

Mimics 软件结合薄层 CT 扫描构建下颌第一前磨牙桩核冠三维有限元模型

李旭东¹⁾, 丁仲鹃¹⁾, 季娟娟²⁾, 林云红¹⁾, 李德宏³⁾, 盛 迅¹⁾,

(1) 昆明医学院附属口腔医院口腔修复科, 云南昆明 650031; 2) 云南省第二人民医院, 云南昆明 650021; 3) 昆明市延安医院, 云南昆明 650051)

[摘要] **目的** Mimics 软件结合薄层 CT 技术建立下颌第一前磨牙桩核冠的三维有限元模型. **方法** 应用 Mimics 软件直接读取通过 CT 扫描所获取的建模所需一维影像图像 (共 72 张, 层厚 0.3 mm, 无间隔) 的边界数据; 再利用 Ansysworkbench 的曲面造型和加减布尔运算建立桩核冠各个三维实体模块模型, 并进行三维重组; 最后在 Ansys 软件中建立三维有限元模型同时划分力学单元并进行力学分析. **结果** 建立了包括全瓷冠、桩核、粘固剂、牙周膜、牙胶尖、牙槽骨的三维有限元模型. **结论** 应用薄层 CT 结合 Mimics 软件建模的方法方便快捷, 能较好地实现有限元模型的几何相似性、边界约束和载荷相似性、力学性能相似性要求.

[关键词] 三维有限单元; 第一前磨牙; 桩核; Mimics; Ansys

[中图分类号] R445.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003 - 4706 (2012) 03 - 0018 - 04

Construction of a Three Dimensional Finite Element Post-core Crown Model of the First Mandible Premolar with Thin-layer CT Scanning and Mimics Software

LI Xu - dong¹⁾, DING Zhong - juan²⁾, JI Juan - juan²⁾, LIN Yun - hong¹⁾, LI De - hong³⁾, SHENG Xun¹⁾

(1) Dept. of Prosthodontics, The Affiliated Stomatology Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650031; 2) Dept. of Prosthodontics, The 2nd People's Hospital of Yunnan Province, Kunming Yunnan 650021; 3) Kunming Yan'an Hospital, Kunming Yunnan 650051, China)

[Abstract] **Objective** To establish a three-dimensional finite element model of the first mandibular premolar with thin-layer CT scanning and Mimics software. **Methods** The data of the one-dimensional pictures (a total of 72 pictures, with 0.3mm layer and without space) accured by thin-layer CT scanning were analyzed by Mimics software. Then Ansysworkbench surface modeling and Boolean operation were used to reconstruct the 3D finite element model of post crown. Meanwhile, the 3D finite element model was meshed and mechanically analyzed. **Result** The three-dimensional finite element model of a restored first mandible premolar was established, including all-ceramic crown, post core, cement, pericementum, gutta percha point, and alveolar bone. **Conclusion** The establishment of three-dimensional finite element models with tin-layer CT scanning and Mimics software is convenient and fast, and can meet the requirements for geometric similarity, boundary constraint and load similarity and mechanical property similarity.

[Key words] Three-dimensional finite element; The first mandibular premolar; Post core; Mimics; Ansys

有限单元法 (finite element method, FEM) 是当今工程分析中获得最广泛应用的数值计算方法. 由于其多功能性和明确的效果, 在计算机科学和技

术快速发展的今天, 其已成为计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制作 (CAM) 的重要组成部分^①. 1973 年, 有限元法在口腔医学领域应用后,

[基金项目] 云南省科技厅联合专项基金资助项目 (2007CA011)

[作者简介] 李旭东 (1980 ~), 男, 湖南临武县人, 医学硕士, 住院医师, 主要从事口腔修复临床工作.

其巨大的优越性和应用前景得以展现^[2]。准确的模型建立在有限元法的应用中至关重要, 而通过 CT 扫描实物模型, 得到准确的研究数据, 对构建三维有限元模型进而完成力学分析有重要意义。

下颌第一前磨牙由于牙根形态的特殊性以及大量的研究主要是针对单根前牙, 而对于前磨牙的研究报道较少, 因此本研究选择下颌第一前磨牙作为三维有限元建模对象, 为进一步的力学分析提供具有几何相似性、力学相似性的桩核修复模型。

1 材料与方法

1.1 实验软硬件环境

计算机 (处理器 T7300, 内存 2 GB, 120 GB 5400 rpm HDD, Windows xp professional); 螺旋 CT Marconimax 800, America; 医学三维图像软件 Mimics 10.0; 有限元软件 Ansys 10.0。

1.2 模型设计

下颌第一前磨牙为单根管, 临床常预备 1 个桩道, 本实验设置铸造金合金桩核, 形态与根管形态相适应, 桩长约为根长 2/3, 桩径约为根径的 1/3, 具有共同就位道; 金合金冠边缘平釉牙骨质界; 牙周膜厚 0.2 mm; 粘结剂层厚 0.05 mm。牙槽骨根据圣维南定律^[3]对进行了处理, 简化成一方块包绕下颌第一前磨牙牙根周围。

1.3 建模步骤

1.3.1 CT 扫描离体下颌第一前磨牙 本实验根据王惠芸^[4]的报告选取一颗离体下颌第一前磨牙, 牙体形态完整, 无龋坏、磨损, 牙体形态正常。将选取的下颌第一前磨牙放在正畸蜡上进行固定, 使牙体的长轴平行于水平面。使用美国 Marconimax 800 CT 扫描机对牙齿进行扫描, 层厚 0.3 mm, 形成下颌第一前磨牙横断面图 72 张, 直接保存为 DICOM 格式的灰度图 (见图 1)。

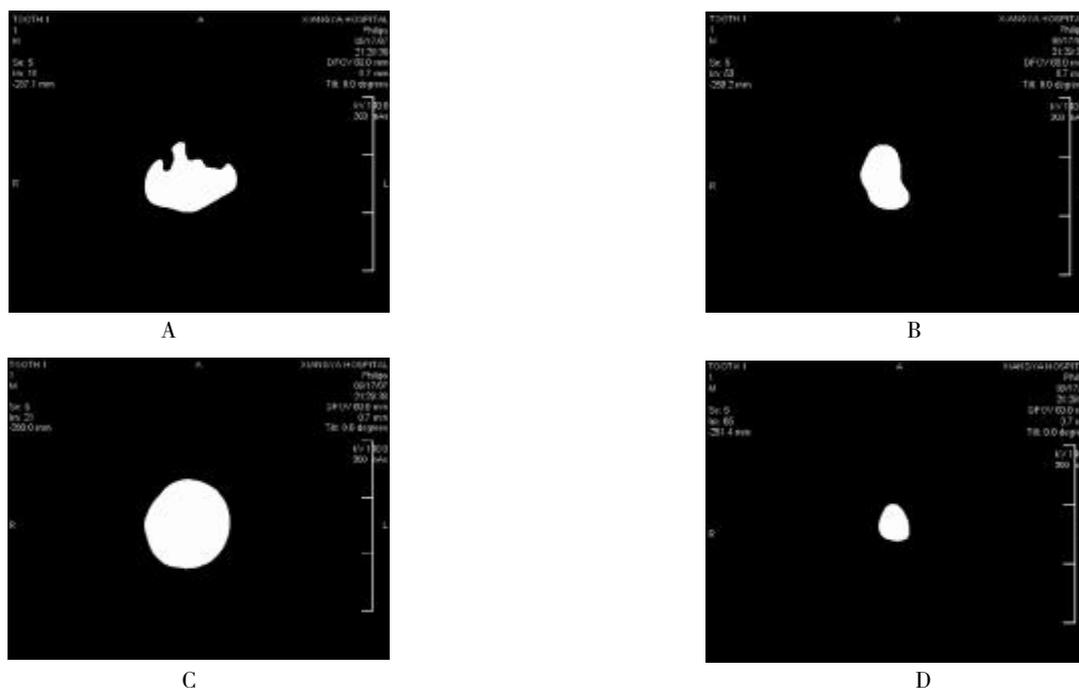


图 1 下颌第一前磨牙 CT 扫描 DICOM 格式的灰度图

Fig. 1 CT scanning gray scale pictures of the first mandibular premolar in DICOM format

A: 牙尖部; B: 牙颈部; C: 根中部; D: 根尖部。

1.3.2 通过 Mimics 软件建立三维实体模型 利用 Mimics 软件的三维点云重建功能, 将所有 72 张 DICOM 格式的灰度图导入 Mimics 软件中整合处理, 得到下颌第一前磨牙的三维实体模型, 保存为 Ansys 软件可以直接识别的 .iges 格式。该软件可以在分割功能状态下, 自动在分离出的实体模型上生成轮廓线, 能在给定误差的条件下自动生成一个局

部轮廓线模型, 可根据力学分析需要进行不同建模精度的读取 (见图 2)。

1.3.3 下颌第一前磨牙桩核冠三维实体模型的构建 将 Mimics 软件中形成的三维实体模型以 .iges 文件格式导入 Ansysworkbench 中读取, 通过布尔运算, 将 X, Y 轴上牙根的长度分别缩减为原直径的 1/3 可得到根内的桩核部分, 在该基础上再向外

扩大 0.02 倍，牙周膜得以形成，牙冠、桩核剩余部分、牙本质、冠粘固剂等结构模块同理用该方法可得出。通过运算拟合将各个模块形成组装多体，将所得数据存储为 .igs 形式，准备导入 Ansys 软件中 (见图 3)。



图 2 在 Mimics 软件中形成的三维实体模型

Fig. 2 Three-dimensional solid model in Mimics software



图 3 下颌第一前磨牙桩核冠三维实体模型

Fig. 3 Three-dimensional solid model of the first mandibular premolar

1.3.4 下颌第一前磨牙桩核冠三维有限元模型的建立 在 Ansys 软件中将从 Ansysworkbench 软件中导入的下颌第一前磨牙桩核冠三维实体模型进行网格划分及整理，并牙周膜外表面固定约束。根据咬殆接触点观察，加载部位为功能尖颊尖，加载方向与长轴方向成，载荷为 200 N^[5]。各组织材料属性为均质、连续、各向同性线弹性，根据文献查得材料参数^[6]，弹性模量、泊松比分别为：牙本质 18.6 GPa，0.31；金合金 98 GPa，0.30；牙周膜 68.9 MPa，0.45；玻璃离子粘结剂 4.00 GPa，0.35。所建模型各截面在受外力时是刚性连接无位移，具有良好稳定性的单元，且受力变形为小变形。选择 10 节点 4 面体单元，即 solid 92，使用网

格划分工具生成 4 面体自动网格 (见图 4)。

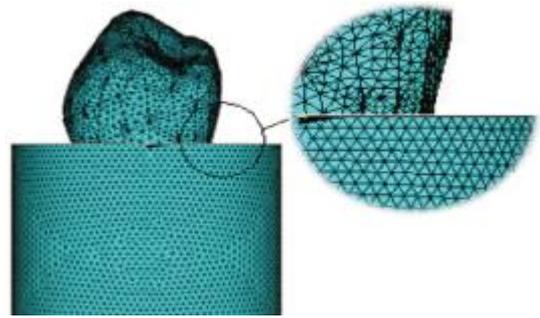


图 4 单元划分后的三维有限元模型

Fig. 4 Three-dimensional finite element model by meshing

2 结果

建立了下颌第一前磨牙桩核冠的实体模型，包括全瓷冠、桩核、粘固剂、牙周膜、牙胶尖、牙槽骨 6 个部件 (见图 3)。在计算机中划分网格，网格类型为四面体十节点，采用 TET 网格划分器自动划分网格，网格大小为 5 mm，局部精度为 0.5 mm，共划分单元 33 557 个，节点 90 143 个 (见图 4)。

模拟临床正常咬合情况，加载部位为功能尖颊尖，加载方向与长轴方向成 45°，载荷为 200 N，并完全固定约束包绕牙根的牙槽骨。牙本质应力分布见图 5，从图可以看出，最高应力值集中于牙颈部的表面，其次为桩核末端，这与以前文献报道和临床实际情况相一致^[7]，机械力学分布符合临床桩核冠的受力情况。

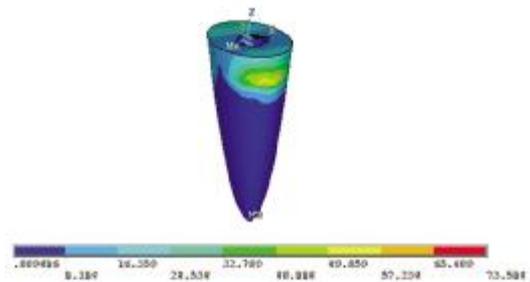


图 5 力学检测牙本质应力分布云图

Fig. 5 Stress distribution in the dentin

3 讨论

3.1 技术路线

本实验中采用的 CT 测量法是非破坏性的断层数据采集方法，是目前最先进的非接触测量方法。通过 Mimics 软件处理可以通过自带的计算机

辅助设计功能, 通过点→线→面→体的过程, 直接得到一个精确的三维实体模型, 所得数据能直接导入 Ansysworkbench, 避免了二项图像的处理. Mimics 软件具有强大三维图像处理能力, 能同时对二维图像进行边界数据和圆滑处理, 既确保图像数据的准确性, 也合理简化了图像边界数据. 最后则是利用功能强大的三维有限元软件 Ansys 进行模拟力学分析.

3.2 三维有限元法的基础理论

FEM 是将弹性理论, 数学计算和计算机软件有机结合在一起的一种数值分析方法. 它将表示结构的连续体离散为若干个子域, 单元之间通过其边界上的节点连接成组合体, 通过对子域的研究从而得到连续体的整体力学性质.

有限元法不仅计算精度高, 而且能对复杂的结构、形态、载荷和材料力学性质能进行应力分析比较, 是口腔生物力学研究中的主要手段, 已广泛应用于口腔颌面外科、口腔种植、口腔修复、口腔正畸等各个领域的研究^[9].

本课题应用有限元软件 Ansys 及其工作模块 Ansysworkbench. 该软件可以直接在计算机上进行工程实体的几何建模, 有限元网格生成、自动建立有限元模型的输入数据库, 并可以直观地检验和修改. 它是一个公认最佳的集有限元建模、分析求解数据及可视化于一体的新一代框架式软件系统之一.

3.3 有限元模型的相似性

有限元分析是进行分片插值, 即将分割单元中任意点的未知函数用该分割单元中形状函数及离散网格点上的函数值展开, 即建立一个线性插值函数, 并从变形着手, 综合分析相关的几何、物理及力学方面, 模型相似性是关键所在. 下面几个方面反映了本实验有限元模型的相似性^[9]: (1) 相似的几何形态: 为了得到完整的截面形态和立体结构在实验中使用 CT 扫描获得了牙齿的原始数据. 实验用牙的选取是根据中国人牙的标准形态, 依照既往的研究结论得到桩核冠的各个模块的形态参数, 所得实验模型经处理光滑无锐角, 具有良好的几何相似性; (2) 相似的边界约束: 为了受力分析的需要所建模型的周围要有相应的约束条件, 与实体约束的接近程度就是边界约束相似性. 实验中根据解剖学上的真实情况对牙根周围的牙槽骨底部进行了固定约束; (3) 相似的力学性能: 对小形变、静态力学分析时, 根据以往的研究结论, 把非均质、各向异性的材料简化为连续、均匀、各向同性的线弹性材料. 因此, 本实验将牙体各部分设定为均

质弹性体, 实验获得的力学指标与真实牙齿相比仍具有良好的力学相似. 加载后的模型, 牙颈部外表面仍然是主要的力学分布面, 这与其他学者^[10]的研究保持一致; (4) 相似的加载: 本实验对功能尖(颊尖)进行静态、面加载, 45° 加载方向(与牙长轴的交角), 200 N 载荷. 30 ~ 300 N 为日常咀嚼食物的力量, 水平侧向力、垂直牙合向力同时存在, 因此本实验载荷相似性较好^[5].

总之, 通过 CT 扫描, 经数字影像传输与转录获取上颌中切牙的影像数据, 利用医学三维图像软件 Mimics 和 Ansysworkbench 软件建立的上颌第一前磨牙三维有限元模型是可行的, 所建模型能较真实的模拟实际情况, 具有准确、快速的特点, 并可方便应用于牙体受力方面的模拟实验, 有助于今后这方面工作的展开.

[参考文献]

- [1] CLEMENT R, SCHNEIDER J, BRAMBS H J, et al. Quasi automatic 3D finite element model generation for individual single rooted teeth and periodontal ligament [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2004, 73: 135 - 134.
- [2] YANG H S, LANG L A, MOLINA A, et al. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations [J]. J Prosthet Dent, 2001, 85(6): 558 - 567.
- [3] ASMUSSEN E, PEUTZFELDT A, HEITMANN T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts [J]. J Dent, 1999, 27(4): 275 - 278.
- [4] 王惠芸. 我国人牙的测量和统计 [J]. 中华口腔医学杂志, 1959, 7(3): 147 - 153.
- [5] TOPARLI M. Stress analysis in a post-restored tooth utilizing the finite element method [J]. J Oral Rehabil, 2003, 30(5): 470 - 476.
- [6] 马丽. 口腔解剖生理学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 138 - 149.
- [7] SORRENTINO R, AVERSA R, FERRO V, et al. Three-dimensional finite element analysis of strain and stress distributions in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core and crown materials [J]. Dent Mater, 2007, 23(8): 983 - 993.
- [8] KWON B G, KIM S G. Finite element analysis of different bone substitutes in the bone defects around dental implants [J]. Implant Dent, 2006, 15(3): 254 - 264.
- [9] 郭乙木, 万力, 黄丹. 有限元法于 MSC.Nastran 软件的应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 195.
- [10] 单辉祖编著. 材料力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 16 - 255.

(2012-01-19 收稿)