

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者的下颌骨和颞下颌关节三维有限元模型的构建

何琴¹⁾, 张佐²⁾, 曲爱丽³⁾, 邵钰¹⁾, 张沙沙¹⁾, 滕雍辉¹⁾,

(1) 宁夏医科大学口腔医学院, 宁夏银川 750004; 2) 宁夏回族自治区人民医院, 宁夏银川 750021;
3) 宁夏大学, 宁夏银川 750021)

[摘要] **目的** 建立阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征 (obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS) 患者的下颌骨和颞下颌关节 (并包含上气道及周围结构) 的三维有限元模型, 为治疗 OSAHS 从颞颌关节方面提供参考依据. **方法** 对 OSAHS 患者颞颌关节及上气道行薄层 CT 扫描, 获得 OSAHS 患者颞颌关节及上气道 DICOM 格式的图像信息, 采用 Mimics 三维建模软件、Imageware 逆向工程学软件、Ansys 有限元分析软件建立的三维有限元模型. **结果** 建立了 OSAHS 患者下颌骨和颞下颌关节 (并包含上气道及周围结构) 的三维有限元模型, 共得到 949 850 个单元, 932 932 个节点. 既能精确显示其三维空间结构和形态, 又可以模拟下颌前移式口腔矫治器治疗 OSAHS, 为进一步研究此类方法治疗 OSAHS 从颞颌关节方面提供参考依据. **结论** 建立准确、可行、灵活模拟操作的 OSAHS 患者下颌骨和颞下颌关节 (并包含上气道及周围结构) 三维有限元模型, 为临床治疗 OSAHS 从颞颌关节方面奠定基础.

[关键词] 颞下颌关节; 下颌骨; 三维有限元; 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征

[中图分类号] R445.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003 - 4706 (2012) 04 - 0035 - 04

Construction of the Three - dimensional Finite Element Model of the Mandibular and Temporomandibular Joint in Patients with Obstructive Sleep Apnea Hypopnea Syndrome

HE Qin¹⁾, ZHANG Zuo²⁾, QV Ai - li³⁾, SHAO Yu¹⁾, ZHANG Sha - sha¹⁾, TENG Yong - hui¹⁾

(1) College of Stomatology, Ningxia Medical University, Yinchuan Ningxia 750004; 2) Ningxia People's Hospital, Yinchuan Ningxia 750021; 3) Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021, China)

[Abstract] **Objective** To construct the three-dimensional finite element model of the mandible and temporomandibular joint (contains the upper airway and surrounding structures) in patients with OSAHS (obstructive sleep apnea hypopnea syndrome), and provide references for the treatment of OSAHS from the temporomandibular joint. **Methods** The section images of an OSAHS patient's mandible and temporomandibular joint were acquired by thin-section CT scanning and digital image processing was utilized to construct a three-dimensional finite element model by using mimics, imageware and ansys software. **Results** The three-dimensional finite element model was constructed which including 949850 elements and 932932 nodes with the mandible and temporomandibular joint. The exact three-dimensional shape of model was well constructed; it also simulated mandibular advancement oral appliance for the treatment of OSAHS to provide a reference for further study of the treatment from the temporomandibular joint. **Conclusions** The three-dimensional finite element model of the mandible and temporomandibular joint (includes the upper airway and surrounding structures) is more accurate and applicable. It is a basis for further study of OSAHS treatment from the temporomandibular joint.

[基金项目] 宁夏回族自治区自然科学基金资助项目 (NZ-0714); 宁夏回族自治区科技成果转化专项资金资助项目 (2006-12)

[作者简介] 何琴 (1981~), 女, 新疆阿克苏市人, 讲师, 在读硕士研究生, 主要从事口腔正畸学临床科学研究工作.

[通讯作者] 张佐. E-mail: yzhez@163.com

[Key words] Temporomandibular joint; Mandible; Three-dimensional finite element; Obstructive sleep apnea syndromes

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征 (obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS) 是指在睡眠期间反复发生上气道塌陷, 软组织阻塞并引起呼吸间歇性暂停的疾病, 是一种具有潜在致死性的疾病^[1], 严重损害人们的身心健康. 近年来, 多数学者认为下颌前移式口腔矫治器是治疗 OSAHS 患者的简单且有效的方法^[2], 其作用机理是通过使下颌骨前移, 带动舌体、软腭等组织向前向下移位, 促使咽腔扩大, 使咽部气道狭窄点解除或变宽从而达到治疗 OSAHS 的目的^[3]. 而颞下颌关节 (temporomandibular joint, TMJ) 是口腔系统重要的组成部分, 它参与完成口腔系统的所有功能活动. 在临床治疗过程中, 下颌骨移位不当时, 患者的疗效不明显或者患者口面肌肉、关节不能适应, 从而使关节的适应能力降低, 有时可出现颞下颌关节损伤. 由于颞下颌关节是复杂的三维几何形态, X 线投影测量、CT 及 MRI 等均不能精准反映其动态变化. 计算机三维有限元模型可以真实的反映颞下颌关节的动态变化特点, 并能排除物理模拟试验中各种不确定的干扰因素, 能捕捉到通过实验难以观测到的现象. 所以本研究运用薄层 CT 技术和 Mimics 三维建模软件、Imageware 逆向工程学软件、Ansys 有限元分析软件建立的三维有限元模型, 利用此模型从颞颌关节方面研究 OSAHS, 为其临床治疗提供参考依据.

1 材料与方法

1.1 样本来源

按照中华医学会呼吸病学分会睡眠呼吸疾病学组“阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征”诊断标准和病情分度的中度病情标准, 选取 1 名经夜间多导睡眠仪 (PSG) 监测并确诊为 OSAHS 的男性志愿者 1 名, AHI 为 36, LSaSO₂ 为 83.76%. 未做过针对 OSAHS 的任何治疗. 无耳鼻咽喉科疾病引起的气道阻塞, 无严重的牙周疾病; 无颞下颌关节紊乱病史. 开口型和开口度正常, 无关节弹响及杂音, 无关节局部及相关肌肉疼痛; 牙列整齐, 前牙覆盖, 覆殆正常, 上、下第一磨牙为中性关系; 无正畸及殆治疗史; 无颞下颌关节外伤史; 无风湿、类风湿及其它系统病史 (志愿者已签定知情同意书).

1.2 设备与软件

采用 Lightspeed pro 16 螺旋扫描 CT 和 ADW4.3 工作站 (GE 公司, 美国); Mimics10.01 扫描数据模拟重建软件 (Materialize 公司, 比利时); Imageware10.0 逆向工程软件 (EDS 公司, 美国); Ansys8.0 有限元分析软件 (Ansys 公司, 美国).

1.3 三维有限元模型的建立

1.3.1 CT 图像数据采集 利用 CT 机, 对测试对象进行数据采集. 摄片体位: 测试对象取仰卧位, 身体两侧对称无偏斜, 使下颌骨后缘与 C2 椎体前缘接近, 头部两侧对称, 勿吞咽和咀嚼, 上下牙齿自然对合, 舌尖抵上切牙舌面. 扫描范围: 甲状软骨至眼眶下缘. 颌平面垂直向下, 扫描线与颌平面平行进行连续扫描. 扫描过程中保证拍摄过程中体位不变, 保证输出的每张 CT 片其中心点都通过同一长轴. 扫描参数如下: 球管电压与电流 120 kV /230 mAs, 层厚 0.625 mm, 共得到 218 层 CT 图像, 以 DICOM 格式数据文件刻录存盘.

1.3.2 CT 图像的处理 将 CT 扫描所获得 DICOM 格式数据文件导入 Mimics10.01 软件. 根据实验要求, 利用软件自带的阈值分割技术, 将所需的组织如骨骼 (颞骨关节窝, 下颌骨和舌骨)、肌肉、气道等通过不同的灰度值进行边缘自动识别, 并经过区域生长等方法将边缘识别清晰. 将所需组织在 CT 图片中逐张进行识别与处理, 包括填充其中的孔洞等, 并进行三维图像的生成 (见图 1).



图 1 三维面模型

Fig. 1 The 3D model

1.3.3 模型建立 将所得到的模型导入 imageware 逆向工程软件, 得到所有组织的点云数据并处理, 以便导入有限元模型进行体模型建立. 再将数据导入 Ansys8.0 软件中, 得出几何模型 (见图 2), 然后对该模型进行网格划分, 定义材料常数见表 1, 得出有限元模型.

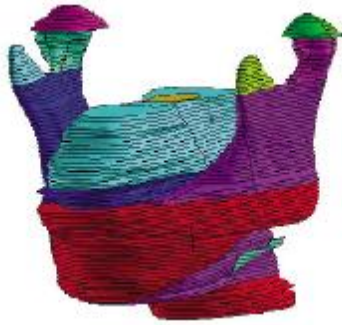


图2 几何模型

Fig. 2 Geometric model

表1 模型定义材料常数

Tab. 1 The model definition material constant

项目	弹性模量 (mPa)	泊松比
骨密质	13 700	0.3
骨松质	1 820	0.3
气道肌肉	1	0.45

2 结果

采用10节点Solid92单元、自由网格划分,得到骨密质、骨松质、肌肉和气道各单元数和节点数分别为:562 920、50 141、336 789个单元,544 929、84 869、303 134个节点,设定模型中各材料和组织为连续、均质和各同向性的线弹性材料.建立了一个包括OSAHS患者下颌骨、颞下颌关节(并包含上气道及周围结构)的三维有限元模型(见图3).



图3 有限元模型

Fig. 3 Finite element model

3 讨论

建模方法:本实验选用螺旋CT断层影像作为数据来源,采用DICOM数据格式输出,直接进行数据读取和处理,避免人为或反复导入、导出数据造成失真或丢失,提高了模型的几何精度和

结构相似性,提高了建模的效率和可操作性.实验使用Mimics软件,Imageware逆向工程软件,Ansys有限元分析软件相结合的方法,首次建立了OSAHS患者下颌骨、颞下颌关节(并包含上气道及周围结构)的三维有限元模型.在建模过程中,实验涉及到下颌骨、颞骨关节窝、下颌骨髁状突、舌骨的硬组织结构和肌肉、上气道等软组织,笔者将模块化模型拟合成整体模型,并利用逆向工程软件对模型进行验证,证明了模型有效性,扩大了模型的应用范围.

建立OSAHS患者下颌骨、颞下颌关节(并包含上气道及周围结构)三维有限元模型的意义:由于颞下颌关节是人体中运动最灵活、结构最复杂的关节,与颅颌系统的整体功能密切相关(包括咀嚼、吞咽、语言等).TMJ有限元模型理论分析很早就成为国内外口腔学者感兴趣的话题.早期国外学者通过切片法和CT法在尸体的基础上建立了下颌骨或颞下颌关节的三维有限元模型并进行了相应的应力分析^[4,5].随着TMJ三维影像重建技术的应用,1995年国内学者胡敏等^[6]首次利用颞下颌关节CT扫描资料和计算机图像分析处理技术以及三维有限元方法相结合,建立了颞下颌关节中髁状突的三维有限元模型.周学军、赵志河^[7,8]等通过建立下颌骨及包括下颌骨的颞下颌关节三维正交各向异性有限元模型,并模拟咀嚼肌、韧带等边界约束,提高模型的相似性,为下颌骨的受力分析奠定基础.杨辉、刘洪臣等^[9]利用MR影像建立颞下颌关节三维有限元模型,观察对关节盘建模的效果,并发现建成后的模型具有良好的形态,与关节区及下颌骨的MR三维图像均具有良好的相似性.Hsu等^[10]采用无牙颌的正常人下颌骨CT图像,使用Ansys三维有限元分析软件对下颌骨皮质骨及内部松质骨分别建模,并将一侧髁状突替换为人工髁状突,模型中各组织假设为连续、均质、各向同性的线弹性材料,建立了4种不同类型骨组织内人工髁状突替换后的有限元模型.Palomar等^[11]采用1名正常人类女性的CT与MRI图像,并将两者相结合,由CT图像获得了硬组织的轮廓,由MRI图像构建了关节盘及关节囊的轮廓,很好地保证了模型的几何相似性,并对关节盘采用了横观各向同性材料假设,模型的真实性的得到了进一步的提高,本研究是通过建立OSAHS患者下颌骨、颞下颌关节(并包含上气道及周围结构)三维有限元模型,为从颞颌关节方面研究OSAHS奠定基础.同时,本模型可以进行反复使用,不会给患者带来身体和经济负担,既能精确

显示 OSAHS 患者下颌骨及颞颌关节的三维空间结构和形态, 又能模拟下颌前移式口腔矫治器治疗 OSAHS, 为进一步研究此类方法治疗 OSAHS 从颞颌关节方面提供参考依据。

[参考文献]

- [1] 何权瀛, 陈宝元. 睡眠呼吸病学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 90, 360.
- [2] 高雪梅, 曾祥龙, 傅民魁, 等. 口腔矫治器治疗阻塞性睡眠呼吸暂停综合症的下颌定位 [J]. 口腔正畸学, 2000, 7(1): 20 - 22.
- [3] 黄敏方, 周嫣, 陈世稳, 等. 有效治疗 OSAHS 的口腔矫治器戴入后髁状突位置的变化 [J]. 实用口腔医学杂志, 2009, 25(2): 285 - 288.
- [4] HART P T, HENNEBELVV, THONGPREDAN. Modeling the biomechanics of the mandible: a three-dimensional finite element study [J]. J Biomech, 1992, 25: 261.
- [5] TANAKA E, TANNE K, SAKUDAM. A three-dimensional finite element model of the mandible including the TMJ and its application to stress analysis in the TMJ during clenching [J]. Med Eng Phys, 1994, 16: 316.
- [6] 胡敏, 田晓玲, 杨勇琪, 等. 颞下颌关节的三维有限元法研究 [J]. 军医进修学院学报, 1995, 16(3): 181 - 183.
- [7] 周学军, 赵志河, 赵美英, 等. 下颌骨三维有限元模型的边界约束设计 [J]. 华西口腔医学杂志, 1999, 17(1): 29 - 32.
- [8] 周学军, 赵志河, 赵美英, 等. 包括下颌骨的颞下颌关节三维有限元模型的建立 [J]. 实用口腔医学杂志, 2000, 16(1): 17 - 19.
- [9] 杨辉, 刘洪臣, 荣起国, 等. 磁共振影像颞下颌关节三维有限元模型的建立 [J]. 口腔颌面修复学杂志, 2000, 1(1): 20 - 22.
- [10] HSU J T, HUANG H L, TU M G, et al. Effect of bone quality on the artificial temporomandibular joint condylar prosthesis [J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2010, 109(6): 1 - 5.
- [11] PEREZ DEL PALOMAR A, DOLARE M. Finite element analysis of the temporomandibular joint during lateral excursions of the mandible [J]. Biomech, 2006, 39(12): 2153 - 2163.

(2012 - 02 - 10 收稿)

(上接第 24 页)

- 71 - 81.
- [6] USHIKI T, WATANABE S. Distribution and ultrastructure of the autonomic nerves in the mouse pancreas [J]. Microsc Res Tech, 1997, 37(5-6): 399 - 406.
- [7] POPESCU L M, HIESCU M E, IONESCU N, et al. Intersitial cells of Cajal in pancreas [J]. J Cell Mol Med, 2005, 9(1): 169 - 190.
- [8] 钟岚, 范建高, 王国良. 肥胖、高脂血症性脂肪性肝炎模型的建立 [J]. 实验动物科学与管理, 2000, 17(2): 16 - 20.
- [9] FAN J G, ZHONG L, WANG G L, et al. The role of kupffer cells in the pathogenesis of nonalcoholic steatohepatitis of rats chrobicauly feb with high-fat diet [J]. Zhonghua Ganzangbing Zazhi, 2001, 9(1): 16 - 18.
- [10] 许正婕, 范建高, 王国良. 高脂饮食致大鼠非酒精性脂肪性肝炎肝纤维化模型 [J]. 世界华人消化杂志, 2002, 10(2): 392 - 396.
- [11] 中华医学会肝脏病学分会脂肪肝和酒精性肝病学组. 非酒精性脂肪性肝病诊疗指南(2010年1月修订) [J]. 胃肠病学, 2010, 15(11): 676 - 680.

(2012 - 02 - 02 收稿)