维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:0253－3626(2003)05－0620－03

儿童"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"三维有限元模型的建立

邓 锋[1,2], 宋锦璘[1,2], 戴红卫[1], 范小平[1]

(1.重庆医科大学附属口腔医院正畸科,重庆 400015,2.四川大学生物力学所,成都 610065)

【摘 要】目的:建立儿童"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"的三维正交各向同性有限元模型,为模拟研究Ⅲ类错殆畸形矫形治疗中,颏兜作用力在下颌骨的应力分布提供基础条件。方法:选择一名颏兜矫治的下颌前突儿童患者,通过 CT 扫描及图像处理、节点座标的数字化,采用 ANSYS 5.6 软件建立"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"模型,设计、模拟颏兜矫治器后牵引下颌的边界约束条件。结果:建立了更接近临床实际应用颏兜情况的三维有限元模型,并可模拟不同工作状况下模型各部分的力学改变,确定了不同后牵引外载荷的加载作用点、方向及大小。结论:利用 CT 三维影像重建技术与三维有限元方法结合,建立了儿童下颌骨—颏兜三维有限元模型,该模型可用于下颌颏兜矫形应力分布研究。

【关键词】计算机辅助设计;三维有限元;模型;颏兜;载荷

【中国图书分类法分类号】R783.5 【文献标识码】B 【收稿日期】2002－11－07

Development of a three－dimensional finite element model of child mandible with chincap

DENG Feng, et al

(*Department of Orthodontics, Hospital of Stomatology, Chongqing Medical University*)

【Abstract】*Objective*: To build a three－dimensional finite element model of child temporomandibular joint including the mandible with chincap, and provide a basic condition for the study of the effects of chincap on the stress distribution of the base of mandible. *Methods*: The model was constructed from a child who accepted the treatment of chincap by ANSYS 5.6, using the reconstructive technique of spiral CT in combination with the three－dimensional finite element. The model consisted of 20045 bricks and 4442 nodes. On the model, mandible retraction was simulated under the different traction which included the different directions and magnitudes. *Results*: Three－dimensional model of the 'Temporomandibular joint－mandible－chincap system of child' was established, which was better suited for the actual and practical situation of chincap in clinic, and the loading point and the different directions and magnitudes were determined by clinical application. Mechanical changes of various parts of the model in different working conditions could be simulated by means of adding different material properties and boundary conditions. *Conclusion*: The established model could be used for the study of stress distribution of chincap applying simulation.

【Key words】Computer－assisted design; Three－dimensional finite element; Model; Chincap; Loads

安氏Ⅲ类错殆畸形需要早期矫治,其目的是抑制下颌骨向前生长,从而协调上下颌骨关系[1,2]。颏兜是目前比较适合矫治单纯下颌发育过度、或位置前移引起的轻度骨性下颌前突,以及功能性下颌前突的矫治器之一[3]。它不仅可以单独应用于正畸临床治疗,也是其它Ⅲ类错殆畸形矫治器的重要组成部分[4]。

依据临床资料建立符合临床治疗实际情况的"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"的三维正交各向同性有限元模型,模拟施加颏兜对下颌的不同方向、大小的作用力,揭示在不同载荷状态下,下颌骨应力分布变化规律及颏兜矫治器对Ⅲ类错殆畸形矫形力学的作用机理,为改进颏兜的临床治疗方法提供理论依据。而儿童"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"三维有限元模型的建立正是研究颏兜矫治机理的关键步骤。尽管目前对颞下颌关

作者介绍:邓 锋(1963－),男,副主任医师,
主要研究方向:牙颌面畸形矫形治疗,殆学。

维普资讯 http://www.cqvip.com

节及下颌骨的有限元分析研究较多[5~13],但针对儿童的早期骨性Ⅲ类错殆畸形建立符合临床实际的模型尚未见报道。本研究目的在于利用螺旋 CT 三维影像重建技术与三维有限元技术方法结合,建立Ⅲ类错殆畸形早期矫形治疗的下颌骨三维有限元模型,为进一步的临床生物力学研究奠定基础。

1 材料和方法

1.1 选择标本

选择我院接受颏兜矫形治疗的七岁下颌前突患儿(女性)1 例,无全身疾病,发育良好,上颌发育正常,下颌轻度前突;前牙轻度反殆,第一恒磨牙轻度近中关系,ANB 角 1°,下颌平面角 30°;无既往矫治史,无任何 TMD 症状和体征。

1.2 定位方式

CT 扫描时患者戴用颏兜矫治器水平卧位,颈枕加软泡沫塑料固定头部,双侧瞳孔连线保持平行于 CT 扫描断面,确保扫描投照的精确性。

1.3 扫描模式

采用 Elscint 公司 Sele CT/SP 型 CT 扫描机及 Sun 公司 Indigo to Impact 工作站进行 TMJ 和下颌骨螺旋 CT 扫描及三维图像重建。CT 扫描参数为螺旋层厚 2mm,床进速度 2mm/s,从髁状突到颏部连续横断扫描 40 层,在颞下颌关节处重建薄层厚度 1mm,在下颌体处重建薄层厚度 5mm。

1.4 数据处理

以 FH 为参照平面,将得到的扫描图片通过扫描仪转入计算机。由于不同组织的像素值不同,利用 OFFICE 软件辅助工具中的照片编辑器(PHOTOED)读出图片中的任意一点的像素坐标(从左向右为 X 轴,从后向前为 Y 轴,垂直于定位方框平面从下向上为 Z 轴),然后通过像素坐标与实际坐标的转换公式得到实际的坐标值。对于不同的平面,根据扫描时不同层面移动的距离来确定平面的垂直坐标。

1.5 建立有限元模型

表 1 材料的弹性模量和泊松比

材料名称	弹性模量	泊松比
颏兜	1.99Gpa	0.30
牙	20.29Gpa	0.30
牙周膜	68.90Mpa	0.45
密质骨	13.00Gpa	0.22
松质骨	273.00Mpa	0.19
肌肉软组织	8.20Mpa	0.45
关节盘	44.21Mpa	0.40

在 ANSYS 5.6 中将关节区、下颌骨及颏兜(2mm 厚)的系列图形按坐标组合起来,获得了关节区和下颌骨的三维空间外形,借助 ANSYS 5.6 前处理程序软件自动读取图像边界,网格划分用 ANSYS 提供的 SMARTSIZING 的方法进行划分,以建立下颌骨三维有限元模型。有限元模型中的各种材料均视为各向同性的均质性、线弹性材料,其材料的弹性模量和泊松比[7,10,12]见表 1。

1.6 边界条件

将复杂的结构简化为关节盘、上颌骨、下颌骨三部分的关节模型。上颌骨简化为与关节盘接触的立方体实体,与关节盘接触的部位仅仅为外表面,并且下颌骨与上颌骨之间没有接触。关节窝皮质骨周围节点处采用固定支座约束,关节盘及软骨的前份采用细缆索元约束,关节盘后部采用边界元约束,采用缆索元模拟肌肉、韧带的约束。

1.7 载荷条件

根据以后的具体研究内容设计。

2 结 果

建立了包括下颌支、下颌体、颞下颌关节及颏兜的儿童三维有限元模型,较真实地模拟了主要肌肉、韧带附着及颏兜对下颌骨的约束,为颏兜临床生物力学研究提供了相似性较好的有限元模型。

该模型可以被任意旋转,从任何角度以多种方式观察。通过给模型设定不同的材料常数,边界条件及在不同部位施加不同负荷等,可以模拟不同工作状况下模型各部分的力学改变。三维有限元模型与 CT 三维图像具有较好的几何相似性,模型可以任意旋转和缩放,建成后的模型有实体单元及索单元共 20045 个单元和 4442 个节点。

3 讨 论

颏兜三维有限元研究,国内外学者[7,9~13]已报道建立包括 TMJ 的下颌骨三维有限元模型,其研究结果存在一定的差异性,重要原因之一就是建立的模型临床应用针对性不足,即模型与原形相差较大,导致计算结果的差异;同时大多数研究是使用传统的弹性有限元计算方法,且对敏感的关节区域仅进行了简要的说明与简化,没有进行接触处理。所以本研究在以下方面进行了改进。

在模型构建方面加强了针对性。首次选用了正在接受颏兜治疗的替牙期儿童,突出临床实用性;在 CT 扫描时候分层设定,最大限度利用 CT 扫描的精

维普资讯 http://www.cqvip.com

度,同时首次戴用颏兜进行头颅部的 CT 扫描,确保了模型的合适性与精确性,为保证模型与实体的几何相似性提供了必要的基础条件。这些措施使模型相似性提高,与实体进一步接近,以期更接近其生物力学的相似性。

在获得相应的座标,并选取大量的关键点来确定三维结构实体与网格划分时,本研究遵循在精度要求较高的部位选取较多关键点的原则。而在精度要求不高的位置,关键点的数目以能够近似地描述几何形状即可。即避免了模型过分复杂,又获得了逼近的几何形状。选用 ANSYS 对模型复杂的几何形状与边界进行了有效的网格自动划分。

下颌骨力学边界约束方面,已往大多数研究采用固定边界条件,即约束掉髁突顶部某些节点的全部自由度。而实际上这些节点可以做一定的运动的,即使整个下颌骨也可以产生一定的刚体位移;所以本研究假设模型在颞下颌关节髁突、关节盘、关节窝三者表面之间是相互接触的,三者之间在受到压应力时处于相互接触的状态,在拉应力作用时则分离开来。由于相互之间滑液膜与滑液的润滑作用,接触的两者之间可以产生一定的滑移。本研究根据表面作用的实际情况采用了弹性的有摩擦接触算法,对上述过程进行了计算与模拟,提高了模型约束的生物相似性。

在提高模型的载荷相似性方面,由于本研究建立了包括"下颌骨—颏兜"的儿童三维有限元模型,所用载荷可根据需要直接加于下颌骨或颏兜上,与临床实际情况基本吻合,从而提高了模型的载荷相似性,将使实验计算结果更真实、准确、可靠。

本研究采用活体儿童头颅为标本,用 CT 扫描技术离散模型,首次建立了儿童"颞下颌关节—下颌骨—颏兜矫治器系统"三维有限元模型,且模型具有良好的相似性,为颏兜治疗的临床生物力学研究提供了可靠的研究平台。

参 考 文 献

[1] 罗颂椒,陈扬熙,赵美英,等. 当代实用口腔正畸技术与理论[M]. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1996;321 - 325.

[2] Graber TM, Vanarsdall RL. Orthodontics: Current principles and techniques[M]. 3 rd ed, St. Louis: Mosby Inc, 2000; 548 - 550.

[3] Ishii H: Treatment effect of combined maxillary protraction and chin cap appliance in severe skeletal Class Ⅲ cases[J]. Am J Orthod, 1987;92:304 - 312.

[4] 赵美英,罗颂椒,陈扬熙. 牙颌面畸形功能矫形[M]. 北京:人民卫生出版社,2000;250 - 256.

[5] Tanaka E, Tanne K, Sakucla M. 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(4):316 - 322.

[6] Tanne K, Tanaka E, Sakuda M. Stress distribution in the TMJ during clenching in patients with vertical discrepancies of the craniofacial complex[J]. J Orofac Pain, 1995;9(2):153 - 160.

[7] Tanne K, Lu YL, Tanaka E, et al. Biomechanical changes of the mandible from orthopedic chincup forces studied in a three - dimensional finite element model[J]. Eur J Orthod, 1993;5(6):527 - 533.

[8] Hart RT, Hennebel W, Thongpreda N, et al. Modeling the biomechanics of the mandible: A three - dimensional finite element study[J]. J Biomeeh, 1992;25(3):261 - 286.

[9] Chen J, Xu L. A finite element analysis of the human temporomandibular joint[J]. J Biomeeh Eng, 1994;116(4):401 - 407.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 陈 新,胡 凯,刘洪臣. 正常人下颌骨的三维有限元模型的建立[J]. 口腔颌面修复学杂志,2000;1(1):23 - 25.

[13] 杨 辉,刘洪臣,荣起国,等. 颏兜力作用下颞下颌关节及下颌骨受力的三维有限元分析[J]. 口腔颌面修复学杂志,2000;1(3):139 - 142.