

文章编号:1004-7220(2017)05-0454-04

# 基于4种软件的牙周病患者牙齿建模和受力分析

满斌<sup>a</sup>, 傅波<sup>a</sup>, 白林<sup>b</sup>, 徐屹<sup>b</sup>

(四川大学 a. 制造科学与工程学院, 成都 610065; b. 华西口腔医院 牙周病科, 成都 610041)

**摘要:** **目的** 根据牙周病患者的牙齿 CT 数据和石膏模型, 基于 4 种软件进行建模分析, 获得病人牙齿受力和应力分布状况, 为牙周病患者的临床治疗提供参考。 **方法** 利用 Mimics 软件对 CT 图像进行初步处理, 建立三维点云模型; 把初步建立的模型利用逆向工程软件 Geomagic 对模型进行参数化建模和修整, 建立三维曲面模型; 将曲面模型导入三维绘图软件 SolidWorks 中, 通过实体转换输出三维实体模型; 最后利用有限元分析软件 ANSYS 对牙齿的三维实体模型进行分析。 **结果** 获得了上牙的应力分布, 确定了应力集中点的位置。并对应力集中点的牙齿进行单独分析, 其最大应力为 1 774. 8 MPa, 再根据应力分布对咬合关系进行调整, 调整后的牙齿最大应力减小为 1 529 MPa。 **结论** 所介绍的牙齿建模分析方法, 可以模拟各种咬合关系的修正, 并计算修正后的牙齿应力分布, 为牙周病的临床治疗提供理论依据。

**关键词:** 牙齿建模; 应力分布; 咬合关系; 有限元分析

中图分类号: R 318. 01 文献标志码: A

DOI: 10. 16156/j. 1004-7220. 2017. 05. 010

## Modeling and analysis for teeth of a patient with periodontal diseases based on four kinds of software

MAN Bin<sup>a</sup>, FU Bo<sup>a</sup>, BAI Lin<sup>b</sup>, XU Yi<sup>b</sup> (a. College of Manufacturing Science and Engineering, Chengdu 610065; b. Department of Periodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** **Objective** To provide references for the clinical treatment of patients with periodontal diseases by modeling and analysis based on four software and obtaining stress distributions of the patient's teeth, according to CT data and plaster model of the patient's teeth. **Methods** The CT data were preliminary processed by using Mimics software to establish three-dimensional (3D) cloud model. The 3D surface model of the teeth was then constructed by using Geomagic software to make parameter modeling and reverse engineering. The 3D surface model was imported into SolidWorks to obtain the 3D entity model by entity conversions. Finally, the 3D entity model was imported to ANSYS for analysis. **Results** The stress distributions on the upper teeth were obtained, and the location of stress concentration points was determined. The stress concentration points of the teeth were analyzed separately, and the maximum stress was 1 774. 8 MPa. The occlusal relationship was adjusted based on stress distributions, and the maximum stress after adjustment was reduced to 1 529 MPa. **Conclusions** This dental modeling and analysis method can simulate various occlusal relationships and calculate tooth stress distribution after amendment, which provides the theoretical basis for clinical treatment of periodontal diseases.

**Key words:** Dental modeling; Stress distribution; Occlusal relationship; Finite element analysis

在现代医学领域中,三维建模法和有限元分析法已逐渐被应用到口腔疾病的辅助治疗中。在以往的文献中,大部分研究者都只对单颗或少数几颗牙齿进行三维建模,鲜有对整个上颌或者下颌牙列进行建模分析,以及将模拟与临床诊断结果进行对比<sup>[1-4]</sup>。

研究牙周病患者牙齿的受力和应力分布情况,对于病因分析和治疗指导具有重要的参考作用。牙齿的受力和应力分布很难直接测量,故采用先进的三维软件进行计算机建模分析是最有效的方法。本文以牙周病人的病牙 CT 数据和石膏模型为基础,采用 4 种软件 Mimics 10.1、Geomagic Studio 12、SolidWorks 2013 和 ANSYS 14.0 进行建模分析,并对咬合关系对牙齿应力分布的影响进行仿真。上述 4 种软件在建模和受力分析方面的应用都十分广泛。其中,Mimics 是一款常用的医学影像处理软件,可对 CT 扫描得到的数据进行分析,生成准确的三维图像;Geomagic Studio 逆向工程软件可将三维模型进行曲面优化,生成光滑真实的三维曲面模型;SolidWorks 三维设计类软件可将三维曲面模型转化为三维实体模型;ANSYS 有限元分析软件可对处理后的三维模型进行应力、应变分析。本文介绍的方法不仅适用于牙齿的力学分析,也可应用于生物体的各种结构力学分析中,为医学实践提供方便、快捷及有效的指导。

## 1 模型的处理及分析

### 1.1 CBCT 数据的获取

选择一名患有牙周病的 31 岁女性患者的牙齿作为研究对象,该患者的牙齿情况是:全口龈上牙结石 I-II°,菌斑软垢(+),色素(-),牙龈色泽稍红肿,质地无明显异常,双侧上下后牙区可探及深牙周袋,平均探诊深度约为 6 mm,袋内结石(+),附着丧失(+),探诊出血(+),左侧上下第 3 磨牙已萌出,咬合关系良好,右侧上下颌第 3 磨牙缺失,全口余牙无缺失,无松动,右侧上下后牙区经关节科诊断有咬合创伤。采用 CBCT 机对该患者的牙齿进行扫描,获取其 CT 图像和牙齿各项相关参数,并刻入数据光盘中。CT 图像格式为 DICOM 类型文件,上下颌牙列一共有 304 张图层。

### 1.2 用 Mimics 建立初步模型<sup>[5-7]</sup>

将 DICOM 格式的图片导入 Mimics 中,初步生

成三维矢量图。在此过程中需要根据观察要求自己设置视图的方位。由于拍摄的 CT 图中包含了牙齿以及牙齿周边组织,且牙齿周边组织的密度与牙齿有很大不同,故需要通过设置阈值将其初步分离。在矢量图中牙本质等组织画线,可测得肌肉、牙釉质、骨质的阈值范围分别为 40、100~2 000、2 000~3 072。在满足阈值包含在测量值的范围之内的条件下,设置实际阈值为 800~3 071,得到牙齿的三维模型。

要分析牙齿的受力情况,需分离上下牙列。通过对比分析 3 个矢量图,确定下牙列的大致坐标,将轴状图中的下牙列图层进行擦除。在找到上牙列的清晰图层后,采用局部增长工具,形成新的 Mask 并生成上牙列的 3D 图形。

在前面的处理过程中,由于拍摄的 CBCT 图等存在误差,使得生成的模型存在残缺和伪影。因此,采用 Edit Mask 对上牙列的每幅图层进行修改,累积修改 432 次。完成操作后,再生成一个新的 3D 模型。将最后得到的上牙列 3D 模型存成 STL 格式的文件,供下一步使用。

### 1.3 用 Gomagic 对模型进行参数化建模<sup>[8-9]</sup>

将 STL 格式的文件导入到 Gomagic 中,进行表面光滑处理和参数化建模,得到更为精细的牙列模型。具体处理过程为:导入模型后,进行点处理阶段,删除体外孤点、减少噪音等操作。完成后将模型进行合并和封装,然后进入多边形处理阶段,即采用网格医生诊断后,删除钉状物,并填充去全部孔,再简化多边形。最后进行 CAD 曲面建模,构造参数化曲面,编辑轮廓线,修剪并缝合曲线,精确化曲面。处理后的模型比之前的模型更精细,整个上牙列共分为 740 个面、400 001 个网格三角形以及 1 697 条边。Geomagic 软件处理后的三维曲面模型需要导入 SolidWorks 中进行三维实体化。因此,将得到的三维曲面模型存成 IGES 格式的文件导出。

### 1.4 用 SolidWorks 处理三维曲面模型

将 IGES 文件导入 SolidWorks 中,导入过程中软件会自动对模型进行分析,检查几何模型中是否有错误面和缝隙存留。若存在以上问题,选择自动尝试愈合所有面。如果有的面不能自动愈合,需要手动修复。完成修复操作后进行再次诊断,直到没有错误。再将该模型进行加厚的操作,在加厚命令弹出的对话框中选择全部填充,即可生成三维实体模型。

此时,将该实体模型存成 x\_t 格式并导出。

## 2 用 ANSYS 对模型进行有限元分析的结果

### 2.1 整列牙齿分析的结果

将 x\_t 格式的文件导入后,进行模型材料属性的添加,材料的具体参数见表 1。在材料库中,根据牙齿及牙槽骨的泊松比、弹性模量和密度定义牙齿及牙槽骨的材料。

表 1 牙齿及牙槽骨材料属性<sup>[1]</sup>

Tab.1 Material properties of the teeth and alveolar bone

物质	弹性模量/GPa	泊松比
牙釉质	209.72	0.30
牙本质	186.00	0.31
牙槽骨	137.00	0.30

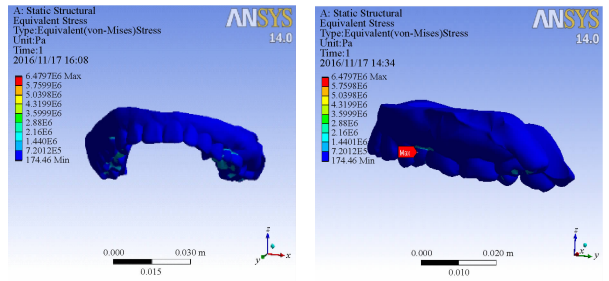
修改参数设置,对牙齿进行网格划分。整个上牙列划分为 22 199 个节点和 12 902 个单元。然后定义约束面和载荷。上牙列分别以上颌牙槽骨为约束面,单颗牙齿以牙齿根面为约束面。

载荷的加载位置按咬合关系确定。通过观察病人牙齿的石膏模型,对上下颌牙列的咬合关系进行分析后,确定上牙列的主要受力面为后牙区的左、右各 4 颗牙齿,咬合力方向的方向的基准面为上颌牙槽骨,咬合力为 200 ~ 250 N<sup>[10-11]</sup>。

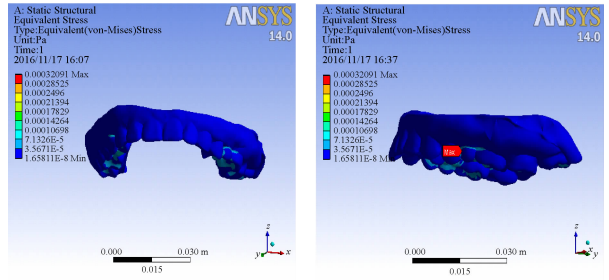
对上牙列的应力和应变进行求解。具体的应力和应变情况见图 1。结果表明,上牙列的最大应力为 6.479 7 MPa,位于上颌左侧第 1 磨牙[见图 1(a)中红色箭头处];最大应变为 3.209 × 10<sup>-4</sup>,也位于上颌左侧第 1 磨牙上[见图 1(b)中红色箭头处]。

### 2.2 单颗牙齿分析的结果

根据以上分析结果可知,上牙列中的应力集中点出现在上颌左侧第 1 磨牙。为了便于下一步的研究,将这颗牙齿分离出来进行分析,建模方法和处理上牙的方法相同。由于关注的是牙齿应力分布情况及应力集中的位置,而应力的绝对大小不是重点,故为了分析方便,设定在单颗牙齿上加载的咬合力大小不变,咬合力方向的基准面为牙齿根面。结果表明,单颗牙齿的最大应力为 1 774.8 MPa,位于该牙根部[见图 2(a)中红色箭头处];最大应变为 0.095 901,也位于该牙根部[见图 2(b)中红色箭头处]。



(a) 应力

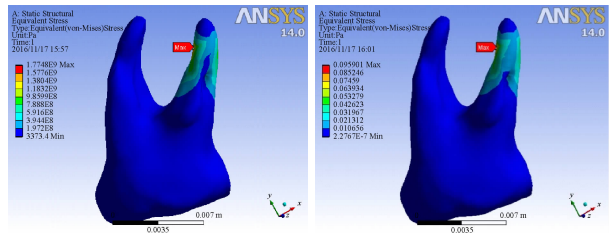


(b) 应变

图 1 上牙列应力、应变分布图

Fig.1 Stress and strain distributions on the upper teeth

(a) Stress, (b) Strain



(a) 应力

(b) 应变

图 2 单颗牙齿应力、应变分布图

Fig.2 Stress and strain distributions on a single tooth

(a) Stress, (b) Strain

## 3 讨论

从分析的结果来看,该病人的牙齿应力集中点出现在上颌左侧第 1 磨牙,原因可能是该处的牙齿咬合关系不恰当。长时间不恰当的咬合,可能会造成牙齿根部由于应力集中而产生病变。在临床诊断中,发现该牙周病人的病变区主要出现在上颌左侧第 2 双尖牙、第 1 和第 2 磨牙的位置,与本文的分析结果一致,表明牙齿应力集中很可能是引发牙周病的原因之一。因此,通过修正牙齿的咬合关系来降低应力集中,是一种可采用的牙周病临床治疗方法。

为了模拟通过修正咬合关系降低牙齿应力的效果,可利用三维软件对牙齿的咬合面进行修正,然后重新加载。为了保证实验结果的可靠性,加载力的大小、方向以及作用面与前面分析应力、应变时的加载方式相同。以前面分析的上颌牙列的第 3 颗牙齿为例,用 Geomagic Studio 对第 3 颗牙齿的受力面进行电晕处理和轮廓线的编辑等操作,模拟临床咬合面的修正。

将修改后的模型用 SolidWorks 处理后,导入 ANSYS 进行受力分析。结果表明,修正后单颗牙齿最大应力为 1 592 MPa,位于该牙靠近牙根面的位置[见图 3(a)中红色箭头处];最大应变为 0.082 444,也位于该牙靠近牙根面的位置[见图 3(b)中红色箭头处]。比较修正前后的牙齿应力情况可知,通过改变牙齿的咬合关系,最大应力和应变均有所降低,应力集中的情况得到了改善。因此,调整牙齿间的咬合关系,可以有效改善牙齿的受力情况,消减应力集中。采用上述方法得出的结果为后期牙周病临床治疗提供了参考依据。

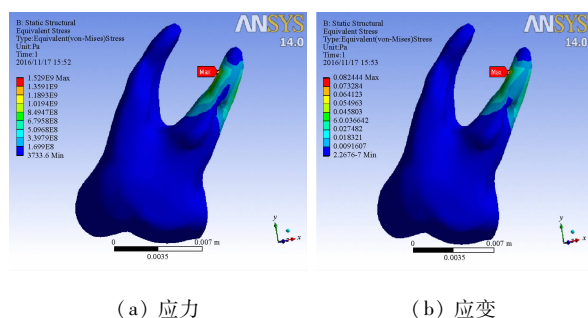


图 3 修正后的牙齿应力、应变分布图

Fig. 3 Stress and strain distributions on the modified tooth

(a) Stress, (b) Strain

## 4 结语

本文基于 CBCT 机拍摄的 CT 图像,结合反映咬合关系的石膏模型,应用 Mimics、Geomagic、SolidWorks 和 ANSYS 4 种软件,对牙周病患者牙齿进行建模分析,得到整个上颌牙列和单颗病牙的应力分布状况。与临床诊断结果的对比分析表明,牙齿应力集中可能是引起牙周病的重要原因之一,通过修正咬合关系,应力集中现象可以得到改善。利用本文介绍的牙齿建模分析方法,可以模拟各种咬合关系的修正,计算修正咬合关系后的牙齿应力分布,为牙周病的临床治疗提供指导。由于牙齿和其他部位

的材料属性以及结构差异较大,分析过程还需根据实际要求进行继续完善。此外,引起牙周病的原因比较复杂,单从改善咬合关系方面去分析,具有一定的局限性。因此,如何细化建模处理过程,增强临床治疗与计算机模拟分析的紧密性,以及如何扩大方案的适用范围,将是今后研究的主要任务。

## 参考文献:

- [1] 王文亚,傅波,罗华,等. 不同桩核冠修复上颌中切牙的三维有限元模型建立及应力分析[J]. 医用生物力学, 2014, 29(1): 25-30.  
WANG WY, FU B, LUO H, *et al.* Three-dimensional finite element modeling and stress analysis on different posts and cores for repairing the maxillary central incisors [J]. J Med Biomech, 2014, 29(1): 25-30.
- [2] 张美超,刘阳,刘则玉,等. 利用 Mimics 和 Freeform 建立中国数字人上颌第一磨牙三维有限元模型[J]. 医用生物力学, 2006, 21(3): 208-211.  
ZHANG MC, LIU Y, LIU ZY, *et al.* using Mimics and Freeform established digital three-dimensional finite element model of human maxillary first molar in China [J]. J Med Biomech, 2006, 21(3): 208-211.
- [3] 王野平,林小英,周慧峰. Mimics 和 Geomagic 辅助下建立固定义齿的有限元模型[J]. 医用生物力学, 2010, 25(6): 433-438.  
WANG YP, LIN XY, ZHOU HF. Finite element model of fixed denture aided by Mimics & Geomagic [J]. J Med Biomech, 2010, 25(6): 433-438.
- [4] 于涛,刘文涛,朱淑亮,等. 基于牙齿 CT 图像的三维实体重建及有限元分析[J]. 武汉理工大学学报, 2015, 37(3): 117-123.
- [5] 赵峰,高勃,刘震侠,等. Dicom 标准和 Mimics 软件辅助建立下颌骨三维有限元模型[J]. 西南国防医药, 2005, 15(5): 479-481.
- [6] 关振群,石俊,李爱群,等. Mimics 辅助快速建立颅颌复合体的三维有限元模型[J]. 中国组织工程研究, 2011, 15(43): 7998-8001.
- [7] 张彤,刘洪臣,王延荣,等. 上颌骨复合体三维有限元模型的建立[J]. 中华口腔医学杂志, 2000, 35(5): 374-376.
- [8] 黄艳华,孙文磊,姜宏,等. 基于逆向工程技术的人体骨骼模型重建技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(11): 168-170.
- [9] 汤磊,钱建国,朱翔. 基于 Geomagic Studio 的点云处理与三维建模研究[C]// 中国测绘学会 2012 年学术年会论文集. 西安: [s. n.], 2012.
- [10] KIBI M, ONO T, DONG J, *et al.* Development of an RPD CAD system with finite element stress analysis [J]. J Oral Rehabil, 2009, 36(6): 442-450.
- [11] 王美青, Noshir Mehta, 徐柯,等. 上下牙尖窝接触关系的生物力特征[J]. 实用口腔医学杂志, 2013, 29(1): 112-120.