

临床研究

DOI: 10.11699/cyxb20130731

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者治疗中下颌逐步前伸引起髁状突位置变化的三维有限元研究

何 琴¹, 张 佐², 曲爱丽³

(1. 宁夏医科大学口腔医学院口腔正畸教研室, 银川 750004; 2. 宁夏回族自治区人民医院口腔科, 银川 750021;
3. 宁夏大学机械工程学院基础部, 银川 750021)

【摘要】目的:探讨阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征(obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS)患者口腔矫治器治疗时下颌逐步前伸对髁状突位置变化的影响。**方法:**采用 CT、Mimics、Imageware 及 Ansys 有限元分析软件建立 OSAHS 患者颞下颌关节、下颌骨及上气道的三维有限元模型, 分别模拟下颌位于最大前伸量的 20%、40%、60%、68%、70%、75%、80%、100% 时, 观测关节间隙(前、上、后)的位置变化。**结果:**下颌逐步前移不同量时, 关节间隙的大小也发生着相应的变化。随着下颌骨水平前移量的增加, 关节间隙的大小也不断增大, 以关节前间隙的变化最明显, 关节上间隙的变化次之, 关节后间隙的变化再次之。**结论:**通过观测 OSAHS 患者髁状突的位置变化, 为临床利用口腔矫治器治疗 OSAHS 从颞颌关节方面提供理论基础。

【关键词】颞下颌关节; 髁状突; 三维有限元; 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征

【中国图书分类法分类号】R783.5

【文献标志码】A

【收稿日期】2012-11-07

Positional changes of condyle with the gradual mandibular forward among OSAHS patients in the three-dimensional finite element study

HE Qin¹, ZHANG Zuo², QU Aili³

(1. Teaching and Research Section of Orthodontics, School of Stomatology, Ningxia Medical University;
2. Department of Stomatology, People's Hospital of Ningxia Hui Autonomous Region;
3. Department of Basic Medicine, School of Mechanical Engineering, Ningxia University)

【Abstract】Objective: To explore the effects of gradual mandibular forward on condyle position changes among patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome (OSAHS). **Methods:** Three-dimensional finite element model of mandible and temporomandibular joint was constructed using CT, Mimics, Imageware and Ansys software. Changes in positions of joint space (anterior, superior and posterior) were estimated when mandible forward in 20%, 40%, 60%, 68%, 70%, 75%, 80% and 100% of the maximum protrusion. **Results:** As the mandible gradually forwarding, joint spaces underwent corresponding changes. With the increase in forward level of the mandible, displacement of the joint space was also increased; the most obvious gap was the anterior, followed by the superior and posterior. **Conclusions:** Observation on condyle position changes in patients with OSAHS provides a theoretical basis for clinical use of oral appliance in the treatment of patient with OSAHS from the temporomandibular joint.

【Key words】temporomandibular joint; condyle; three-dimensional finite element; obstructive sleep apnea hypopnea syndrome

阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征(obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS)是指患者睡眠时上气道塌陷阻塞所引起的呼吸暂停并伴有通气不足、打鼾、睡眠结构紊乱、频繁发生血氧饱和度下降等病症^[1], 严重损害人们的身心健康。在口腔正畸治疗领域, 许多学者利用下颌前移式口腔矫治器

治疗 OSAHS 患者, 该方法简单、有效^[2]。国内外研究显示^[3]: 下颌前伸口腔矫治器在用于治疗轻中度 OSAHS 时, 能有效的消除睡眠中呼吸暂停及低通气; 其治疗机制就是患者戴入矫治器后, 移动患者下颌骨, 使下颌骨向前向下移位, 带动舌体、软腭等组织的向前下移位, 从而使咽腔扩大, 咽部气道狭窄点解除或变宽从而达到治疗 OSAHS 的目的。由于髁状突是下颌骨及颞下颌关节的重要组成部分, 伴随着下颌移位, 髁状突亦同时发生相应的位置变化。近年来, 三维有限元法已被广泛应用于医学

作者介绍: 何 琴, Email: hq_lj827@126.com,

研究方向: 口腔正畸学及阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征。

通信作者: 张 佐, Email: yzhez@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81260171)。

各个学科的研究。在临床上,利用该方法研究 OSAHS 的报道较少见;对于利用有限元法研究口腔矫治器对 OSAHS 患者髁状突位移影响的报道国内外尚未见到。所以本研究运用 CT、Mimics、Imageware 及 Ansys 有限元软件建立 OSAHS 患者下颌骨及颞下颌关节三维有限元模型,并对模型进行下颌逐步前伸模拟,观测下颌前伸不同位置时髁状突位置的变化情况。

1 材料与方法

1.1 研究对象

严格按照中华医学会呼吸病学分会睡眠呼吸疾病学组 OSAHS 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监测并确诊为 OSAHS 的男性志愿者(已签定知情同意书)。患者睡眠呼吸暂停低通气指数为 36,最低血氧饱和度为 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、严重牙周疾病、颞下颌关节紊乱病史;牙列整齐、前牙覆盖、覆牙合正常,上、下第 1 磨牙为中性关系;无上下颌骨与牙齿矢状向不调,开口型和开口度正常;无关节弹响及杂音、关节局部及相关肌肉疼痛、正畸及牙合治疗史、颞下颌关节外伤史、风湿、类风湿及其他系统病史^[4]。

1.2 CT 扫描和三维有限元模型的构建

采用 ADW4.3 工作站(GE 公司,美国)和 Lightspeed pro 16 螺旋扫描 CT 机,对测试对象进行数据采集。摄片体位:该志愿者取仰卧位,身体对称两侧无偏斜,使下颌骨后缘与 C2 椎体前缘接近,头部对称,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。将 CT 扫描所获得 DICOM 格式数据文件导入 Mimics10.01 扫描数据模拟重建软件(Materialize 公司,比利时)软件。根据实验要求,进行三维图像的生成,将所得到的模型导入 Imageware10.0 逆向工程软件(EDS 公司,美国)及 Ansys 8.0 有限元软件(Ansys 公司,美国)中,得出几何模型,然后对该模型进行网格划分,定义材料常数(表

表 1 模型定义材料常数

Tab.1 Constant of model definition materials

项目	弹性模量 (mPa)	泊松比
骨密质	13 700	0.30
骨松质	1 820	0.30
气道肌肉	1	0.45
关节盘	44.1	0.40

1),设定模型中各材料和组织为连续、均质和各向同性的线弹性材料。

1.3 边界约束及模型验证

边界约束:实验设定上气道后壁不动,舌骨-肌肉-下颌骨连接为一整体、均质弹性体;将肌肉末端、舌骨内侧与相应上气道进行连接。对下颌骨的髁突、喙突限制所有自由度,下颌角肌肉附着处限制 X、Z 方向位移,不限制下颌前伸。对建立的模型进行相关力学相似性的验证:在下颌骨模型上,分别在磨牙、前磨牙及侧切牙上分别加载 300、150、60 N 的力,限制下颌角和髁突、喙突的刚性位移,对下颌骨进行加载。在该模型中能够明显看到髁状突颈部、喙突后侧、下颌角、磨牙区为应力集中区,形成从下颌体部至下颌角,下颌体部沿后牙牙槽嵴远端下颌升支前缘至喙突,喙突后侧沿乙状切迹至髁

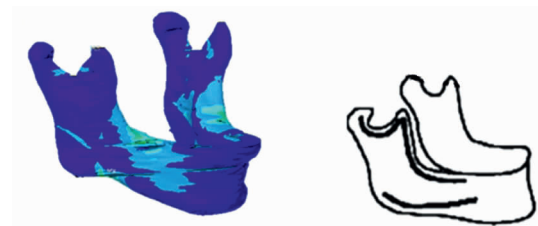


图 1 下颌骨模型验证及应力轨迹

Fig.1 Mandible model validation and stress trajectories

状突颈部 3 条应力轨迹线,说明建立的模型具有非常高的力学相似性,建立的模型有效(图 1)。

1.4 加载方式及大小

量取志愿者的下颌最大前伸量为 11 mm,关节上间隙 2.80 mm,前间隙为 2.06 mm,后间隙为 2.30 mm(采用张震康等^[5]的方法定点测量)。采用给定位移矢量加载,在前牙列上模拟佩戴矫治器后施加前伸的位移量,分别从原始位加载加载下颌骨前牙区水平前移位于下颌最大前伸量(11.00 mm)的 20%(2.20 mm)、40%(4.40 mm)、60%(6.60 mm)、68%(7.48 mm)、70%(7.70 mm)、75%(8.25 mm)、80%(8.80 mm)、100%(11.00 mm)位移,在模型上分别观测患者髁状突关节间隙(前、上、后)的位置变化,位移数值增加记录为正值、减小记录为负值,观察下颌骨不同前伸量时,髁状突关节间隙相应的形态位移。

2 结果

2.1 三维有限元模型

采用 10 节点 Solid92 单元、自由网格划分,共得到骨密质、骨松质、肌肉和气道各得到的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、均质和各向同性的线弹性材料。建立了 1 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(图 2)。

2.2 关节间隙的位移变化

下颌骨逐步水平前移不同量时,关节间隙(前、上、后)的

位移情况见表 2。结果显示,OSAHS 患者下颌逐步前移不同量时,关节间隙的位置也发生着相应的变化。随着下颌骨水平前移量的增加,关节间隙的位移量也不断增大,以关节前



图 2 有限元模型

Fig.2 Finite element model

间隙的位移变化最明显,关节上间隙的位移量次之,关节后间隙的位移变化再次之。

3 讨 论

3.1 有限元法在 OSAHS 中的研究与应用

随着计算机生物力学的飞速发展,三维有限元法对 OSAHS 研究方面也取得了一些成绩。早在 1998 年 Shome 等^[6]通过有限元法对 OSAS 患者的咽喉进行三维重建。哈佛大学 Huang 等^[7]建立了正常人上气道有限元模型,用于研究解剖因素对咽部塌陷的影响。国内孙秀珍等^[8]对健康志愿者的上呼吸道进行了三维有限元重建和流场数值的模拟研究,证实了重建上呼吸道结构和数值模拟方法的可行性。2007 年 Huang 等^[9]对 OSAHS 患者上气道有限元模型预测上气道手术治疗 OSAHS 的效果,得出了应用有限元模型可以假设验证上气道各种解剖因素对 OSAHS 的影响。赵雪岩等^[10]利用 CT 扫描数据,建立健康成年志愿者的上气道三维有限元模型,模拟气道气压分别对上气道模型表面施加动态加载,分析解剖结构和生理过程之间的关系。

3.2 有限元法在髁状突及下颌骨中的研究与应用

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)。随着颞颌关节三维影像重

建技术的应用,胡敏等^[11]利用颞下颌关节 CT 扫描资料、计算机图像分析处理技术和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。周学军等^[12]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,提高模型的相似性,为下颌骨的受力分析奠定基础。杨辉等^[13]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^[14]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。

3.3 下颌前伸口腔矫治器在 OSAHS 治疗中的应用

大量的研究表明,口腔矫治器治疗 OSAHS 主要机制是通过前伸下颌来扩张上气道,解除上气道阻塞,以达到治疗的目的。目前,下颌前伸矫治器种类较多,不同矫治器的作用原理可能不同,而且不同患者间存在着个体差异。所以,戴用时患者下颌需向前重新定位,因而受到国内外临床医学者的普遍重视。准确的下颌定位是成功治疗 OSAHS 的重要因素之一。Dort 等^[15]研究结果显示,在多导睡眠监测仪的检测下,以消除睡眠中呼吸暂停及低通气症状为目标,运用可调式下颌前伸矫治器测定的目标前伸量可以有效的指导临床口腔矫治器的制作。高雪梅等^[2]人研究认为患者最适前伸量/最大前伸量一般为 73%,而矫治器一般做在 68%,这使得矫治器得以长期应用而无严重不适。所以,本研究在模型位移加载过程中,专门观测了 68%、70%及 75%下颌前伸位移量时,关节前间隙、关节上间隙、关节后间隙的位移变化;发现在这些位移量时,患者关节间隙的大小变化与下颌骨水平前伸量密切相关。

人体的颞下颌关节是由下颌骨的髁状突、颞骨的关节窝及介入二者之间的关节盘的紧密接触,外

表 2 OSAHS 患者下颌骨水平前移不同量时,关节间隙(前、上、后)的综合位移状况

Tab.2 Joint space(anterior,superior and posterior) displacement situation of OSAHS patients with mandibular

关节间隙	forward at different amounts							
	20% (2.20 mm)	40% (4.40 mm)	60% (6.60 mm)	68% (7.48 mm)	70% (7.70 mm)	75% (8.25 mm)	80% (8.80 mm)	100% (11.00 mm)
前间隙	0.248 5	0.497 1	0.745 6	0.845 1	0.870 0	0.932 1	0.994 2	1.243
上间隙	0.248 4	0.496 8	0.745 3	0.844 6	0.869 5	0.931 6	0.993 7	1.242
后间隙	0.243 3	0.486 7	0.730 0	0.827 3	0.851 7	0.912 5	0.973 3	1.217

周围包绕关节囊而构成;它参与完成口腔系统的所有功能活动,其结构精细复杂,在后方控制着下颌的运动。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。本课题组联合应用螺旋 CT 技术,Mimics 三维建模软件,Ansys 有限元分析软件建立 OSAHS 患者下颌骨、颞下颌关节、上气道及其毗邻结构三维有限元模型。通过下颌逐步前伸,模拟下颌前伸类口腔矫治器来观察关节间隙位置的变化并进行分析,有效展示下颌骨前伸与关节间隙的位置变化两者之间关系,证实了该研究方法的可行性。在患者做不同量的下颌前伸时,颞下颌关节间隙的大小也发生相应的变化。随着下颌骨水平前伸量的增加,关节间隙的综合位移量亦增大,以关节前间隙的位移变化最显著,关节上间隙的位移量次之,关节后间隙的位移变化再次之。通过观测 OSAHS 患者髁状突关节间隙的位置变化,为临床利用下颌前伸矫治器治疗 OSAHS 从颞颌关节提供理论依据和参考价值,并为后续研究治疗 OSAHS 患者尽可能寻找确定的量化坐标参数。对于 OSAHS 患者利用口腔矫治器做不同量的下颌前伸时,髁状突表面的应力变化还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Liu Y, Lowe A A, Fleetham J A, et al. Cephalometric and physiologic predictors of the efficacy of an adjustable oral appliance for treating obstructive sleep apnea[J]. *Orthod Dentofacial Orthop*, 2001, 120(6): 639–647.
- [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征的下颌定位[J]. *口腔正畸学杂志*, 2000, 7(1): 20–22.
- Gao X M, Zeng X L, Fu M K, et al. Mandibular relocating in dental appliance treatment of obstructive sleep apnea syndrome[J]. *Journal of Orthodontics*, 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.
- Huang M F, Zhou Y, Chen S W, et al. Positional changes of condyle in obstructive sleep apnea/hypopnea syndrome's patient wearing oral appliance[J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2009, 25(2): 285–288.
- [4] 何 琴, 张 佐, 曲爱丽, 等. 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[J]. *昆明医科大学学报*, 2012, 33(4): 35–38.
- He Q, Zhang Z, Qv A L, et al. Construction of the three dimensional finite element model of the mandibular and temporomandibular joint in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome[J]. *Journal of Kunming Medical University*, 2012, 33(4): 35–38.
- [5] 张震康, 邱蔚六, 皮 昕. 口腔颌面外科临床解剖学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2001: 467–468.
- Zhang Z K, Qiu W L, Pi X. Clinical anatomy of oral and maxillofacial surgery[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House, 2001: 467–468.
- [6] Shome B, Wang L P, Santare M H, et al. Modeling of airflow in the pharynx with application to sleep apnea[J]. *Journal of Biomechanical Engineering*, 1998, 120(3): 416–422.
- [7] Huang Y, White D P, Malhotra A. The impact of anatomic manipulations on pharyngeal collapse: results from a computational model of the normal human upper airway[J]. *Chest*, 2005, 128(3): 1324–1330.
- [8] 孙秀珍, 于 驰, 刘迎曦, 等. 人体上呼吸道三维有限元重建与流场数值模拟[J]. *航天医学与医学工程杂志*, 2006, 19(2): 129–133.
- Sun X Z, Yu C, Liu Y X, et al. 3D finite element model reconstruction and numerical simulation of airflow in human upper airway[J]. *Journal of Space Medicine and Medicine Engineering*, 2006, 19(2): 129–133.
- [9] Huang Y, White D P, Malhotra A. Use of computational modeling to predict responses to upper airway surgery in obstructive sleep apnea[J]. *Laryngoscope*, 2007, 117(4): 648–653.
- [10] 赵雪岩, 黄任含, 楼航迪, 等. 阻塞性睡眠呼吸暂停综合征的生物力学研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2009, 45(5): 737–742.
- Zhao X Y, Huang R H, Lou H D, et al. Biomechanical study of obstructive sleep apnea syndrome[J]. *Journal of Peking University (Natural Science)*, 2009, 45(5): 737–742.
- [11] 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.
- Hu M, Tian X L, Yang Y Q, et al. A three-dimensional finite element study on the temporomandibular joint[J]. *Journal of PLA Postgraduate Medical School*, 1995, 16(3): 181–183.
- [12] 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.
- Zhou X J, Zhao Z H, Zhao M Y, et al. Establishment of TMJ model including mandible by means of three dimensional finite element method[J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2000, 16(1): 17–19.
- [13] 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.
- Yang H, Liu H Z, Rong Q G, et al. Construction of the three-dimensional finite element model of the temporomandibular joint on the basis of magnetic resonance images[J]. *Chinese Journal of Prosthodontics*, 2000, 1(1): 20–22.
- [14] 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): e1–5.
- [15] Dort L C, Hadjuk E, Remmers J E. Mandibular advancement and obstructive sleep apnoea: a method for determining effective mandibular protrusion[J]. *Eur Respir J*, 2006, 27(5): 1003–1009.

(责任编辑:唐秋姗)