

两种直径种植体对上颌窦黏膜形变影响的有限元分析*

刘晓芳¹, 胡玲玲², 宋光保¹, 侯雅蓉¹, 柳大烈³, 章锦才¹

Effect of two different diameter implants on deformation of maxillary sinus mucosa: A three-dimensional finite element analysis

Liu Xiao-fang¹, Hu Ling-ling², Song Guang-bao¹, Hou Ya-rong¹, Liu Da-lie³, Zhang Jin-cai¹

¹Department of Prosthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Southern Medical University, Guangdong Provincial Stomatological Hospital, Guangzhou 510280, Guangdong Province, China;
²Department of Applied Mechanics and Engineering, Engineering School of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong Province, China;
³Department of Plastic and Aesthetic Surgery, Affiliated Zhujiang Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510280, Guangdong Province, China

Liu Xiao-fang, Chief physician, Department of Prosthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Southern Medical University, Guangdong Provincial Stomatological Hospital, Guangzhou 510280, Guangdong Province, China

Correspondence to: Zhang Jin-cai, Professor, Doctoral supervisor, Department of Prosthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Southern Medical University, Guangdong Provincial Stomatological Hospital, Guangzhou 510280, Guangdong Province, China
jincalzhang@hotmail.com

Abstract

BACKGROUND: Mild and uniform deformation of maxillary sinus mucosa is an important factor that reduces the incidence of mucosal perforation during maxillary sinus elevation by using bone condensing technology.
OBJECTIVE: To compare the effects of two diameter implants on the deformation of maxillary sinus mucosa.
METHODS: Three-dimensional finite element models of the maxillary sinus mucosa (thickness 0.3 mm) with two diameter implants (4.1 mm, 4.8 mm) were established in the special unit of ANSYS software. Maxillary sinus elevation operation was simulated. Von Mises stress values of mucosa surface with different lifting height was calculated according to the finite deformation theory.
RESULTS AND CONCLUSION: The maximum stresses of all models existed in the center of the mucosa and the minimum stresses existed in the edge of the mucosa. There was no significant difference in the stress to the center of the mucosa between the two diameter implants ($P > 0.05$), but the stress in the edge of mucosa of the larger diameter implant (4.8 mm) was significantly less than that of the stress in the edge of the small diameter implant (4.1 mm). The larger diameter implant (4.8 mm) has less stress for augmentation of the maxillary sinus floor in the case of allowed width.

Liu XF, Hu LL, Song GB, Hou YR, Liu DL, Zhang JC. Effect of two different diameter implants on deformation of maxillary sinus mucosa: A three-dimensional finite element analysis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(52):9742-9745. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 上颌窦黏膜形变温和均匀是减少骨挤压式上颌窦提升手术中黏膜穿孔的重要因素。
目的: 比较两种直径种植体对上颌窦黏膜形变的影响。
方法: 在 ANSYS 有限元软件的特定单元中分别建立直径 4.1 mm 和 4.8 mm 的 ITI 种植体与厚 0.3 mm 的上颌窦黏膜的有限元模型, 模拟上颌窦提升手术抬高黏膜, 根据大变形理论计算不同提升高度黏膜表面 Von mises 应力值。
结果与结论: 结果显示, 最大 Von mise 应力发生在黏膜中心, 最小 Von mise 应力发生在黏膜边缘。两种直径种植体对黏膜中心作用力差异无显著性意义($P > 0.05$), 而对黏膜边缘作用力, 直径 4.8 mm 种植体较 4.1 mm 种植体具有更加均匀温和的作用力。因此, 在骨宽度允许的情况下, 直径 4.8 mm 的种植体更适合用于骨挤压式上颌窦提升手术。
关键词: 牙种植体; 上颌窦黏膜; 不同直径; Von mise 应力; 有限元分析
doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.52.012

刘晓芳, 胡玲玲, 宋光保, 侯雅蓉, 柳大烈, 章锦才. 两种直径种植体对上颌窦黏膜形变影响的有限元分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(52):9742-9745. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

骨挤压式上颌窦提升手术因为无血管破坏及术后不良反应小, 被称为微小侵入性手术^[1]。但由于是在盲视状态下操作, 力度与提升程度无法掌握, 容易撕裂黏膜引起穿孔^[2-3]。黏膜穿孔不易被发现亦不可能被修复, 提高了上颌窦炎症感染的概率, 影响种植体的成活率。据国外报道黏膜穿孔率在2%~25%^[4-5]。

黏膜穿孔受很多因素影响, 如上颌窦手术与炎症病史, 上颌窦底不规则的骨形态, 上颌窦黏膜与口腔黏膜之间骨量的缺乏, 过薄的上颌窦黏膜及不完善的外科手术技巧等^[6-17]。那么, 如何选择种植体使手术中上颌窦黏膜形变更加温和均匀也是减少黏膜穿孔的重要因素。

据课题组检索目前尚无文献探讨种植体直径对黏膜应力的影响。

实验选择临床常见的两种直径的种植体, 建立三维有限元模型, 测量黏膜抬高后应力分配情况, 分析不同直径种植体对黏膜形变的影响。

1 材料和方法

设计: 三维有限元分析研究。

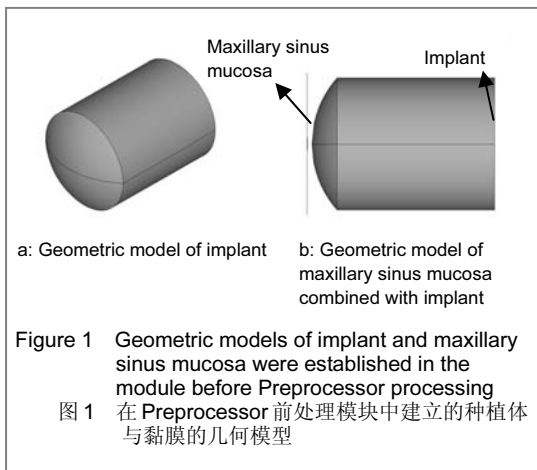
时间及地点: 于2011-06在中山大学完成。

材料: ANSYS 10.0有限元分析软件购自美国ANSYS公司。

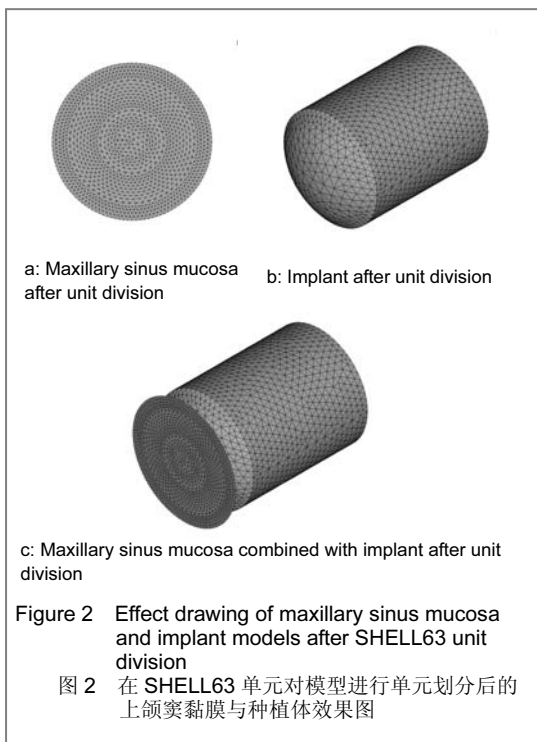
方法:

建立有限元模型: 在ANSYS 10.0有限元分析软件前处理模块Preprocessor中建立种植体与

上颌窦黏膜的几何模型(见图1)。



形状参照瑞士Straumann公司生产的直径4.1 mm与4.8 mm的两种ITI种植体, 其底部为球体, 高0.8 mm, 上部为圆柱体, 设定高度为5 mm^[18]。然后在种植体几何模型前方与其垂直的位置建立圆形的上颌窦黏膜, 厚度为0.3 mm, 二者间设定半个黏膜厚度的距离。在SHELL63单元对模型进行三角网格划分, 对各部分输入相应的力学参数, 获得三维有限元模型, 见图2, 表1。上颌窦黏膜共有930个节点, 1 758个单元; 种植体共有1 113个节点, 2 172个单元。



实验假设及边界约束: 设定上颌窦黏膜和种植体为各向同性线弹性材料, 将上颌窦黏膜周边设定全约束, 约束种植钉在X, Y方向的位移以及绕x, y, z三个方向的转动自由度, 沿z方

向施加位移。

表1 种植体与上颌窦黏膜的力学参数^[1, 18]
Table 1 Mechanical properties of materials

Material	Elastic modulus (MPa)	Poisson ratio
Titanium implant	1.078×10 ⁵	0.35
Maxillary sinus mucosa	58	0.45

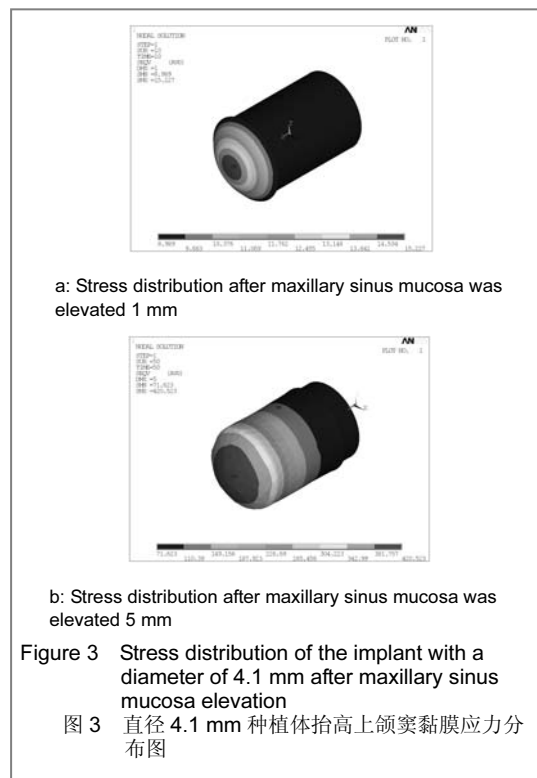
模拟接触与求解: 设创建接触对单元来模拟接触, 选用面面接触单元进行模拟计算, 定义种植体单元为目标单元, 上颌窦黏膜为接触单元。采用大变形非线性迭代求解^[19], 在ANSYS的solution模块中完成求解过程。

主要观察指标: 直径4.1 mm与4.8 mm的ITI种植体分别提升上颌窦黏膜1, 2, 3, 4, 5 mm时上颌窦黏膜形变所对应的Von mise最大应力值。

统计学分析: 将结果在SPSS 14.0软件中进行配对t 检验, P < 0.05为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 两种直径种植体抬高上颌窦黏膜时应力分布情况 结果显示, 应力最大值发生在上颌窦黏膜中心, 应力最小值发生在上颌窦黏膜边界, 见图3, 4。



Correspondence to: Liu Da-lie, Professor, Doctoral supervisor, Department of Plastic and Aesthetic Surgery, Affiliated Zhujiang Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510280, Guangdong Province, China liudalie@hotmail.com

Supported by: Guangdong Province Medical Research Project Foundation, No. A2009095*

Received: 2011-10-09 Accepted: 2011-10-26

¹南方医科大学附属口腔医院·广东省口腔医院, 广东省广州市510280; ²中山大学工学院应用力学与工程系, 广东省广州市510275; ³南方医科大学附属珠江医院整形美容外科, 广东省广州市510280

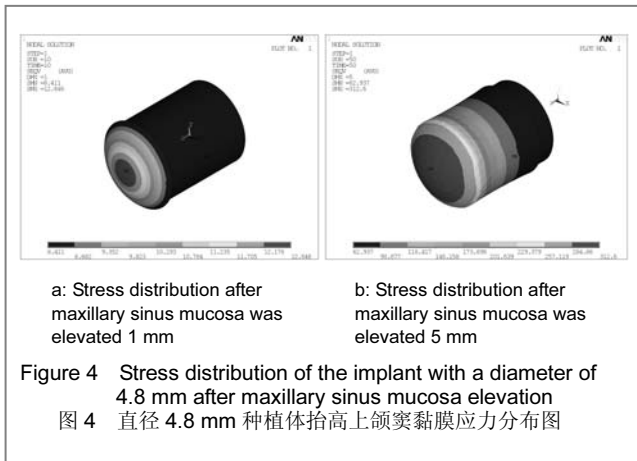
刘晓芳, 女, 汉族, 主任医师, 主要从事口腔生物力学的研究。liuxiaofang900@hotmail.com

通讯作者: 章锦才, 教授, 博士生导师, 南方医科大学附属口腔医院·广东省口腔医院, 广东省广州市510280 jincaizhang@hotmail.com

并列通讯作者: 柳大烈, 教授, 博士生导师, 南方医科大学附属珠江医院整形美容外科, 广东省广州市510280 liudalie@hotmail.com

中图分类号: R318 文献标识码: A 文章编号: 1673-8225 (2011)52-09742-04

收稿日期: 2011-10-09 修回日期: 2011-10-26 (20110902007/ WLM · G)



2.2 两种直径种植体抬高上颌窦黏膜时的应力变化趋势 见表2, 3。

表2 不同提升高度上颌窦黏膜中心 Von Mises 最大应力值
Table 2 The maximum stress in the center of maxillary sinus mucosa with different elevating heights (MPa)

Diameter (mm)	Elevating height (mm)				
	1	2	3	4	5
4.8	12.646	59.565	120.836	196.028	312.600
4.1	15.227	75.829	158.698	272.048	420.523

表3 不同提升高度上颌窦黏膜边界 Von Mises 最大应力值
Table 3 The maximum stress in the edge of maxillary sinus mucosa with different elevating heights (MPa)

Diameter (mm)	Elevating height (mm)				
	1	2	3	4	5
4.8	8.411	30.266	44.978	55.615	62.937
4.1	8.989	34.564	50.490	61.294	71.623

由表2, 3可见, 无论是在上颌窦黏膜中心还是边缘, Von mise最大应力值及分布区域均随提升高度的增加而逐渐增大。

2.3 两种直径种植体抬高上颌窦黏膜时最大Von mise应力值的比较 经统计分析, 两种直径种植体提升后上颌窦黏膜中心Von mise最大应力值差异无显著性意义 ($P=0.068$), 而上颌窦黏膜边界Von mise最大应力值有显著性差异 ($P=0.019$), 直径4.8 mm种植体较4.1 mm种植体对黏膜具有更加均匀温和的作用力。

3 讨论

上颌窦提升术是解决口腔种植上颌后部骨量不足的方法, 手术的关键在于尽可能精细、轻柔、完整地剥离和抬高上颌窦黏膜, 防止黏膜撕裂或穿孔^[1]。开窗式上颌窦提升术是通过在颊侧壁开窗、剥离黏膜、植骨来

增高上颌后牙区萎缩的牙槽骨, 手术范围大, 一般都需二次手术植入种植体, 创伤增加。而骨挤压式上颌窦提升术是通过敲击骨冲器抬起窦底, 相比之下, 易操作, 手术创伤小, 可以同期植入种植体, 缩短修复时间。但由于容易撕裂黏膜, 而且无法判断黏膜撕裂的位置和程度, 一般提升的范围较小, 操作不易到位, 使骨挤压式上颌窦提升手术的优势受到一定程度的限制。黏膜穿孔受多方面因素的影响^[6-17], 如上颌窦解剖形态, 种植体形状等。种植体直径粗细对上颌窦区种植手术的影响, 国内外学者做过许多研究, Degidi等^[10]研究种植体直径、长度对上颌窦区种植体植入后的初期稳定性及周围骨组织应力分布的影响, 发现初期稳定性与种植体直径和长度存在明显的正相关。Tepper等^[20]在研究中亦发现不同直径种植体对骨界面的应力不同, 5 mm直径的种植体比3.75 mm直径的种植体的骨结合强度更大、位移更小。但在手术中, 选用哪种直径种植体可以使上颌窦黏膜应力分布更合理, 从而减少上颌窦黏膜穿孔发生率, 目前尚无研究。

随着三维测量技术和计算机仿真技术的发展, 基于数字模型的力学分析方法日益受到重视。有限元分析法属于力学分析中的数值法, 能对多种不同模型进行计算分析, 并逐步从小应变、小位移、弹性材料和静力学分析, 发展到大变形、热分析、材料非线性问题及动力学问题的研究, 应用范围日益宽广。

在口腔医学领域, 国内外学者目前应用有限元分析法做了大量工作, 包括义齿, 下颌骨, 种植体, 颞下颌关节等^[18, 21-22], 对骨挤压式上颌窦提升手术中不同上颌窦底形态、种植体位置、骨挤压器顶端形状等因素对手术影响也做出一定分析研究^[23-28], 但对上颌窦黏膜的生物力学特征研究未见报道。软组织通常表现为非线性、黏弹性等材料性质, 其复杂的生物力学特性, 为计算机建模带来了一定的困难^[29-30]。实验应用有限元大变形基本理论模拟种植体与上颌窦黏膜的接触, 在既具有弯曲能力又具有膜力的特定功能区域里建模, 提供了研究上颌窦黏膜形变的新方法; ANSYS面面接触单元可以计算接触区任何需要的应力值^[30], 并可模拟出接触面下的应力分布趋势曲线图。实验采用云图方式仿真出种植体与上颌窦黏膜的接触应力分布情况, 达到了动态直观模拟上颌窦黏膜提升的效果。

通过对两种直径钛种植体提升上颌窦黏膜的形变与应力分析, 实验初步得出以下结论: 随提升高度的增加, 黏膜表面Von mise最大应力值及分布区域均逐渐增大; 最大Von mise应力发生在上颌窦黏膜中心, 最小Von mise应力发生在上颌窦黏膜边缘; 两种直径种植体对上颌窦黏膜中心作用力无显著性差异, 但是对上颌窦黏膜边缘作用力结果具有显著性差异。上颌窦黏膜边缘应力亦是从上颌窦骨壁剥离黏膜所需要的力, 在上颌窦提升

手术中剥离力也是导致黏膜穿孔的主要原因之一。因此, 直径为4.8 mm种植体较4.1 mm种植体对上颌窦黏膜提升具有更加温和的作用力, 在骨宽度允许的情况下, 更适合在骨挤压式上颌窦提升手术中应用。

4 参考文献

- [1] Pommer B, Unger E, Sütö D, et al. Mechanical properties of the Schneiderian membrane in vitro. *Clin Oral Implants Res.* 2009; 20(6):633-637.
- [2] Toffler M. Osteotome-mediated sinus floor elevation: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19(2):266-273.
- [3] Barone A, Santini S, Sbordone L, et al. A clinical study of the outcomes and complications associated with maxillary sinus augmentation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21(1):81-85.
- [4] Berengo M, Sivolella S, Majzoub Z, et al. Endoscopic evaluation of the bone-added osteotome sinus floor elevation procedure. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2004;33(2):189-194.
- [5] Ferrigno N, Laureti M, Fanali S. Dental implants placement in conjunction with osteotome sinus floor elevation: a 12-year life-table analysis from a prospective study on 588 ITI implants. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17(2):194-205.
- [6] Gross MD, Nissan J, Samuel R. Stress distribution around maxillary implants in anatomic photoelastic models of varying geometry. Part I. *J Prosthet Dent.* 2001;85(5):442-449.
- [7] Gross MD, Nissan J. Stress distribution around maxillary implants in anatomic photoelastic models of varying geometry. Part II. *J Prosthet Dent.* 2001;85(5):450-454.
- [8] Zhu ZL, Gong P, Jiao XW. Guowai Yixue: Kouqiang Yixue Fence. 2004;31(6):467-469.
朱卓立, 宫苹, 焦锡威. 上颌窦提升术与上颌窦炎相关性研究现状[J]. 国外医学: 口腔医学分册, 2004, 31(6):467-469
- [9] Baccar MN, Laure B, Chabut A, et al. Stability of graft sand implants after bone grafting of the maxillary sinus. Retrospective analysis of 44 patients. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 2005; 106(3):153-156.
- [10] Degidi M, Daprile G, Piattelli A, et al. Evaluation of factors influencing resonance frequency analysis values, at insertion surgery, of implants placed in sinus-augmented and nongrafted sites. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2007;9(3):144-149.
- [11] Draenert GF, Eisenmenger W. A new technique for the transcrestal sinus floor elevation and alveolar ridge augmentation with press-fit bone cylinders: a technical note. *J Craniomaxillofac Surg.* 2007;35(4-5):201-206.
- [12] Browaeys H, Bouvry P, De Bruyn H. A literature review on biomaterials in sinus augmentation procedures. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2007;9(3):166-177.
- [13] Garofalo GS. Autogenous, allogenic and xenogenic grafts for maxillary sinus elevation: literature review, current status and prospects. *Minerva Stomatol.* 2007;56(7-8):373-392.
- [14] Hernández-Alfaro F, Torradeflot MM, Marti C. Prevalence and management of Schneiderian membrane perforations during sinus-lift procedures. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19(1):91-98.
- [15] Lai HC, Zhang ZY, Wang F, et al. Resonance frequency analysis of stability on ITI implants with osteotome sinus floor elevation technique without grafting: a 5-month prospective study. *Clinical Oral Implants Research.* 2008;19(5):469-475.
- [16] Del Fabbro M, Rosano G, Taschieri S. Implant survival rates after maxillary sinus augmentation. *Eur J Oral Sci.* 2008;116(6):497-506.
- [17] Jiang F, Zhang X. Zhongguo Kouqiang Zhongzhixue Zazhi. 2010; 15(1):48-50.
蒋峰, 张雄. 上颌窦底壁分嵴的研究进展[J]. 中国口腔种植学杂志, 2010, 15(1):48-50.
- [18] Jian B, Song YL, Li DH, et al. Yati Yasui Yazhoubingxue Zazhi. 2008;18(10):552-555.
简波, 宋应亮, 李德华, 等. 含多个种植体的无牙下颌骨三维有限元模型的建立[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2008, 18(10):552-555.
- [19] Feng W, Zhou XC, Yan SP, et al. Wuhan Ligong Daxue Xuebao. 2004;26(6):52-55.
冯伟, 周新聪, 严新平, 等. 接触问题实体建模及有限元法仿真实现[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(6):52-55.
- [20] Tepper G, Haas R, Zechner W, et al. Three-dimensional finite element analysis of implant stability in the atrophic posterior maxilla: a mathematical study of the sinus floor augmentation. *Clin Oral Implants Res.* 2002;13(6):657-665.
- [21] Stegaroiu R, Watanabe N, Tanaka M, et al. Peri-implant stress analysis in simulation models with or without trabecular bone structure. *Int J Prosthodont.* 2006;19(1):40-42.
- [22] Li L, Xue S, Zhang FQ, et al. Kouqiang Calliao Qixie Zazhi. 2003; 12(3):117-120.
李玲, 薛森, 张富强, 等. 上下颌骨及牙列三维有限元模型的建立[J]. 口腔材料器械杂志, 2003, 12(3):117-120.
- [23] Lin CL, Chang SH, Chang WJ, et al. Factorial analysis of variables influencing mechanical characteristics of a single tooth implant placed in the maxilla using finite element analysis and the statistics-based Taguchi method. *Eur J Oral Sci.* 2007;115(5):408-416.
- [24] Zhang RH, Li NN, Zhou YM, et al. Kouqiang Yixue Yanjiu. 2006; 22(4):384-386.
张茹慧, 李男男, 周延民, 等. 比较骨挤压器顶端不同形态对骨挤压上颌窦提升术中窦底提升的影响[J]. 口腔医学研究, 2006, 22(4): 384-386.
- [25] Okumura N, Stegaroiu R, Kitamura E, et al. Influence of maxillary cortical bone thickness, implant design and implant diameter on stress around implants: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthodont Res.* 2010;54(3):133-142.
- [26] Xu YZ, Zhang FQ, Xu Q, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu Zazhi. 2008;12(17):3252-3256.
徐远志, 张富强, 徐钦, 等. 不同上颌窦底形态冲顶对冲顶器、窦底骨质及黏膜应力和位移影响的三维有限元分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复杂志, 2008, 12(17):3252-3256.
- [27] Koca OL, Eskitascioglu G, Usumez A. Three-dimensional finite-element analysis of functional stresses in different bone locations produced by implants placed in the maxillary posterior region of the sinus floor. *J Prosthet Dent.* 2005;93(1):38-44.
- [28] Fanuscu MI, Vu HV, Poncelet B. Implant biomechanics in grafted sinus: a finite element analysis. *J Oral Implantol.* 2004;30(2):59-68.
- [29] Zhang L, Gu XM, Wang Y, et al. Zhonghua Zhengxing Waikexue Zazhi. 2003;19(3):207-210.
张林, 顾晓明, 王莹, 等. 正颌外科软组织形态有限元分析系统的建立与应用[J]. 中华整形外科杂志, 2003, 19(3):207-210.
- [30] Sun YX, Bao XD, Jiang CT. Shengwu Yixue Gongcheng Yanjiu. 2004;23(3):137-140.
孙艳霞, 鲍旭东, 蒋春涛. 软组织建模中的有限元模型[J]. 生物医学工程研究, 2004, 23(3):137-140.

来自本文课题的更多信息一

基金资助: 广东省医学科研课题资助(A2009095), 课题名称: 骨挤压式上颌窦提升术的计算机力学分析研究。

作者贡献: 刘晓芳进行实验设计, 实验实施为胡玲玲, 实验评估为宋光保, 资料收集为侯雅蓉, 章锦才、柳大烈审核, 并对文章负责。章锦才, 柳大烈对文章的贡献相同, 故并列通讯作者。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

本文创新性:

提供证据: 检索 Pubmed 数据库、CHKD 期刊全文数据库中 2011-10 之前发表的文献, 检索关键词: “sinus floor elevation, schneiderian membrane” 或 “种植体、上颌窦提升术”, 未见种植体对骨挤压式上颌窦提升术中黏膜形变的影响的研究。

创新点说明: 课题首次应用有限元大变形理论接触算法对上颌窦黏膜提升过程进行初步仿真, 并探讨种植体直径对黏膜应力的影响。