

Three-Dimensional Finite Element Analysis of Continuous Missing Teeth Repaired by Fixed Maxillary Posterior Implant Bridge

Xu Wu¹ Qiong Li² Peng Lan^{2*}

1. School of Stomatology, Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, Chian
2. Department of Stomatology, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract

Objective: To analyze the stress distribution of three-unit continuous missing teeth in two implant-fixed restoration of maxillary posterior teeth by three-dimensional finite element analysis (FEA, Finite Element Analysis). **Methods:** Using Abaqus 6.14 to establish a simplified model of alveolar bone mass in the posterior maxillary area, the alveolar bone height was 14 mm, the proximal distal length was 27 mm, and the model was established respectively A that is, the second maxillary anterior grinding dental and maxillary second molars implant bridge repair maxillary first molars missing and model B establish maxillary first molars and second molar implant single-terminal bridge repair maxillary second premolars model. At the normal loading condition, the stress distribution, the maximum stress of bone cortex and cancellous bone were calculated according to the vertical load von Mises 6:10:9. **Results:** The maximum von Mises stress of the model A was distributed in the neck of the distal implant, the maximum von Mises stress of the model B was distributed in the neck of the proximal implant, and the maximum stress of the model A was all the same less than the maximum von Mises stress B the model, and the difference was statistically significant. **Conclusion:** The stress distribution of the model A that is, the maxillary second premolar and the maxillary second molar implant bridge repair the maxillary first molar missing is more favorable than the model B that is, the restoration scheme of the maxillary first molar and the second molar implant single-ended bridge repair maxillary second premolar is more favorable to the stress distribution.

Keywords

three-dimensional finite element; planting repair; fixed bridge

上颌后牙种植固定桥修复连续缺失牙的三维有限元分析

武旭¹ 李琼² 蓝鹏^{2*}

1. 内蒙古医科大学口腔医学院, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000
2. 内蒙古医科大学附属医院口腔科, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

摘要

目的: 通过三维有限元分析法 (FEA, Finite Element Analysis) 对上颌后牙两颗种植固定修复三单位连续缺失牙的应力分布进行分析, 比较种植体位于缺失两端位置对缺失牙进行连桥修复及种植体位于远中一侧对缺失牙进行单端桥修复时的应力分布有何不同。 **方法:** 使用 Abaqus6.14 建立上颌后牙区牙槽骨骨块简化模型, 牙槽骨高度为 14mm, 近远中长度为 27mm, 分别建立模型 A 即上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙种植连桥修复上颌第一磨牙缺失及模型 B 建立上颌第一磨牙与第二磨牙种植单端桥修复上颌第二前磨牙的模型。在常规负载条件下, 按 6:10:9 施加垂直向载荷, 分别计算其应力分布、骨皮质、骨松质最大 von Mises 应力。 **结果:** 模型 A 的骨皮质最大 von Mises 应力分布于远中种植体的颈部, 模型 B 的骨皮质最大 von Mises 应力分布于近中种植体的颈部; 模型 A 的骨皮质最大 von Mises 应力均小于模型 B 的最大 von Mises 应力, 差异具有统计学意义。 **结论:** 模型 A 即上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙种植连桥修复上颌第一磨牙缺失的修复方案的应力分布较模型 B 即上颌第一磨牙与第二磨牙种植单端桥修复上颌第二前磨牙的修复方案更有利于应力分布。

关键词

三维有限元; 种植修复; 固定桥

1 引言

由于龋病、牙周病或其他原因导致上颌后牙连续的情况在临床中较为普遍, 而随着材料学的高速发展及种植修复技

术的逐渐成熟, 采用种植修复比可摘活动义齿修复具有更多的有点, 如不需摘戴、具有更高的咀嚼效能。但如何选择桥体修复方案一直以来作为一个难题困扰着临床医生。三维有限元分析法^[1]自从 20 世纪 70 年代应用于口腔医学领域后,

由于其较为精确的分析结果及可将各类材料研究对象转换为模型进行受力分析而广泛用于科研及临床分析中。本研究将使用三维有限元分析法对不同设计方案的种植固定桥修复上颌连续缺失牙进行分析, 以为临床提供指导。

2 材料和方法

2.1 有限元模型的建立

应用计算机软件 Abaqus 6.14 建立上颌后牙区牙槽骨及种植体模型, 牙槽骨高度 14mm, 长度 27mm, 种植体的形态和尺寸参考 Straumann 软组织水平标准颈种植体, 种植体与基台建立为整体, 其中上颌窦黏膜厚度为 0.5mm^[2]。分别建立模型 A 即上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙种植连桥修复上颌第一磨牙缺失及模型 B 建立上颌第一磨牙与第二磨牙种植单端桥修复上颌第二前磨牙的模型。

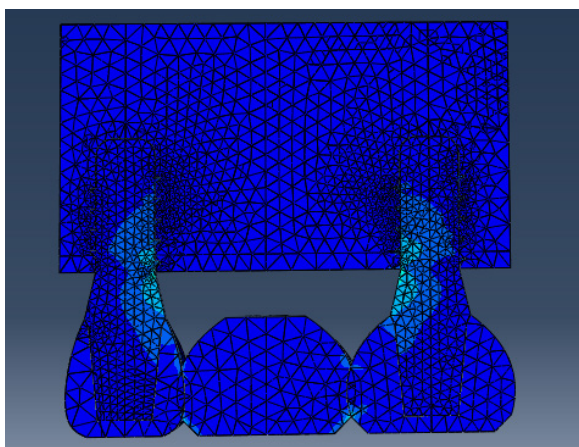


图 1 模型 A

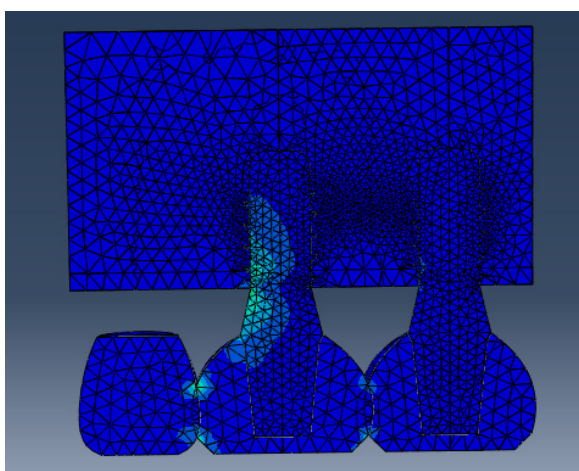


图 2 模型 B

2.2 材料性能

假设模型中所有材料均为均质、各向同性、线弹性的,

其杨氏模量、泊松比及质量密度来自于文献^[3-5], 由于上颌后牙区一般为三类骨即骨皮质、骨松质、纯钛、全瓷的弹性模量分别设置为: 13.7GPa、1.37GPa、110GPa、70GPa; 泊松比分别设置为: 0.3、0.3、0.35、0.19^[6-7]。

2.3 实验假设和边界条件

种植体与上颌骨之间实现 100% 骨结合。骨块底面给予刚性约束, 各材料均假设为连续、均质、各向同性的线弹性材料^[8]。

2.4 网格划分及加载条件

将各部件装配后按默认算法划分网格, 单元形状为四面体。按照纳尔逊定律^[9]即上颌第二前磨牙、上颌第一磨牙、上颌第二磨牙负载比值为 6:10:9, 由于日常拒绝食物所需牙合力为 3~30kg, 为使结果更加显著, 取 30kg ≈ 300N 进行垂直加载, 收集数据并统计分析。

3 结果

3.1 应力分布与最大 von Mises 应力

可以得出模型 A 即种植体位于上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙的位置(近中-远中)的骨皮质最大 von Mises 应力(Mpa)^[10-12]位于远中种植体的颈部, 而模型 B 即种植体位于上颌第一磨牙与第二磨牙的位置(中间-远中)的骨皮质最大 von Mises 应力(Mpa)位于中间种植体的颈部^[13-14]。而当种植体长度为 8mm、10mm、12mm 时, 模型 A 的骨皮质最大 von Mises 应力(Mpa)及骨松质最大 von Mises 应力(Mpa)均小于模型 B, 差异具有统计学意义(见表 1)。

表 1 模型 A、B 的骨皮质、骨松质最大 von Mises 应力(Mpa)

模型 A(近中-远中)或 B(中间-远中)	种植体型号	骨皮质最大 von Mises 应力(Mpa)	骨松质最大 von Mises 应力(Mpa)
A	4.1x8	36.07	5.80
B	4.1x8	41.22	7.32
A	4.1x10	23.68	4.80
B	4.1x10	34.96	6.88
A	4.1x12	21.68	3.88
B	4.1x12	35.94	5.04

4 讨论

随着种植义齿修复技术的逐渐成熟及材料学的高速发展, 对于牙列缺损及缺失患者, 种植修复已被列为首选治疗方案。另外, 由于种植义齿的特殊结构及经典的骨结合理论, 对能使种植体的应力合理分布有了更高的要求, 而有限元分析法

在20世纪70年代被提出后一直应用于口腔医学领域,其不仅计算精度高,而且能适应各种复杂形状,因而成为口腔医学领域行之有效的工程分析手段。

本研究通过有限元分析法对不同种植修复方案修复上颌后牙连续缺失进行应力分布分析可以得出,种植体位于上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙的位置(近中-远中)进行连桥修复比种植体位于上颌第一磨牙与第二磨牙的位置(中间-远中)进行连桥修复的方案更有利于应力分布。前者方案无论是骨皮质最大 von Mises 应力还是骨松质 von Mises 应力均小于后者的单端桥修复方案。另外根据既往学者的研究,人类骨皮质抗压强度和抗拉强度分别为 140MPa、108MPa^[15-17],考虑到固定义齿受力时,经种植体传到骨皮质时主要受到的是压力,确定本研究中的骨皮质屈服强度为 140MPa;而骨松质的屈服强度为 22—28MPa。由此看出两种修复方案均未超过最大的骨屈服强度,在临床实际情况中,种植体位于上颌第二前磨牙与上颌第二磨牙的位置(近中-远中)进行连桥修复方案更佳,但若有特殊情况,由于二者均未超过最大骨屈服强度,所以二者都可作为临床修复选择方案。本研究是在对材料性能与界面条件等进行诸多假设的基础上进行的,结果有待临床研究的验证。

参考文献

- [1] 于海洋. 口腔生物力学 [M]. 北京: 人民卫生出版社. 2012. 231-234, 277-278, 322.
- [2] Pommer B, Unger E, Sütöd, et al. Mechanical properties of the Schneiderian membrane in vitro [J]. Clin Oral Implants Res, 2009, 20(6): 633-637.
- [3] Lee JS, Cho IH, Kim YS, et al. Bone-implant interface with simulated insertion stress around an immediately loaded dental implant in the anterior maxilla: a three-dimensional finite element analysis [J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2012, 27(2): 295-302.
- [4] Seoane J, Lopez-Nino J, Tomas I, et al. Simulation for training in sinus floor elevation: new surgical bench model [J]. Med Oral Patol Oral Cir Bucal, 2012, 17(4): e605-e609.
- [5] Huang C, Chen L, Wu D, et al. Finite element simulations of the contact stress between rotary sinus lift kit and sinus membrane during lifting process [J]. Life Sci J, 2012, 9: 167-171.
- [6] Clelland NL, Lee JK, Bimbenet OC. A three-dimensional finite element stress analysis of angled abutments for an implant placed in the anterior maxilla. Prosthodont. 1995. 4(2): 95.
- [7] H L Huang, L J Fuh, J T Hsu, M G Tu, Y W Shen, C L Wu. Effects of implant surface roughness and stiffness of grafted bone on an immediately loaded maxillary implant: a 3D numerical analysis. Journal of Oral Rehabilitation. 2008. 35: 283-290.
- [8] Sadrimanesh Roozbeh, Siadat Hakimeh, Sadr-Eshkevari Pooyan, Monzavi Abbas, Maurer Peter, Rashad Ashkan. Alveolar Bone Stress Around Implants With Different Abutment Angulation: An FE-Analysis of Anterior Maxilla. Implant Dentistry: 2012, 21(3): 196-201.
- [9] 徐君武. 口腔修复学 [M]. 北京: 人民卫生出版社. 2000. 121-2.
- [10] Bayraktar, M., et al., Effect of crown to implant ratio and implant dimensions on periimplant stress of splinted implant-supported crowns: a finite element analysis. Implant Dent, 2013, 22(4): 406-13.
- [11] Koka, P., et al., The effect of implant design on the stress distribution in a three-unit implant-supported distal cantilever fixed partial denture: a three-dimensional finite-element analysis. Indian J Dent Res, 2012, 23(2): 129-34.
- [12] Bacchi, A., et al., Effect of framework material and vertical misfit on stress distribution in implant-supported partial prosthesis under load application: 3-D finite element analysis. Acta Odontol Scand, 2013, 71(5): p. 1243-9.
- [13] 吕佳, 刘翠玲, 蓝菁等. 动态载荷下种植体位置和直径对悬臂梁种植体固定义齿应力影响的三维有限元研究 [J]. 华西口腔医学杂志. 2013, 31(6): 552-556.
- [14] 黄庆丰, 张富强, 胡研, 等. 植入部位对种植固定桥受力影响的三维有限元分析 [J]. 上海口腔医学. 2008, 17(4): 400-404.
- [15] 宿玉成. 口腔种植学 [M]. 北京: 人民卫生出版社. 2014: 472.
- [16] George Papavasiliou, Phosphi Kamposiora, Stephen C. Bayne, David A. Felton. Three-dimensional finite element analysis of stress-distribution around single tooth implants as a function of bony support, prosthesis type, and loading during function. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1996. 76(6): 633-640.
- [17] Harun H. Bayraktar, Elise F. Morgan, Glen L. Niebur, Grayson E. Morris, Eric K. Wong, Tony M. Keaveny. Comparison of the elastic and yield properties of human femoral trabecular and cortical bone tissue. Journal of Biomechanics. 2004. 37: 27-35.