

[文章编号] 1000-1182(2011)01-0075-04

# 颌面骨三维有限元模型中骨缝实体模型的建立

刘畅<sup>1,2</sup> 朱宪春<sup>1</sup> 张星<sup>3</sup> 台银霞<sup>1</sup> 闫森<sup>1</sup>

(1.吉林大学口腔医院 正畸科, 长春 130021; 2.长春市口腔医院 正畸科, 长春 130000;  
3.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

[摘要] 目的 在颌面骨三维有限元模型中建立与上颌骨生长密切相关的4条骨缝实体模型。方法 以1名个别正常殆、牙周组织健康、无颞下颌关节疾病的16岁女性为建模素材,应用螺旋CT扫描与有限元法相结合的方法,建立颌面骨的三维有限元模型,并在此基础上建立额颌缝、颧颌缝、颞颥缝、翼腭缝4条与上颌骨生长有关的骨缝实体模型。结果 生成了具有86 575个节点、485 915个单元的颌面骨三维有限元模型,其中包括额颌缝、颧颌缝、颞颥缝、翼腭缝4条实体骨缝。结论 获得了生物相似性良好的颌面骨三维有限元模型。

[关键词] 生物力学; 颌面骨; 三维有限元模型; 骨缝实体模型

[中图分类号] R 783.5 [文献标志码] A [doi] 10.3969/j.issn.1000-1182.2011.01.018

**Sutural physical model building in the three-dimensional finite-element model of maxillofacial bones** LIU Chang<sup>1,2</sup>, ZHU Xian-chun<sup>1</sup>, ZHANG Xing<sup>3</sup>, TAI Yin-xia<sup>1</sup>, YAN Sen<sup>1</sup>. (1. Dept. of Orthodontics, Stomatological Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China; 2. Dept. of Orthodontics, Changchun Stomatological Hospital, Changchun 130000, China; 3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

[Abstract] **Objective** To build the physical model of four suturae which are related to the growth of maxilla in the three-dimensional finite-element model of maxillofacial bones. **Methods** A 16 years old volunteer with individual normal occlusion, good periodontium health condition and without diseases of temporomandibular joint was chosen to be the material of modeling. The three-dimensional finite-element model of the volunteer's maxillofacial bones was built using the CT scan and the finite-element modeling method. Finally we built the physical model of four suturae which were related to the growth of maxilla in the model of maxillofacial bones. **Results** The model of maxillofacial bones with 86 575 nodes and 485 915 elements was generated. This model contained four suturae including sutura frontomaxillaris, sutura zygomaticomaxillaris, sutura temporozygomatica and sutura pterygopalatine. **Conclusion** A three-dimensional finite-element model of maxillofacial bones with good biological similarity was developed.

[Key words] biomechanics; maxillofacial bones; three-dimensional finite-element model; physical model of sutura

由于上颌骨结构的复杂性,颌面骨三维有限元模型的建立一直是生物模型建立中的难点<sup>[1-2]</sup>,而骨缝实体模型的建立更是因其定位困难、结构复杂而成为生物力学研究中的瓶颈<sup>[3]</sup>。本文通过一种新型的技术手段,在颌面骨三维有限元模型中建立4条与上颌骨生长密切相关的骨缝实体模型,为今后的生物力学研究提供模型基础和科学的建模方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

选择1名16岁女性作为建模素材,要求个别正

常殆,牙周组织健康,无颞下颌关节疾病。

### 1.2 颅面复合体螺旋CT扫描

采用普通头部扫描方式对被测者的颅面复合体进行连续横断超薄扫描。在扫描时,被测者取仰卧位,将被测者颈部抬高,头部固定,微张口,咬住预先制作的2 mm厚塑料片以避免上下牙列相接触。确定被测者的咬合平面,使扫描截面与咬合平面平行。扫描参数:球管电压120 kV、电流250 mA,床进速度每周0.8 s,扫描层厚0.67 mm、间隔0.33 mm。然后对扫描后得到的DICOM数据进行整理,总共得到456张二维扫描断层图像数据,将其记录到光盘上。

### 1.3 颌面骨模型的建立

将CT扫描后得到的DICOM数据通过计算机转换

[收稿日期] 2010-02-12; [修回日期] 2010-05-23

[基金项目] 吉林省科技厅基金资助项目(200705348)

[作者简介] 刘畅(1984—),女,吉林人,住院医师,硕士

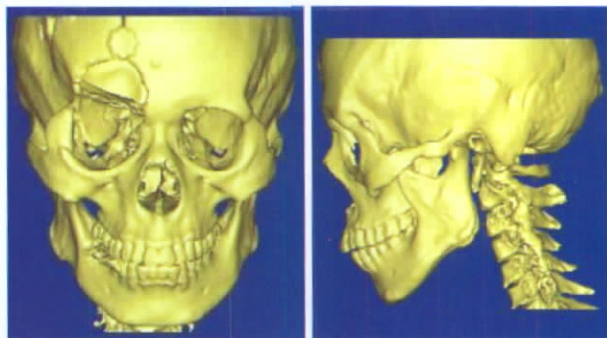
[通讯作者] 朱宪春, Tel: 0431-88130677

为BMP格式，并输入到医学成像软件Mimics 10.0，依据CT扫描横断图像建立直角坐标系 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 轴( $x$ 轴为水平向， $y$ 轴为矢状向， $z$ 轴为冠状向)。取各个断层的CT图，画出轮廓边界形成其轮廓图，并且形成闭合的轮廓曲线。根据CT片层间隔0.33 mm，把代表每个CT扫描断面的轮廓图在空间中按照各自的 $z$ 坐标移动到空间位置，使用Mimics 10.0的三维建模功能自动建立颌面骨的初步三维模型(图1)。并且在此基础上删除实验不需要的颅骨部分，去除上下颌牙列之间的伪影并分离上下颌牙列后，再进行表面光滑处理，从而生成新的颌面骨三维有限元模型(图2)。

### 1.4 骨缝初始模型的建立

将Mimics 10.0建立的三维STL模型导入专业逆向工程软件GEOMAGIC；对面网格数据进行修整，修复几何缺失面，梳理牙齿，分离上下颌骨；沿着

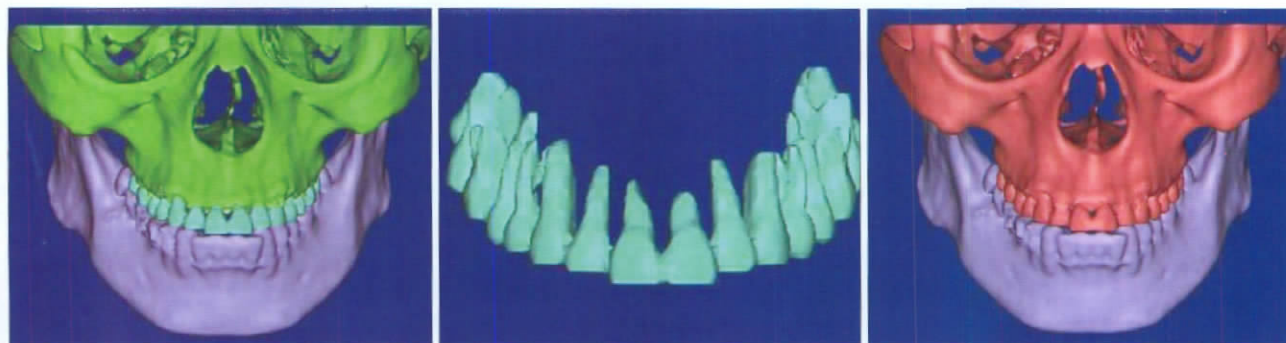
骨缝在颌面骨上的轨迹，采用布尔运算将颌面骨切开，从而得到本研究进行分析所需的基本NURBS曲面模型(图3)。



左：正面观；右：侧面观。

图1 CT扫描后，使用Mimics 10.0软件建立的颌面骨初步三维模型

Fig 1 Preliminary three-dimensional model of maxillofacial bones built by the mimics 10.0 software after the CT scan



左：删除不需要的颅骨部分；中：分离上颌牙列；右：表面光滑处理后的颌面骨三维模型。

图2 对颌面骨初步模型进行表面光滑处理

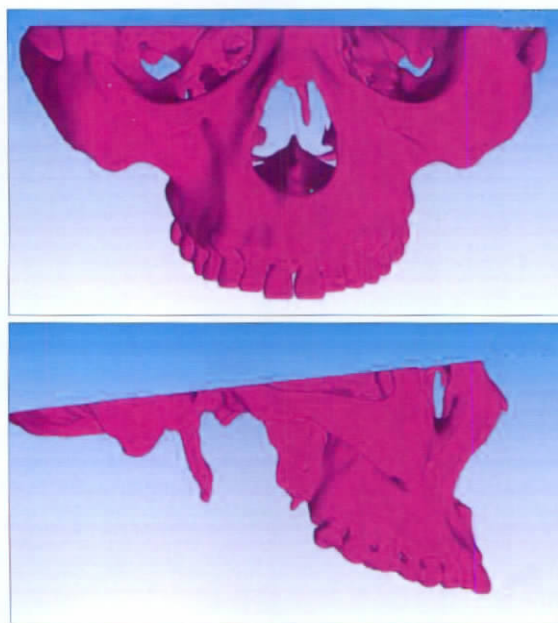
Fig 2 Surface-smooth processing of the preliminary three-dimensional model of maxillofacial bones

### 1.5 骨缝实体模型(三维有限元模型)的建立

将在GEOMAGIC软件中修改后的面网格数据导入ICEM-CFD软件中，同时在颌面骨模型上建立与额颌缝、颞颥缝、翼腭缝的相应曲面，基于Octree网格技术按模型曲面进行填充网格划分，形成初步四面体网格；在此基础上，通过已生成网格在额颌缝、颞颥缝、翼腭缝走向特征的面投影，生成1 mm厚的棱柱形网格，由此建立带有骨缝实体模型的颌面骨三维有限元模型。在颞颥缝的相应位置上选取所属面网格，在此网格法向生成颞颥缝网格。

## 2 结果

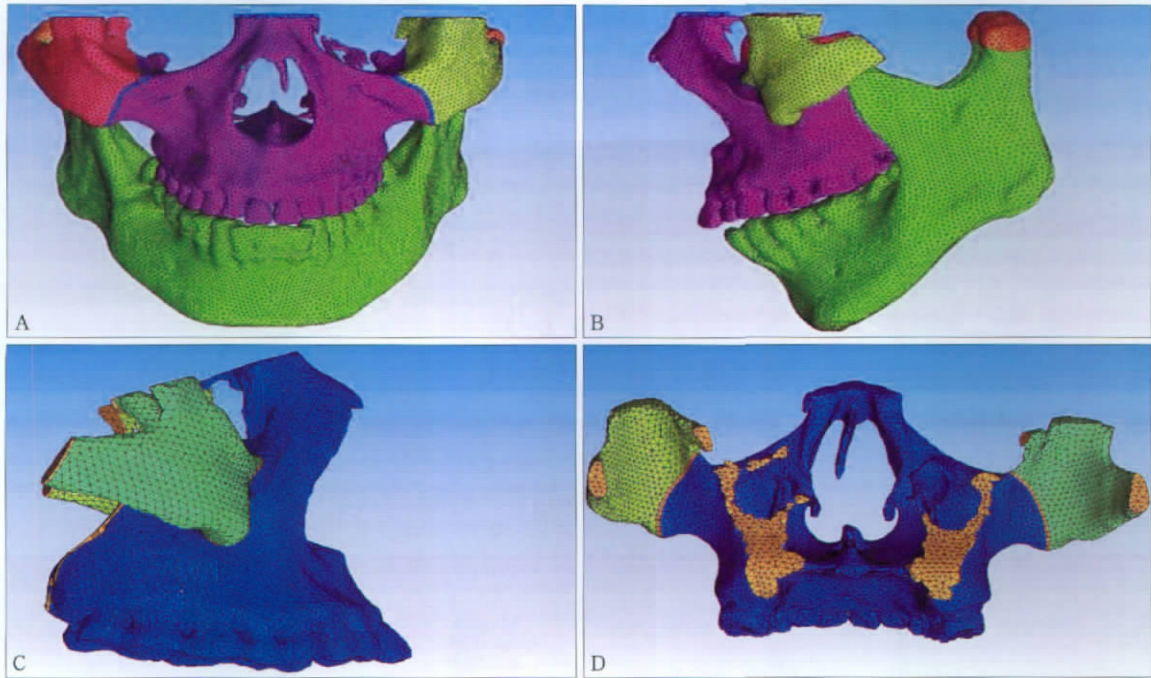
本研究最终生成了具有86 575个节点、485 915个单元的颌面骨三维有限元模型，其中包括额颌缝、颞颥缝、颞颥缝、翼腭缝4条实体骨缝(图4)。将修复后的STL模型导入ICEM-CFD软件进行网格划分，基于最终的几何结构对材料属性进行赋值，其弹性模量与泊松比赋值见表1。



上：颌面骨正面观；下：颌面骨侧面观。

图3 NURBS曲面模型

Fig 3 NURBS model of curved surface



A: 额颌缝及颧颌缝; B: 颞颥缝; C: 翼腭缝侧视图; D: 翼腭缝后视图。

图4 建立的4条实体骨缝

Fig 4 Physical model of four suturae

表1 模型各部位的弹性模量与泊松比

Tab 1 Elastic modulus and Poisson's ratio of the model

部位	弹性模量/MPa	泊松比
骨	$1.37 \times 10^4$	0.30
牙	$2.07 \times 10^4$	0.30
骨缝	38.6	0.45

### 3 讨论

2001年Verrue等<sup>[4]</sup>以发育期犬为建模素材,建立颅面复合体三维有限元模型,并融入上颌骨周围的骨缝;虽然该研究对骨缝材料属性的推测并不充分,但是将颅颌面三维有限元的研究向前推进了一步。2006年侯敏等<sup>[5]</sup>在建立的颅面复合体三维有限元模型上,利用软件在骨缝区选取部分实体单元虚拟为骨缝结构,建立了具有10条骨缝的9岁上颌发育不全女性患者的颅面复合体三维有限元模型;该模型未包括下颌骨复合体,同时其生物力学参数目前还是未知数,因此误差较大。张彤等<sup>[6]</sup>依据颅面部固有的骨缝位置,将整个颅面复合体的三维有限元模型切分成9个部分,采用具有一定分离力的接触关系来模拟骨缝,分离力的大小相当于骨缝断裂的强度;但是该研究中前方牵引的结果与临床的实际效果有差别。这些研究表明:近年来国内外学者对颌面骨尤其是上颌骨三维有限元模型的建立提出了很多方法,对骨缝的建立也有所突破,但未能建立骨缝真正的实体模型。

本文所采用的有限元分析方法,能够建立高精度的三维人体结构模型,并把通过材料力学方法测量得到的生物力学材料特性赋予此模型,在计算机中建立起虚拟的“实验标本”,然后对模型进行实验条件仿真。有限元分析方法具有实验方法无法比拟的优势:它可根据需要产生各种各样的标本,同一个标本在虚拟计算中可进行无数次加载或组合而不会被损坏,标本也可以进行修正以模拟任何病理状态。但是,模型化的难点在于如何建立有效而准确的模型。本次分析的难点在于如何基于现有CT扫描数据实现结构的三维重现,以达到分离上下颌骨及建立骨缝的目的,从而获得真实的内部结构。本实验中,首先应用螺旋CT与Mimics 10.0软件相结合,初步建立了颌面骨模型,然后在专业逆向工程软件GEOMAGIC中将骨缝的轨迹在颌面骨模型中切开,最后将面网格数据导入ICEM-CFD软件中,基于Octree网格技术按骨缝模型曲面生成四面体网格后,生成厚度为1 mm的棱柱形网格,由此建立了带有骨缝的上颌骨实体模型。

额颌缝、颧颌缝、颞颥缝、翼腭缝4条骨缝与上颌骨的生长有密切关系。骨缝三维有限元模型的建立可以更加科学地模拟受力过程。在以往的研究中,颌面骨三维有限元模型的建立往往将整个上颌骨复合体都设为连续、均质、各向同性的线性材料,并没有建立骨缝网格,这样在骨缝中的应力就表现为均匀性,一旦对模型进行加载,就会产生较大的误差。事实上,骨缝在颌面骨中属于较为薄弱

的部位，其性质属于纤维结缔组织，弹性模量远远低于骨组织，与牙周膜相似。有研究<sup>[7-8]</sup>表明：张力及压力对骨缝的影响与牙周膜类似，在外力作用下，骨缝与牙周膜具有相似的生物力学行为<sup>[9]</sup>。本研究参照文献<sup>[10]</sup>，将骨缝的弹性模量设为38.6 MPa，与牙周膜的弹性模量相近。在此模型基础上进行加载，能使骨缝中的应力分布更符合实际情况，得到更为理想的生物力学效应，为临床工作提供更加精确的数据。

在本实验中，骨缝的厚度被设为1 mm，这是在保证网格质量的同时，不影响计算结果的精确性所采取的近似设置。由于颧颌缝与颧颧缝都处于颧骨上，如将颧颌缝切开，则颧颧缝无法建立，故在颧颌缝的相应位置选取所属面网格，在此网格法向生成颧颌缝网格。本实验中建立的模型并不包括颧下颌关节，如果要建立颧颧缝的网格，就必须切除这一部分，否则无法真正地模拟上颌骨的受力状态。得到划分网格的模型之后，就可以采用简化的前方牵引装置模型对颌面骨进行牵引，并使用该模型分析矫治效果。

[参考文献]

[1] Ayoub AF, Stirrups DR. The practicability of finite-element analysis for assessing changes in human craniofacial morphology from cephalographs[J]. Arch Oral Biol, 1993, 38(8) :679-683.

[2] 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.

[3] 王以玲, 寇波, 王春玲, 等. 骨缝精确标识性颌面骨三维有限元模型的建立[J]. 中华医学实践杂志, 2006, 5(7) :727-729.

WANG Yi-ling, KOU Bo, WANG Chun-ling, et al. The construction of suture marked three-dimensional finite element model of human craniofacial complex[J]. Chin J Practice Medicine, 2006, 5(7) :727-729.

[4] Verrue V, Dermaut L, Verheghe B. Three-dimensional finite element modeling of a dog skull for the simulation of initial orthopaedic displacements[J]. Eur J Orthod, 2001, 23(5) :517-527.

[5] 侯敏, 柳春明, 张海钟, 等. 虚拟骨缝在颌面复合体三维有限元模型中的构建及应用[J]. 中华整形外科杂志, 2006, 22(3) :165-168.

HOU Min, LIU Chun-ming, ZHANG Hai-zhong, et al. Suppositional sutural construction and application in the three-dimensional finite element model of cranio-facial complex[J]. Chin J Plast Surg, 2006, 22(3) :165-168.

[6] 张彤, 刘洪臣, 王延荣, 等. 上颌骨复合体三维有限元模型的建立[J]. 中华口腔医学杂志, 2000, 35(5) :374-376.

ZHANG Tong, LIU Hong-chen, WANG Yan-rong, et al. The construction of three-dimensional finite element model of human maxillary complex[J]. Chin J Stomatol, 2000, 35(5) :374-376.

[7] Nanda R. Protraction of maxilla in rhesus monkeys by controlled extraoral forces[J]. Am J Orthod, 1978, 74(2) :121-141.

[8] Brandt HC, Shapiro PA, Kokich VG. Experimental and post-experimental effects of posteriorly directed extraoral traction in adult Macaca fascicularis[J]. Am J Orthod, 1979, 75(3) :301-317.

[9] Nanda R, Goldin B. Biomechanical approaches to the study of alterations of facial morphology[J]. Am J Orthod, 1980, 78(2) :213-226.

[10] Jafari A, Shetty KS, Kumar M. Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces—a three-dimensional FEM study [J]. Angle Orthod, 2003, 73(1) :12-20.

(本文编辑 胡兴戎)

(上接第 74 页)

TANG Chu-hua, SHI Sheng-gen, NIU Zhong-ying, et al. Primary culture of human periodontal ligament fibroblasts by explants with enzymatic digestion[J]. Chin J Med, 2004, 84(8) :656-658.

[12] Digirolamo CM, Stokes D, Colter D, et al. Propagation and senescence of human marrow stromal cells in culture: A simple colony-forming assay identifies samples with the greatest potential to propagate and differentiate[J]. Br J Haematol, 1999, 107(2) :275-281.

[13] 高秦, 刘宏伟, 金岩, 等. 人牙周膜干细胞的体外分离、纯化及初步鉴定[J]. 实用口腔医学杂志, 2006, 22(1) :34-37.

GAO Qin, LIU Hong-wei, JIN Yan, et al. Isolation, purification

and identification of human periodontal ligament stem cells[J]. J Pract Stomatol, 2006, 22(1) :34-37.

[14] 潘峰, 丁寅, 王光, 等. 人牙周膜干细胞的分离培养及生物学特性研究[J]. 中国美容医学, 2008, 17(5) :697-700.

PAN Feng, DING Yin, WANG Guang, et al. Isolation, identification and bionomics of human periodontal ligament stem cells[J]. Chin J Aesth Med, 2008, 17(5) :697-700.

[15] Pittenger MF, Mackay AM, Beck SC, et al. Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells[J]. Science, 1999, 284(5411) :143-147.

(本文编辑 汤亚玲)