

下颌后牙单端桥及其支持组织修复前后 有限元模型建立

唐亮¹, 郭莹², 潘燕环³

(1. 暨南大学医学院口腔系, 广东广州 510632; 2. 首都医科大学附属北京佑安医院口腔科, 北京 100069;
3. 暨南大学理工学院土木工程系, 广东广州 510632)

[摘要] 目的: 建立下颌后牙单端固定桥及其支持组织修复前后的三维有限元模型。方法: 以人类正常牙列完整的下颌骨标本为建模基础, 采用 CT 扫描技术, 利用 AutoCAD 与 ANSYS 软件建立左侧下颌后牙单端固定桥及其支持组织修复前后的几何模型和三维有限元模型。结果: 构建的下颌后牙单端固定桥修复前后的几何模型接近中国人牙齿的实际尺寸。修复前、后牙体、牙周膜及牙槽骨的三维有限元模型分别划分为 142 640 个节点、101 938 个单元和 168 756 个节点、119 499 个单元。结论: 采用 CT 扫描技术, 结合 AutoCAD 与 ANSYS 软件所建模型结构层次清晰、单元划分精细, 具有良好的形态相似性和还原性, 能够满足模拟加载的需要。

[关键词] 单端桥; 有限元; 下颌后牙; 支持组织

[中图分类号] R783.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1000-9965(2009)06-0649-04

The construction of the three-dimensional finite element model of the abutment and periodontal tissue of molars cantilever fixed bridge

TANG Liang¹, GUO Ying², PAN Yan-huan³

(1. Department of Stomatology, Medical College, Jinan University, Guangzhou 510632, China;
2. Department of Stomatology, Beijing YouAn Hospital, Capital Medical University, Beijing 100069, China;
3. Department of Civil Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

[Abstract] **Aim:** To establish three-dimensional finite element models of a human mandibular molar cantilever fixed bridge to supply biomechanics behavior of the periodontal tissue. **Methods:** A normal human mandible was used as an anatomy foundation to build geometry models and three-dimensional finite element models which are completed with CT scanning, Auto CAD software and ANSYS software before and after restoration of the mandibular molar cantilever fixed bridge and the corresponding periodontal substance. **Results:** The constructed geometry models are similar to chinese teeth in size. For the three-dimensional finite model including teeth, periodontal ligament and alveolar bone, there are 142 640 nodes, 101 938 elements before restoration and 168 756 nodes, 119 499 elements after restoration. **Conclusions:** Establishing the models of the teeth and periodontal tissues by CT scanning technique, AutoCAD and ANSYS software have clear hierarchical structures and fine element partitions. The constructed models have good similarity to the morphology of the three-dimensional images. They can serve for the needs of the three-dimensional stress analysis.

[Key words] cantilever fixed bridge; finite element; mandible molars; periodontal tissue

[收稿日期] 2009-09-29

[基金项目] 广东省自然科学基金项目(31912)

[作者简介] 唐亮(1962-),男,教授,博士,研究方向:口腔修复学

有限元模型是有限元分析的计算模型,它为有限元计算提供所有必需的原始数据。模型合理与否直接影响计算结果的精度、计算时间的长短、存储容量的大小以及计算过程能否完成。目前,应用扫描技术、数字图像处理技术与计算机软件相结合建立三维有限元模型的方法逐渐得到广泛的应用与认可,许多学者已建立了下颌后牙的研究模型^[1-4]。随着生物力学研究的不断深化,对数学模型(如牙体、桥体、牙周软硬组织)要求做到更细致的设计,简单的牙体、牙槽骨有限元模型难以真实准确地模拟咀嚼时口腔内的加载情况。因此,本研究采用CT扫描技术,结合AutoCAD与ANSYS软件建立下颌后牙单端固定桥及其支持组织修复前后的三维有限元模型,为逼真、精确的数学模型的建立做进一步的尝试,对如何提高建模的精度进行探讨。

1 材料和方法

1.1 下颌后牙单端固定桥及其支持组织的设计

(1) 7缺失,以56为基牙,单端固定桥修复7。

(2) 固位体类型:金属烤瓷全冠固位体。

(3) 桥体类型:接触式桥体,桥体龈端与牙槽嵴粘膜接触。

(4) 桥体设计:颊舌径恢复为天然牙的3/5,近远中径恢复为天然牙的2/3。

(5) 不设计牙髓腔,牙骨质及牙龈略去不计。

(6) 牙周支持组织包含牙周膜和牙槽骨。

1.2 标本来源

选用1具牙列完整的正常成人下颌骨标本,作为建立三维有限元模型的解剖学基础。该下颌骨标本牙齿排列整齐,牙冠点、隙、窝、沟清楚,无牙列缺损或明显磨损。

1.3 实验器械和软件

Dell Precision 490 图形工作站(处理器 Intel Pentium IV 3.0 G,内存容量2 G,硬盘160 G,操作系统 Windows XP Professional x64 Edition);Aquilion 多排螺旋CT(Toshiba公司产品,日本);ANSYS10.0有限元分析软件(ANSYS公司产品,美国),AutoCAD2002软件(AutoCAD公司产品,美国)。

1.4 有限元模型的建立

(1) CT数据采集 选用唐亮等^[5]的CT扫描照片,扫描层厚0.5 mm,层间隔0.2 mm。最终获取452幅二维扫描断层图像传入中心工作站并转换为TIFF通用格式,刻录在光盘上,选出包含567的78

张断层图片按比例扩至接近实体牙及牙槽骨的大小后导入AutoCAD软件。

(2) AutoCAD二维空间建模 ①牙体、牙槽骨:将选取的78张TIFF格式的图像按比例扩至接近实体牙及牙槽骨的大小后导入AutoCAD软件;利用自动读取坐标功能,沿着各层面的图像外轮廓依次读取关键点坐标,将同一层面的相关点连接成闭合光滑的拟合曲线,在各图层中对图像各部分的边界进行处理,绘出轮廓线矢量图;将拟合曲线形成面,并以*.sat格式输出。②牙周膜:将牙体的样条曲线应用【OFFSET】命令将各面均匀扩大0.2 mm,再利用【MOVE】命令在根尖及根分叉处不动的设定下,将余曲线向两侧偏移0.2 mm。最后将扩大及偏移后的曲线形成面,并以*.sat格式输出。

(3) ANSYS三维空间建模 将*.sat格式的各图层的面输入ANSYS软件multiphysics界面进行实体建模。依照自下而上的建模原则:定义并显示关键点,建立工作平面;利用工作平面将所有层面的闭合曲线切割后,应用由线到面、由面到体的命令,分别生成牙齿、牙周膜和牙槽骨的三维实体。

利用【SUBTRACT】命令处理实体模型获得牙周膜、牙槽骨及单端桥实体的结合模型(使用【COPY】命令将牙槽骨复制并上移0.8 mm,【SCALE】命令将7缩小后,再利用【SUBTRACT】命令减去修复后埋在骨里7的牙根部分,得到修复后减径的桥体);将基牙、固定桥、牙周膜以及牙槽骨各部分使用【GLUE】命令相连接,获得完整的下颌单端固定桥及其支持组织的几何模型。

(4) 网格划分 实验中假设模型中的各材料和组织为连续、均质、各向同性的线弹性材料。利用ANSYS软件的自由网格划分方法,选择单元类型为10节点的四面体单元(Solid92)进行网格划分得到三维有限元模型。

2 结果

(1) 修复前、后下颌后牙及其牙周支持组织的几何模型,见图1~4;修复前后567几何模型尺寸与中国人平均牙体尺寸标准值的对比,见表1。

(2) 修复前、后下颌后牙及其牙周支持组织的三维有限元模型,见图5~6。修复前56、牙周膜及牙槽骨的三维有限元模型划分为142 640个节点,101 938个单元;修复后567、牙周膜及牙槽骨的三维有限元模型划分为168 756个节点,119 499个单元。

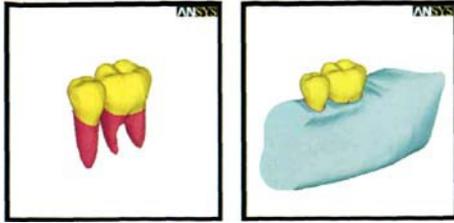


图 1 修复前的几何模型

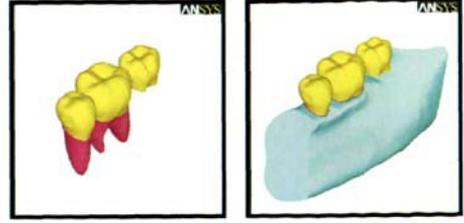


图 2 「567 单端固定桥修复后的几何模型



图 3 「56 牙周膜的三维有限元模型



图 4 部分牙槽骨的三维有限元模型

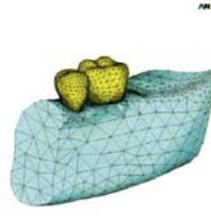


图 5 修复前的三维有限元模型

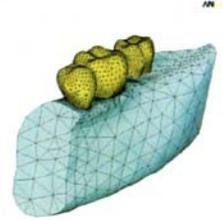


图 6 修复后的三维有限元模型

表 1 修复前后「567 牙体模型尺寸与中国人平均牙体尺寸标准^[4]对比

主要内容	「5		「6		「7		修复后「7	
	模型值	标准值	模型值	标准值	模型值	标准值	模型值	标准值
全长	19.4	20.5	17.4	20.5	16.4	19.1	-	19.1
根长	12.4	12.6	10.2	12.9	9.4	12.3	-	12.3
冠长	7.0	7.9	7.2	7.6	7.0	7.6	7.0	7.6
冠宽	7.8	7.1	10.7	11.2	10.7	10.7	7.3	10.7
冠厚	8.7	8.3	10.4	10.5	10.5	10.4	6.3	10.4

3 讨论

(1) 建立有限元模型是有限元分析研究的基础,对于三维图像的建模主要由数码相机摄影、激光扫描仪以及螺旋 CT 来完成。①数码相机摄影由于费用低、易被掌握等优势也逐渐被应用于三维建模中^[7],但该方法存在着破坏模型、色差影响轮廓线提取等缺点,使得建模精度受限。②激光扫描仪可快速扫描成像,因其具有建模精度高、对软硬组织同样敏感的优点而得到广泛应用^[3,8],但其测量只能得到表面数据,缺乏反映组织的材料特性的能力^[9]。③螺旋 CT 是目前有限元研究中最常用的建模方法,而它却存在着对软组织敏感度较差的缺点,牙周膜、牙龈等软组织在 CT 断层扫描片上可能无法清晰识别。但由于螺旋 CT 可以全面准确地再现比较复杂细微的结构,且表现的形态、结构完整精确,适用于任何复杂形态和各种密度的三维结构,尤其应用于活体可获得更加接近实际情况的数据,故本研

究选用此方法采集三维图像数据建模。

(2) 利用 AutoCAD 绘图软件将 CT 断层扫描片所得数据进行二维重建,运用其尺寸、样条曲线及坐标标注功能,把 CT 扫描图像数字化。通过系统接口将 AutoCAD 建好的二维图形导入 ANSYS 软件中三维建模。ANSYS 强大的布尔运算实现模型的精雕细刻,方便的脱拉、旋转、拷贝、缩放、蒙皮、倒角大大减少了建模时间,为实体模型的创建提供了极大的方便。本研究所建立的实体模型(具体数据见表 1)接近中国人牙齿的实际尺寸,修复后桥体模型的颊舌径为修复前天然牙「7 的 3/5,近远中径为 2/3,符合临床的设计要求^[10]。在螺旋 CT 扫描片上无法分辨的软组织建模问题上,本研究通过设计对其进行了一定的弥补:①厚度为 0.15~0.38 mm 的牙周膜位于牙槽骨与牙齿之间,故可重建,设计其厚度约为 0.2 mm 较为合理;②模型中牙龈及桥体末端「7

相应牙槽嵴顶表面黏膜对后续的支持组织的力学研究的影响可省略,未对其进行重建。但因桥体为接触式设计,根据孙默予等^[11]的研究认为无牙颌下颌黏膜厚度约为1.5~2.1 mm,而本研究为7缺失,余牙列完整,其相应牙槽嵴顶黏膜不会因过度承载而增厚,所以模型7桥体龈端与相应牙槽骨之间保留出0.8 mm间隙为牙槽嵴顶表面黏膜可达到仿真效果。

(3) 本模型的建立是为后续修复前后下颌后牙单端桥及其支持组织的模拟加载研究奠定基础,故根据生物力学分析的重点和难点,省略次要的影响因素,对现有的重建实体进行必要的实验假设,从而简化计算过程,控制建模的工作量。①忽略牙体预备后的牙釉质及牙骨质的厚度;②由于牙齿和牙槽骨相对于牙周膜的刚度很大,因此可分别将牙齿和牙槽骨的各种组成物质看成材料性质相同的单一物体,即将牙齿及其支持组织简化为牙本质、牙周膜和牙槽骨^[12];③修复体与牙体之间黏结剂的厚度小于25 μm ^[13-14],忽略黏结剂层;④固定桥与牙体在受力过程中假定不存在相对位移,故实体模型未做冠与牙体的分体设计,将其假设为统一体。“简化”过程也同时意味着部分信息的丧失,可能对整个模型的几何相似性和力学相似性造成影响。本研究在理论允许的范围,尽量控制“简化”对实体模型仿真度的影响,从而尽可能真实地反映出了牙齿及其支持组织的原始形态。

(4) 网格划分的精度直接决定了有限元计算的好坏,网格划分越细,计算结果越准确,但耗费的计算机资源也越多^[15]。本实验在反复的筛选后,将牙周膜划分的网格单元密度较大,而牙周膜与牙齿、牙槽骨不相连的部分的网格较为稀疏,牙周膜与牙齿、牙槽骨之间的边界网格自然过渡,网格尺寸突然变化为最小,防止出现畸形或质量较差的网格。将网格变形控制在一定的范围内,从而设置出合理的网格尺寸。

综上所述,采用CT断层扫描技术、AutoCAD计算机图像处理系统与ANSYS有限元分析软件相结合建模是一种精确、有效且可靠的方法。所构建的下颌单端桥及其支持组织修复前后的三维有限元模型结构层次清晰、单元划分精细。在重现牙颌组织的结构基础上,具有良好的形态相似性和还原性,能够满足模拟加载的需要。

[参考文献]

- [1] ROMED S A, FOK S L, WILSON N H F. Biomechanics of cantilever fixed partial dentures in shortened dental arch therapy [J]. *Journal of Prosthodontics*, 2004, 13 (2):90-100.
- [2] 吴艳玲, 鲁成林, 张东升, 等. 下颌第一磨牙全瓷冠三维有限元建模及力学分析[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2009, 10(2):94, 98-100.
- [3] 徐平, 张少锋, 周冰. 后牙全瓷桥三维有限元模型的建立及应力分析[J]. *口腔医学研究*, 2008, 24 (4):388-390.
- [4] GOMES DE OLIVERIRA S, SERAIDARIAN P I, JR LANDRE J, et al. Tooth displacement due to occlusal contacts: a three-dimensional finite element study [J]. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2006, 33 (12): 874-880.
- [5] 唐亮, 马达, 潘燕环. 下颌前牙固定桥基牙及支持组织的三维有限元模型的建立[J]. *暨南大学学报: 医学版*, 2005, 26(6):756-765.
- [6] 皮昕. *口腔解剖生理学* [M]. 5版. 北京: 人民卫生出版社, 2003:40-258.
- [7] 董正杰, 徐侃, 包向军, 等. 数码相机在上中切牙三维建模中的应用[J]. *上海口腔医学*, 2009, 18(1): 77-80.
- [8] 丁旭, 孙应明, 丁加根, 等. 下颌单侧后牙游离端缺失种植固定桥三维有限元模型的建立[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2009, 10(4):201-203.
- [9] 陈琼. 三维有限元建模方法的研究现状[J]. *口腔医学*, 2006, 26(2):154-155.
- [10] 马轩祥. *口腔修复学* [M]. 5版. 北京: 人民卫生出版社, 2004:120-168.
- [11] 孙默予, 王邦康, 袁玉姝. 无牙颌固有条件的定量测定及对总义齿固位力的影响[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2003, 4(4):232-240.
- [12] 潘燕环, 马达, 王璠, 等. 牙周膜动力分析的几个问题[J]. *实用口腔医学杂志*, 2004, 20(6):661-664.
- [13] Jr SHILLINGBURG H T, HOBO S, WHITSETT L D, et al. *Fundamentals of Fixed Prosthodontics* [M]. 3rd ed. Chicago: Quintessence Publishing Co, 1997:402.
- [14] PIERRISNARD L, BOHIN F, RENAULT P, et al. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: A mechanical study using finite element analysis [J]. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2002, 88(4):442-448.
- [15] 邓凡平. *ANSYS10.0有限元分析自学手册* [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007:41.

[责任编辑:陈咏梅]