

文章编号:1004-7220(2009)01-0059-05

根管预备后牙齿力学性能和根管结构的研究

姚远¹, 王琦¹, 孙喆², 杨林³

(1. 上海大学 快速制造工程中心, 上海 200444; 2. 上海第九人民医院 口腔科, 上海 200011; 3. 上海硅步科学仪器有限公司 上海 200030)

摘要: 目的 研究根管预备后牙齿力学性能和根管结构的变化。方法 通过构建牙齿的三维有限元模型和牙根管的中心线模型来分别研究牙齿的力学性能和根管结构。结果 分别建立了根管预备前、后牙齿的三维有限元模型和牙根管的中心线模型; 并进行了牙齿力学性能的分析 and 中心线变化的精确比较。结论 所提出的方法支持快速构建精细的牙齿三维有限元模型和牙根管的中心线模型, 能够满足各种牙体生物力学分析的需要。

关键词: 牙齿; 根管治疗; 根管预备; 三维重建; 力学性能

中图分类号: R781.05; R318.01 文献标志码: A

Research on mechanical property and tooth canal structure of tooth after RCT

YAO Yuan¹, WANG Qi¹, SUN Zhe², YANG Lin³ (1. Rapid Manufacturing Engineering Center, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. Department of Stomatology of Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai 200011, China; 3. Shanghai Gaitech Scientific Instruments Co. Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: Objective To investigate the mechanical property and tooth canal structure changes after RCT. **Method** Three-Dimensional Finite Element Model of tooth and centerline of tooth canal were constructed to research into the mechanical property and tooth canal structure, respectively. **Result** Three-dimensional finite element model and centerline model were separately constructed and made the comparison for the changes of mechanical property and tooth canal before and after RCT. **Conclusions** The method could be used to fast set up three-dimensional finite element model of tooth and centerline model and used for all kind of tooth to analyse their biomechanics properties.

Key words: Tooth; Root canal therapy; Root canal preparation; 3-D reconstruction; Mechanical properties

根管治疗术是保留患牙的一种最有效的方法, 根管预备是根管治疗术中最重要阶段, 主要完成清除牙髓组织和扩大根管系统的操作^[1]。进行根管预备会影响到根管系统的结构, 导致牙齿的力学性能和根管的结构发生变化。在根管预备过程中使用不同的工具和方法进行处理, 牙齿的力学性能和根管结构的变化也是不同的, 临床医生很难对这种变化进行准确的评价。

在临床实践中, 依靠断层扫描数据对牙齿及其

根管系统重建后获得的计算机三维模型能够帮助医生有效、全面地理解牙齿的形态和结构^[2], 避免治疗前的检查对牙齿的破坏。通过深入了解牙齿具体的力学性能和根管结构的变化, 医生能够详尽准确地掌握牙根管的实际情况, 进行合理有效的治疗, 确保根管预备及后续治疗的成功^[3,4]。同时, 通过研究分析可以量化地表示牙齿力学性能和牙根管结构的变化, 而量化结果是评估牙病治疗的效果和所用技术优劣的有效依据, 也是设计、选择和评价治疗工

收稿日期: 2008-10-24; 修回日期: 2009-01-04

作者简介: 姚远(1978-), 讲师, 研究方向: 组织工程骨支架设计理论。

通讯作者: 姚远, Tel: (021) 66133157-8016, E-mail: yaoyuan@shu.edu.cn

具的参考^[5]。因此,掌握根管预备后牙齿的力学性能和根管结构的变化对牙病预防及治疗有着重要意义,研究牙齿的力学性能和根管的结构也是计算机辅助牙髓治疗方法的基础^[2]。

1 研究方法

1.1 现有研究方法

常用的研究方法是根据牙齿的 CT 扫描数据,应用传统的逆向设计软件来构建牙齿的三维模型。然后将三维模型导入分析软件中,进行力学分析。例如,根据 CT 图像数据构建样条曲线拟合牙齿磨牙模型,或通过 Mimics 软件重建牙齿的 Micro-CT 扫描数据为计算机三维模型,再通过 Geomagic Studio 等软件构建牙齿组织的 NURBS 曲面^[6],应用拟合等方法来构建磨牙模型^[7]、尖牙模型^[8],然后对构建的牙齿模型进行力学分析。

由于现有的软件系统常常不能满足特定的需求,且处理步骤繁杂,所获得的模型亦不够精确,因此,很多研究者通过独立编码实现从牙齿的 CT 扫描数据到牙齿模型的构建,然后对构建的模型进行力学分析,如:西班牙奥维耶多大学的学者通过三维参数设计程序实现牙齿模型的构建,研究了经牙髓治疗后尖牙的力学特征^[9,10];在研究牙根管结构方面,Peters 等^[11]用“Marching Cubes”等经典三维重构算法评估预备后的牙根管几何形态的改变,给出了牙根管在 x 、 y 方向上的二维偏移量^[11];瑞士苏黎世大学的学者应用微型计算机- x 线断层摄影术研究牙根管在根管预备后的变化^[12]。

牙体组织,特别是牙根管的结构复杂,常用的拟合方法一般只能获得牙齿的表面数据信息和根管结构的大致模型,无法获得牙齿及根管组织的精确模型^[7-9];而构建的模型中没有模拟牙槽骨的模型,导致分析不够精确。应用多种软件构建牙齿模型,模型在软件中的互相转换,导致数据丢失,也会影响模型的精度^[6,7]。由于基于 Micro-CT 数据重建的牙根管结构具有数据量大、几何特征复杂的特性,重建的三角网格模型经常存在不良的结构,而部分商业工具缺少足够的测试,在提取牙根管中心线来研究牙根管的结构的方法在处理时往往会遇到各种难以预计的错误;文献^[11]中描述了比较牙根管预备前后的结构和中心线的变化方法,但没有给出在三维空

间内量化的偏移数据和实现过程。

1.2 本文研究方法

本文利用 Simpleware 三维建模软件高效地构建用于力学分析的牙齿、根管及牙槽骨模型的方法,在研究根管预备前后根管结构变化的分析方法的基础上给出了根管中心线偏移的三维空间比较过程,提出详细可参考的用于牙齿力学性能和结构研究的模型,为根管预备技术的评价提供量化的参考。具体方法是:以牙齿的 Micro-CT 扫描数据为基础,仅运用 Simpleware 软件构建带有牙髓腔和模拟牙槽骨的牙齿三维有限元——体网格模型,然后进行力学性能的分析研究。运用计算机辅助设计(CAD)类软件构建牙根管中心线,并研究根管预备前后的中心线的变化,得到量化的数据。

在牙齿行使正常咀嚼功能时,第 1 磨牙是承受力的重要部位,故受创伤的可能性大于其他牙齿。本文研究的分析样本是选自医院拔除的患者右侧上颌第 1 磨牙。通过去除周围牙槽骨、牙周膜,保持牙齿结构完整。分别对进行体外根管预备前、后的牙齿标本进行 Micro-CT 扫描,扫描时保持牙齿长轴与检查床平行,与扫描平面垂直,进行轴向扫描,获得牙齿的扫描数据。研究表明,轴向扫描是合理的,因为根管预备后仅在轴向发生变化^[2]。

对磨牙标本进行 Micro-CT 扫描,扫描时保持牙齿长轴与检查床平行,与扫描平面垂直。扫描层厚间距 $0.2 \mu\text{m}$ 。共获得牙齿侧面图像 485 张 DICOM 格式的医学图像。在 HP 图形工作站 (Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.60GHz, 3.00GB 内存, WindowsXP 系统) 电脑上,运用 Simpleware3.1、Imageware11 和 UG NX 4.0、Ansys 11 软件构建牙齿模型及根管中心线模型进行分析。

2 根管预备后牙齿力学性能

2.1 牙齿三维体网格模型的构建

本文应用 Simpleware 软件建立带有牙髓腔和牙槽骨的牙齿体网格模型,并将建立的体网格模型直接导入力学分析软件,进行力学分析。具体流程如图 1 所示,将获得的牙齿 Micro-CT 扫描数据导入 Simpleware 软件的 ScanIP 模块中进行数字图像处理,运用动态阈值、Floodfill 填充等功能重建牙齿的三维模型。在 ScanCAD 模块中导入 ScanIP 模块建

立的牙齿模型,同时导入UG NX 4.0 软件构建的模拟牙槽骨结构的 stl 格式长方体模型,将牙齿模型和长方体模型进行精确的配准。在 ScanIP 模块中,对配准的牙齿和长方体模型进行布尔运算,得到牙齿和牙槽骨模型,如图 2 所示。在 Simpleware 软件的 ScanFE 模块中,对体网格模型进行光滑等操作,生成更加吻合牙齿真实情况的四面体和六面体混合的

体网格模型,网格均匀良好,如图 3 所示。第 1 次根管预备后的牙齿网格为 75 991 个,节点为 17 823 个;牙槽骨的网格为 208 007 个,节点 78 141 个。将生成的体网格保存为受力分析软件可用的. ans 格式,同时按照表 1 的参数为牙齿和牙槽骨模型の設定材料属性;得到可直接用于受力分析的带有牙髓腔和牙槽骨结构的牙齿三维有限元模型。

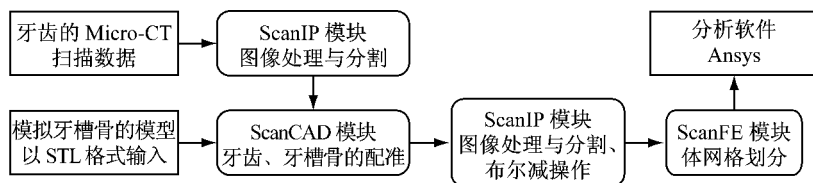


图 1 应用 Simpleware 软件构建有限元模型的流程
Fig.1 Process of creating FE model with Simpleware

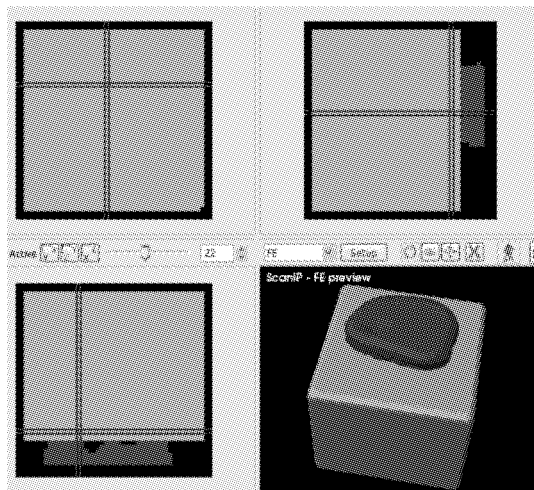


图 2 构建牙齿、牙槽骨模型
Fig.2 Constructing tooth and alveolar bone

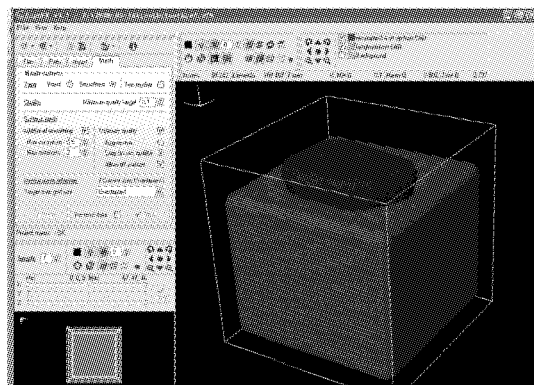


图 3 生成体网格
Fig.3 Creating the mesh

表 1 材料属性

Tab.1 Material properties

	材料属性	
	弹性模量/(GPa)	泊松比
牙本质	18.5	0.31
牙槽骨	13.8	0.26

2.2 力学分析

在软件 ANSYS 11 中,导入带有牙髓腔和牙槽骨的牙齿模型,设定牙齿的受力大小和受力位置等参数。对牙槽骨模型的除去上表面的 5 个表面施加全约束,对牙齿上表面施加正压力 100 N,然后进行受力分析的求解。本文研究分析了上颌第 1 磨牙在离体后进行根管预备与离体预备前的在相同条件下受力情况,得到 3 次根管预备后力学性能分析的受力变形图。如图 4 中,左、右图分别表示磨牙在根管预备前、后在上述相同条件下受力情况。

由于牙齿结构的复杂,造成牙齿不同部分力学性能差异很大。通过对上颌第 1 磨牙在根管预备后力学性能的研究分析,牙齿、牙槽骨在根管预备后,力学性能特征有所改变。参照力学分析的结果,可以评估根管治疗中所用方法和工具的合理性,分析结果也为进一步治疗提供了重要的指导。文中叙述的带有牙髓腔和牙槽骨结构的牙齿三维有限元模型的构建方法也可用于其他牙体力学性能的研究模型

的构建。

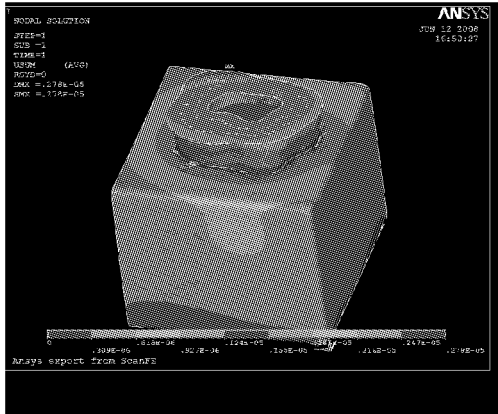
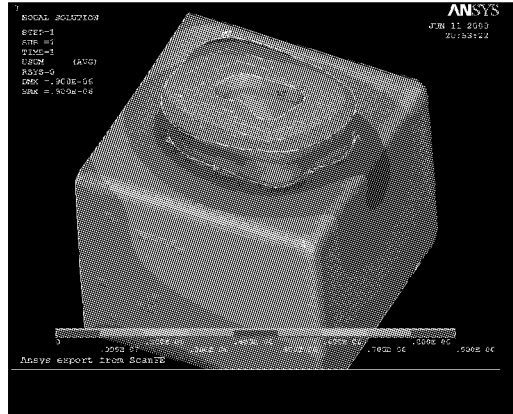


图4 牙齿受力变形图

Fig.4 Deformation figure of tooth



3 根管结构分析

3.1 根管中心线的构建

本文通过研究上颌第1磨牙在根管预备前、后中心线的变化研究牙根管的结构,分析结果给出了根管中心线偏移的三维空间比较。根据医院提供的同一颗牙齿完整的根管预备前、后的二次 Micro-CT

数据,在 Simpleware 中重建牙齿和牙根管的 stl 格式的三维模型。将 stl 格式的模型文件导入到逆向造型系统-Imageware 中,牙齿和牙根管的模型数据为点云形式(图5中 a, 粉色点云为预备前,白色点云为预备后),截取预备前、后的牙根管部分的点云(图5中 b)。

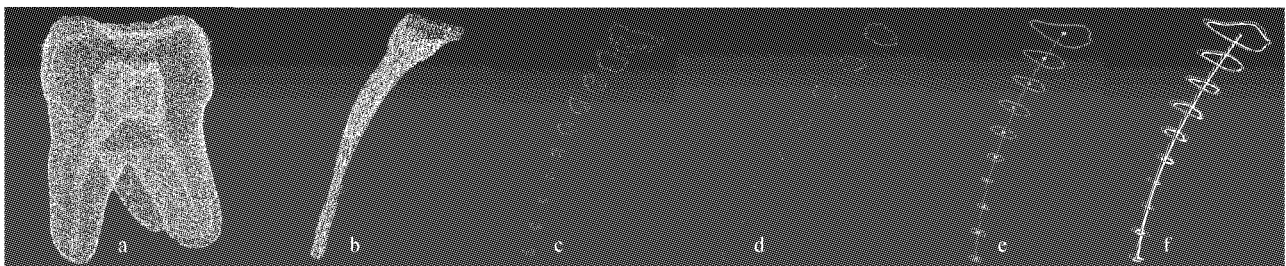


图5 牙根管中心线的构建

Fig.5 Construction of centerlines of tooth canal

首先等间距提取其多层水平截面点云。在图例中,截取的根管长约 10.8 mm,设置截面间距为 1.2 mm,共截取 10 个平行的截面点云(如图 5c,也可以手动截取更多截面,以提高精度。本文截取 10 个截面点云)。然后对截面点云进行分离和修整,应用截面点云拟合多个封闭曲线,呈平行状态分布(如图 5d)。最后分别构建出上述拟合的封闭曲线的中心点(如图 5e),得到牙根管的多个平行截面曲线的中心点,以中心点拟合中心线(如图 5f)。截面越多,中心点也就越

多,中心线就越贴近实际的中心线。

3.2 根管中心线分析

按照根管中心线构建的方法,分别构建出牙齿同一根牙根管的预备前、后的中心线。在软件中,先后选择构建的 2 条中心线。粉色中心线是根管预备前的中心线,是进行比较的基准线;白色中心线是根管预备后的中心线,作为被比较对象,进行比较后呈断续状。研究的内容为在根管预备后,根管中心线较根管预备前的空间位置变化。因此,依次选择 2

条中心线,对这 2 条中心线进行三维空间的比较。进行比较时,系统自动划分中心线上的层面位置,以进行精确、直观的比较。比较层面呈红色部分表明根管离体预备后的中心线相对于离体预备前相对空间距离较大,近绿色部分表明相对空间距离较小(见图 6)。

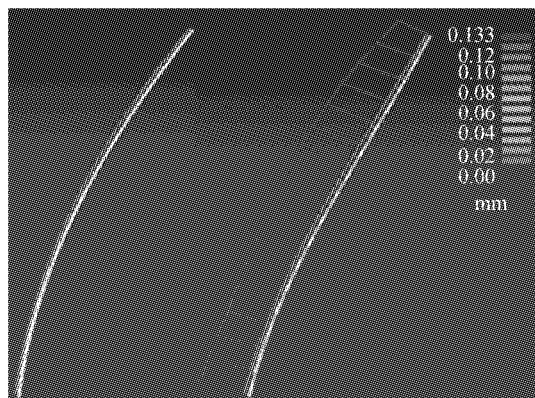


图 6 中心线的三维空间比较

Fig.6 3-D distance comparison of centerlines

比较根管预备前、后 1 条根管中心线相互之间的三维空间量化距离见表 2。其中“当前的点”表示参考线上的点,“当前的线”表示对应参照线被比较线上的点,“法向”表示在法向上的偏移量,也就是同一根管中心线经过根管预备后与根管预备前的中心线(比较参照线)在法向偏移量上的比较。“误差”表示根管预备后与预备前的中心线在一个比较层面上(如: N000000001) x 、 y 、 z 3 个法向上的偏移距离,是分析研究主要关注的内容。表中数字的单位均为 mm。通过了解根管中心线的在预备前、后位置偏移的情况,掌握预备前后根管结构的变化,并根据根管结构的变化评估根管治疗的效果及所用的工具。上述方法也可用于比较牙齿的其它根管或其它情况下的根管中心线偏移情况。

牙根管形态极其不规则,而对所构建中心线精度要求又很高,使得通过牙齿的 Micro-CT 扫描数据构建牙根管中心线不易实现。本研究结合 Micro-CT 技术和 Simpleware 等计算机应用软件根据牙齿的 CT 数据构建了牙根管中心线,并对预备前后的牙根管中心线进行了三维空间的比较,给出了量化的比较结果。而通过调整重建的 stl 格式牙齿模型的精度,点云拟合曲线的精度和增加点云截面数,都可以

提高根管中心线的精度,使构建的牙根管中心线逼近实际的中心线。

表 2 根管预备后与根管预备前的中心线三维空间距离的比较

Tab.2 3-D distance comparison of two centerlines

	当前的点	当前的线	法向	误差	
N000000001					
X	12.4802	12.4736	0.0536	0.0067	
Y	10.2529	10.3699	-0.9359	-0.1170	
Z	97.2500	97.2932	-0.3455	-0.0432	
N000000002					
X	12.4770	12.4757	0.0112	0.0013	
Y	10.0377	10.1492	-0.9523	-0.1115	
Z	97.9000	97.9358	-0.3050	-0.0357	

4 讨论

牙体组织具有体积小、形态不规则、不同部分力学性质差异较大等特点,在进行牙齿的力学性能和根管结构分析时如何建立精细的带有牙髓腔和牙槽骨的牙齿三维模型一直是一项非常困难的任务。完成牙根管预备术前和术后的形态变化分析也同样繁琐。目前,国内外有关牙齿力学性能分析的研究在牙齿模型构建上不完整、模型精度不高,有些缺少模拟牙槽骨结构,有些缺少精细的根管结构。而对于根管中心线的分析,有关研究较少;有目前已有的涉及到根管中心线的构建为通过程序提取,有一定难度。本文综合不同软件系统,提出一个用于牙齿根管建模和分析的可行的方案。

本方案基于第一磨牙的 Micro-CT 扫描数据,应用 Simpleware 软件和逆向造型软件分别构建了牙齿的三维有限元模型和牙根管的中心线模型,实现了 CT 图像与三维有限元模型的转换,成功建立了精细的带有牙髓腔和牙槽骨的牙齿三维有限元模型和根管中心线。在可视化界面下对模型进行修改、精化,缩短了建模时间,提高了建模的效率和可操作性。构建的牙齿三维有限元模型和牙根管的中心线模型细致、精确、完整,可以更好地反映上颌前磨牙表面、根管内部的解剖学特征。为根管治疗过程和治疗工具的评估提供精确、量化的几何与力学性能变化的数据参考。

参考文献:

[1] Ismann Michael Hü, Peters O, Dummer Paul MH. Me-

(下转第 78 页)