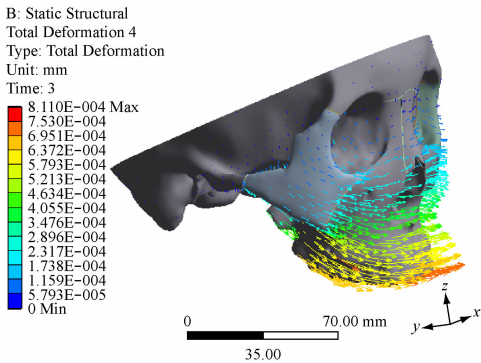


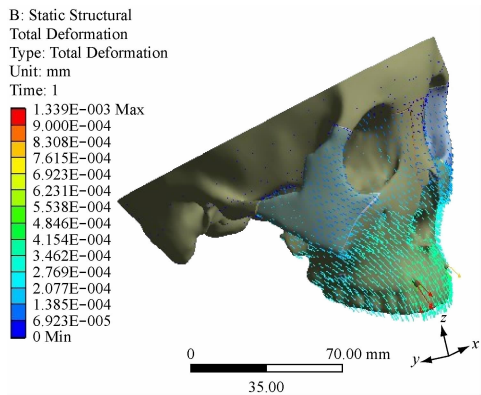
图2 上颌骨阻抗中心示意图

Fig.2 Schematic diagram for resistance center of the maxilla

如图3所示,以 -30°、500 g 牵引力在颧牙槽嵴区进行牵引时,上颌骨整体表现为逆时针旋转趋势;



(a) 工况 1



(b) 工况 2

图3 -30°、500 g 条件下不同部位牵引时上颌骨旋转趋势

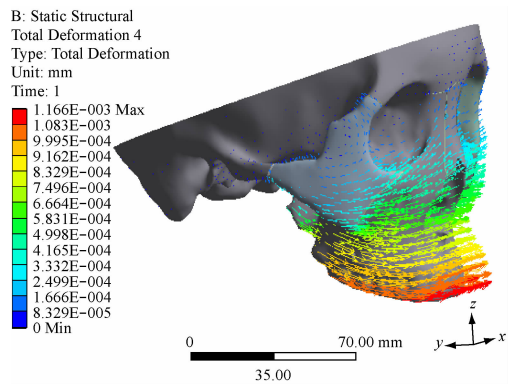
Fig.3 Rotation trend of the maxillary complex with mini-implant assisted protraction at different maxillary positions under the force of 500 g at the angle of -30°

(a) Working condition 1, (b) Working condition 2

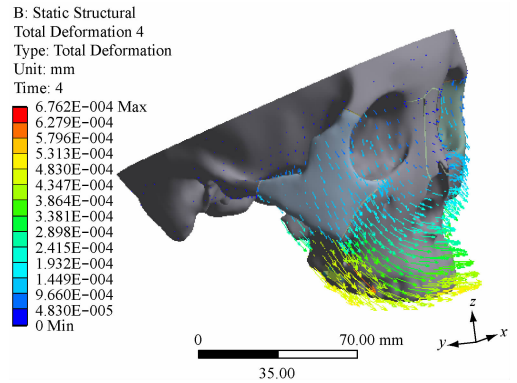
而在前牙区牵引时,上颌骨整体表现为顺时针旋转趋势。

### 2.2 牵引力与合平面成 0° 夹角、不同部位进行牵引上颌骨旋转趋势分析

如图4所示,以 0°、500 g 牵引力在颧牙槽嵴区进行牵引时,上颌骨整体表现为逆时针旋转趋势;而在前牙区牵引时,上颌骨整体表现为顺时针旋转趋势,并且顺时针旋转趋势较 -30°、30° 条件下趋势更为明显。



(a) 工况 3



(b) 工况 4

图4 0°、500 g 条件下不同部位牵引时上颌骨旋转趋势

Fig.4 Rotation trend of the maxillary complex with mini-implant assisted protraction at different maxillary positions under the force of 500 g and at the angle of 0°

(a) Working condition 3, (b) Working condition 4

### 2.3 牵引力与合平面成 30° 夹角、不同部位进行牵引上颌骨旋转趋势分析

如图5所示,以 30°、500 g 牵引力在颧牙槽嵴区进行牵引时,上颌骨整体表现为逆时针旋转趋势;

而在前牙区牵引时,上颌骨整体表现为顺时针旋转趋势。

为后续的有限元求解提供了良好的平台。

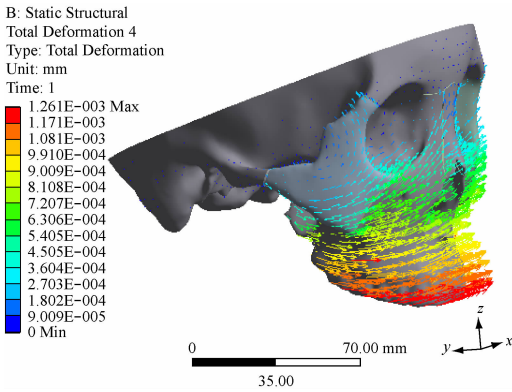
以往文献报道中建立的有限元模型只是将颅骨看成是一种均匀材质,而颅颌面是复杂的生物体结构,简单将其看作一种材质,无疑会影响实验的准确性,造成实验结果的偏差。本文的创新点如下:

(1)建立的上颌骨三维有限元模型精度较高,并且构建了与上颌骨生长发育相关的10条实体骨缝,共由节点数1 340 450个、单元数773 547个构成,属于目前建模较为精细的模型,为后续实验提供了良好的平台。

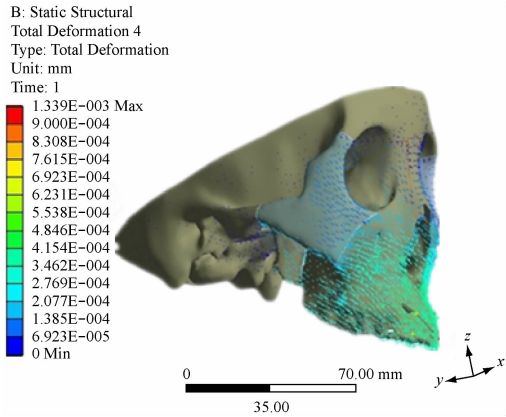
(2)以往的牵引部位,多集中于前牙区,或者是上颌骨第1与第2前磨牙之间,而本实验将种植钉部位植入与上颌颧牙槽嵴区,此处靠近翼腭缝,牵引时能够最大限度地打开翼腭缝,促进上颌骨的生长,改善反合症状;并且上颌颧牙槽嵴区骨质致密,种植钉植入后不易松动脱落,能够获得良好而稳固的前方牵引效果。

临床上利用微种植钉前方牵引治疗上颌骨发育不足的青少年患者时,对于种植钉植入部位往往有较多选择,但是植入何处能最大限度刺激骨缝的生长,并且不引起不利的上颌骨旋转,目前尚无定论。通常将种植钉植入在前牙区进行牵引,但前牙区骨皮质较薄,且牵引方向和植入方向一致,常常导致牵引时种植钉的松动和脱落。林锦荣<sup>[6]</sup>通过CBCT测量发现,上颌骨颧牙槽嵴区的骨皮质较厚,是种植钉植入的理想部位。但具体进行前方牵引时各骨缝的应力分布如何,目前尚不清楚。本实验利用三维有限元方法,分析比较在颧牙槽嵴区和前牙区在同角度、同力值的前方牵引力作用下各骨缝的应力分布特征及上颌骨位移趋势,以期为临床进行前方牵引提供借鉴和参考。

进行上颌骨前方牵引时,如何选择合适的牵引方向一直是争议的热点。上颌力矩直接影响着矫治效果。Nanda<sup>[7]</sup>研究发现,上颌骨的旋转中心存在但是位置并不固定。Tanne等<sup>[8-9]</sup>研究认为,零力矩线经过第1磨牙斜向下在 $-45^{\circ} \sim -30^{\circ}$ 之间。赵志河等<sup>[10]</sup>研究认为,上颌骨旋转中心在上颌尖牙牙根斜向下 $-37^{\circ}$ 附近。张国华等<sup>[11]</sup>建立了颅骨三维有限元模型,认为对于上颌骨发育不足的青少年患者而言,上颌骨旋转中心的位置有可能较正常人前移。另有研究认为<sup>[12-14]</sup>,颅上颌复合体的阻力中心位于



(a) 工况 5



(b) 工况 6

图5 30°、500 g条件下不同部位牵引时上颌骨旋转趋势

Fig. 5 Rotation trend of the maxillary complex with mini-implant assisted protraction at different maxillary positions under the force of 500 g and at the angle of 30°

(a) Working condition 5, (b) Working condition 6

### 3 讨论

本实验采用有限元分析法,建立了高精度的上颌骨发育不足的三维有限元模型,通过材料力学方法测量得到的生物力学材料特性赋予有限元模型<sup>[3]</sup>。其次,单元格类型和网格划分的数量直接决定了有限元模型的精确度<sup>[4]</sup>。划分网格的数量越多,单元格的类型越复杂,模型的生物相似性就越好,在进行有限元求解时的误差也就越小<sup>[5]</sup>。本实验中所选用的网格类型为四面体与六面体单元混合网格,计算成本高,但是保证了计算结果的精确性,

正中矢状平面上,高度在梨状孔下缘,前后向在第2和第1磨牙之间<sup>[15]</sup>;当牵引方向为前下 $37^\circ$ 时,牵引力就经过阻力中心。本实验通过建立上颌骨发育不足的三维有限元模型,经过 ANSYS 软件进行求解计算后,同样支持此观点。上颌骨旋转中心的位置基本上在上颌第2前磨牙与第1磨牙的根尖上方25~30 mm处,不同的牵引部位和角度对上颌骨整体的位移趋势有较大影响。

牵引角度以 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 变化,在500 g牵引力作用下,上颌骨整体位移趋势变化有所不同。在颧牙槽嵴区牵引时,上颌骨整体发生逆时针旋转趋势,并且旋转趋势随着角度的增大而增大,以颌骨中下1/3位移趋势较为明显。在前牙区牵引时,上颌骨整体发生顺时针旋转趋势,并且 $-30^\circ \sim 0^\circ$ 时顺时针旋转趋势增大, $0^\circ \sim 30^\circ$ 顺时针旋转趋势减小,提示在 $-30^\circ \sim 0^\circ$ 范围内某一角度牵引时通过上颌骨阻抗中心。这对于临床针对不同患者选择前方牵引部位具有参考价值,即在颧牙槽嵴区进行牵引时,对反覆合较深的患者打开咬合有积极意义。当治疗浅覆合伴有开合的反合患者时,选择在前牙区进行牵引会有较好的效果。

## 参考文献:

- [1] Creekmore TD, Eklund MK. The possibility of skeletalanchorage [J]. *J Clin Orthod*, 1983, 17 (4): 266-269.
- [2] 刘正兴, 孙雁, 王国庆. 计算固体力学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000: 277-278.
- [3] 龚璐璐. 口腔修复生物力学中三维有限元法应用的研究进展及展望[J]. *医用生物力学*, 2002, 17(2): 119-120.
- [4] 朱秀娟. 有限元分析网格划分的关键技巧[J]. *机械工程与自动化*, 2009, 1(2): 185-186
- [5] 张明, 张德文. 足部三维有限元模型建模方法及其生物学应用[J]. *医用生物力学*, 2007, 12(4): 339-340.
- Zhang M, Zhang DW. Human foot three-dimensional finite element of modeling and its biomechanical applications [J]. *J Med Biomech*, 2007, 22(4): 339-344.
- [6] 林锦荣. 一种新的种植体支抗技术在临床中的应用[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2009, 16(1): 38-44.
- [7] Nanda R. Biomechanical and clinical considerations of modified protraction headgear [J]. *Am J Orthod*, 1980, 78 (2): 125-139.
- [8] Tanne K. Biomechanical effect of anterinfly directed extraoral forces on the craniofacial complex: A study using finite element method [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1989, 95(3): 200-207.
- [9] Tanne K. Biomechanical and clinical changes of the craniofacial complex from orthopedic maxillary protraction [J]. *Angle Orthod*, 1991, 61(2): 145-152.
- [10] 赵志河, 赵美英. 上颌复合体及上颌牙弓阻力中心位置的研究[J]. *口腔正畸学*, 1994, 1(1): 25-26.
- [11] 张国华, 蔡中, 陆群, 等. 前牵引上颌的三维有限元研究: 前牵引方向的探讨[J]. *医用生物力学*, 2000, 15(4): 208-211.
- Zhang GH, Cai Z, Lu Q, *et al*. Three-dimensional finite element method study on the maxillary protraction: The direction of the protraction [J]. *J Med Biomech*, 2000, 15 (4): 208-211.
- [12] Miyakawa J, Tanne K. Finite element analysis for stress in the craniofacial sutures produced by maxillary protraction forces applied at the upper canines [J]. *Br J Orthod*, 1994, 21(4): 343-348.
- [13] Holberg C, Mahaini L, Rudzki I. Analysis of sutural strain in maxillaryprotraction therapy [J]. *Angle Orthod*, 2007, 77 (4): 586-594.
- [14] Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Maxillary protraction with and without maxillary expansion: A finite element analysis of sutural stresses [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009, 136(3): 361-366.
- [15] 林伟就, 邹敏. 上颌前方牵引方向的有限元分析[J]. *上海口腔医学*, 2010, 19(5): 475-476.