

文章编号:1004-7220(2010)06-0417-05

前牙区平台转换种植体 不同种植深度的生物力学分析

郑群英¹, 杨秋燕², 杜志斌¹, 陈江¹

(1. 福建医科大学附属口腔医院, 福州 350002; 2. 厦门大学附属第一医院 口腔科, 厦门 361003)

摘要: **目的** 采用三维有限元方法建立平台转换种植系统的模型,分析平台转换种植系统应用于前牙时,不同加载时种植体植入不同深度的应力分布情况。**方法** 利用 Solidwork2007 设计软件和 Ansys Workbench 有限元分析软件,分析平台转换种植体分别在植入牙槽嵴水平、牙槽嵴下 1 mm(minus1)、牙槽嵴下 2 mm(minus2)时的应力分布情况,以常规种植体为对照组。**结果** 平台转换种植体中牙槽嵴顶骨质的应力值随种植体植入深度加深而有效降低,且比常规组小,而常规组随种植体深入种植应力没有发生明显变化。垂直加载下,各个模型中平台转换基台的应力分布基本相似,与种植深度无明显的相关性,而常规基台的应力分布随着种植深度的下移呈逐渐上移的趋势;各个种植深度中两组种植体、松质骨的应力分布情况基本相似,与种植深度无明显的相关性;在平台转换组中,皮质骨的应力分布随种植深度的下移而下移,而常规组中应力始终集中于牙槽嵴顶与基台相接处没有变化,且其应力分布比平台转换组集中。水平加载下各模型的应力分布规律与垂直组相似,不同的是基台、种植体的最大应力值主要集中在他们相应部位的唇侧。皮质骨中,唇侧的应力明显较垂直加载组集中。**结论** 平台转换种植体植于牙槽嵴顶下水平可以改善牙槽嵴顶应力分布情况,比常规种植体有明显的优势,水平方向的分力将增加牙槽嵴顶骨组织受力,应尽量避免。

关键词: 平台转换; 种植体; 生物力学; 有限元方法; 应力分布

中图分类号: R3 **文献标志码:** A

The biomechanical analysis on platform switching implants with different planting depth in front maxilla

ZHENG Qun-ying¹, YANG Qiu-yan², Du Zhi-Bin¹, CHEN Jiang¹ (1. *Affiliated Stomatological Hospital, Fujian Medical University, Fuzhou 350002, China*; 2. *Department of Stomatology, the First Affiliated Hospital of Xiamen University, Xiamen 361003, China*)

Abstract: Objective In this experiment, the model of Platform Switching Implant was simulated by adopting three-dimensional (3D) finite element method and the stress distribution of implants planted in different depth was analyzed when the platform switching implant system was applied with different loading in front maxilla. **Method** By using the Solidworks 2007 and Ansys Workbench11.0 software to simulate the 3D finite element models, the stress distribution of implants in the form of platform switching as experimental group and traditional abutment as control group which were respectively planted into the level of alveolar ridge (bone level), 1 mm below bone level (minus 1) and 2 mm below bone level (minus 2) were analyzed. **Results** For platform switching implants, the stress of cortical bone was effectively reduced and smaller as the implant was planted deeper, while the traditional abutment did not change significantly with deeper planting level. Under vertical loading, the stress distribution in each model's abutment of platform switching was basically similar, having no significant correlation with the

收稿日期:2010-08-02; 修回日期:2010-09-26

基金项目:福建省卫生教育联合攻关计划项目(WKJ2008-2-064)。

作者简介:郑群英(1987-),女,研究方向:口腔医学。

通讯作者:陈江,教授,博士研究生导师,E-mail: dentistjiang@sina.com。

planting depth, while the stress distribution in the traditional abutment had a significant change: gradually trending up with deeper planting level; the stress distribution of two groups of implants in each planting level and cancellous bone was basically similar, having no significant correlation with the planting depth; the stress distribution of cortical bone was shifted down with deeper planting level for platform switching group, while in the traditional abutment group, the stress distribution of cortical bone always focused on the joint between alveolar ridge top and abutment, which was more concentrated than that in platform switching group. The stress distribution under horizontal loading was similar to that under vertical loading, and the only difference was in that the maximum stress distribution of abutment and implant was mainly concentrated in their corresponding labial parts. In cortical bone, the buccal stress was obviously more concentrated than that in the vertical loading group. **Conclusions** Platform switching implant planted below the alveolar ridge top can improve the stress distribution, which has obvious advantages over the traditional abutment form. But the component force in horizontal direction would increase the stress on the labial part of alveolar ridge, and should be avoided.

Key words : Platform switching; Implants; Biomechanics; Finite element method; Stress distribution

临床研究发现,“平台转换^[1-2]”通过使用相对每个种植体尺寸略小的部件,便可使种植体周围组织具有较大稳定性,可有效防止种植体颈部骨吸收,种植体颈部周围上皮袖口稳定,颈部牙槽骨的高度几乎没有变化,美观效果较常规平齐对接形式的种植体更为理想^[3]。组织学和形态学的研究发现平台转换种植体的颈部没有牙槽骨的吸收,没有牙周袋,种植体肩台上可见新骨的附着^[4-5],其原因尚无定论。上颌前牙区种植修复常面临美学挑战,如果平台转换有利于保护种植体周围骨组织,甚至有利于骨质再生,那么将平台转换种植体植入于前牙区将会比常规种植体收到更好的美学效果。本实验试图从生物力学角度分析平台转换种植体于前牙区的不同植入深度时的力学效应,为临床应用奠定基础。本实验联合利用 Solidwork2007 设计软件和 Ansys Workbench 有限元分析软件分析平台转换种植体分别植入不同骨深度的应力分布情况,分析牙槽骨的力学效应,以常规种植体为对照组。

1 实验设备

计算机: CPU: 2.0GHz; 内存: 2 GB; 硬盘: 250 GB SATA; 软件: Solidwork2007 设计软件, ANSYS Workbench 有限元分析软件。

2 实验方法

2.1 三维有限元模型的建立

2.1.1 模型设计

种植体简化设计为带螺纹的圆柱体,直径 4.1 mm,高 12.5 mm,底部设计为 1.25 mm 圆

角^[6-8]。

平台转换形式基台以 ANKYLOS Standard Abutment System 直基台为依据,参考相关数据,设计基桩直径 2.0 mm,穿龈部高度 3.0 mm,基台高度 4.0 mm,基台直径 3.3 mm; 常规基台(Normal Model, N)的基桩与 PS 基台的基桩一致,而基台直径与种植体直径匹配,均为 4.1 mm。基台和中央螺丝简化为一段式,基台与种植体间采用内连接。

牙冠三维实体模型建立: 本实验通过螺旋 CT 扫描获得上颌中切牙的二维图像,以 Getdata2.0 软件识别模型轮廓关键点二维坐标,经 APDL 编程后在 ANSYS 中形成上颌中切牙的三维有限元模型,在 ANSYS 中通过布尔逻辑运算,配合使用 Solidwork 反向拉伸切除功能获得中切牙牙冠实体模型^[9]。

骨质选择理想的 II 类骨质,厚层皮质骨下骨小梁密集排列的松质骨,皮质骨层厚度为 3.0 mm,将其简化为梯形骨块尺寸: 高 18.0 mm、唇舌径 7.0 mm,近远中距 10.0 mm,周围设置为皮质骨层、中心设置为松质骨层^[10]。

设计种植体^[6]、钛基台^[6]、瓷牙冠^[10]、骨皮质^[10]和骨松质^[10]的弹性模量分别为: 114.0, 113.8, 70.0, 13.7, 1.37 GPa; 泊松比分别为: 0.37, 0.34, 0.19, 0.3, 0.3。

2.1.2 模型的建立和处理

按照上述设计,利用 Solidwork2007 设计软件建立各个模型,将生成的种植体、基台、牙冠的实体模型与骨组织实体模型,在 SolidWorks 软件内装配形成种植体-骨组织的三维实体模型包括平台转换种植体和常规种植体分别植入于牙槽嵴水平(bone

level)、牙槽嵴下 1 mm (minus1)、牙槽嵴下 2 mm (minus2)共 6 组模型。但所生成的装配体相互重叠,产生干涉,利用 ANSYS 软件的 CAD 数据接口,将 SolidWorks 软件生成的实体模型文件直接导入 ANSYS Workbench,在模型分析之前,利用 ANSYS Workbench 布尔逻辑运算,切除装配体中各个部件重叠的部分,形成各部分之间的没有任何干涉且没有缝隙的啮合。随即在 ANSYS Workbench 平台中直接将模型导入有限元分析模块中进行网格划分和力学分析。

2.2 实验假设^[11-12]

(1) 连续性。各构件之间为完全精确适合,不考虑各部件之间的吻合差异。

(2) 均质性。从构件的内部任何部位所截取的微小单元都具有与构件完全相同的力学性质。

(3) 各向同性。认为材料在各个方向上的力学性质完全相同。

(4) 线弹性。材料受载时应力与应变为线性关系,载荷卸除后,构件变形完全恢复。

(5) 小形变。认为构件材料在外力作用下形变小于尺寸。

(6) 假设构件在外力作用下其变形量远远小于

构件的尺寸,在研究构件的平衡时,仍按变形前构件的几何尺寸进行计算。

(7) 种植体与骨组织之间为 100% 骨结合,在载荷作用下两者无相对滑动,不考虑摩擦力作用。

2.3 定义单元属性和网格划分

本实验采用 Tetra4 即 4 节点四面体单元类型结合 ANSYS 自适应网格划分功能对模型进行智能尺寸网格划分,使种植体、骨块几何尺寸不受单元划分的影响。

2.4 边界约束条件和加载方式

固定约束骨皮质和骨松质的外表面。两种加载方式(切端中央):① 垂直方向,沿种植体长轴方向;② 水平方向,由舌侧指向唇侧,均为 118 N^[14-15]。

3 实验结果

垂直加载下各个模型牙槽嵴顶唇腭侧中部的应力值如表 1 所示。由表可见,平台转换组(PS)中牙槽嵴顶的应力值随种植体植入深度加深而降低,且牙槽嵴下水平的牙槽嵴顶应力值比常规组(N)小,而 N 组没有明显变化。唇颊侧变化相似,腭侧应力值较颊侧大。

表 1 垂直加载下各个模型唇腭侧牙槽嵴顶中部的应力值

Tab.1 The stress in middle of the labial and the palatal alveolar ridge crest under vertical loading

	平台转换组(PS)			常规组(N)		
	Bone Level	Minus 1	Minus 2	Bone Level	Minus 1	Minus 2
颊侧牙槽嵴顶/MPa	1.2882	0.57841	0.4828	1.0863	1.3095	1.1149
腭侧牙槽嵴顶/MPa	5.7074	2.7291	0.96661	4.0325	3.4648	4.1716

垂直加载下各模型种植体周围各部位的等效应力分布如图 1、2 所示。

(1) 各个模型中 PS 基台的应力分布基本相似,应力集中区均位于基台中部腭侧,与种植深度无明显的相关性。而 N 基台的应力分布随着种植深度的下降呈逐渐上移的趋势,但均集中于基台与牙槽嵴顶交界的腭侧。

(2) 各个种植深度中两组种植体的应力分布情况基本相似,与种植深度无明显的相关性。PS 组中,种植体的应力主要集中于基台与种植体连接处腭侧,靠近种植体中央,而 N 组的种植体应力集中区位于种植体-基台连接处腭侧的外边缘,并且应力

分布比 PS 组分散。

(3) 在 PS 组中,皮质骨的应力集中区随种植深度的下移而下移,而 N 组中皮质骨的应力始终集中于牙槽嵴顶与基台相接处,最大值位于其腭侧,不随种植体植入水平改变而改变,且其应力分布比 PS 组集中。

(4) 在两组模型中,松质骨的应力分布没有明显的变化,应力均集中于松质骨顶端与种植体相接处,最大应力值位于松质骨与种植体相接处的舌侧。

水平加载下各个模型唇腭侧牙槽嵴顶处的应力值如表 2 所示。取各个模型的唇侧牙槽嵴顶中部的应力值比较可见,PS 组唇侧牙槽嵴顶的应力值降低

表2 水平加载下各个模型唇腭侧牙槽嵴顶处的应力值

Tab.2 The stress in the middle part of the labial and the palatal alveolar ridge crest under the horizontal loading

	平台转换组(PS)			常规组(N)		
	Bone Level	Minus 1	Minus 2	Bone Level	Minus 1	Minus 2
唇侧牙槽嵴顶/MPa	39.635	18.861	5.6241	36.996	23.647	18.173
腭侧牙槽嵴顶/MPa	46.328	20.464	5.5263	27.074	16.339	25.634

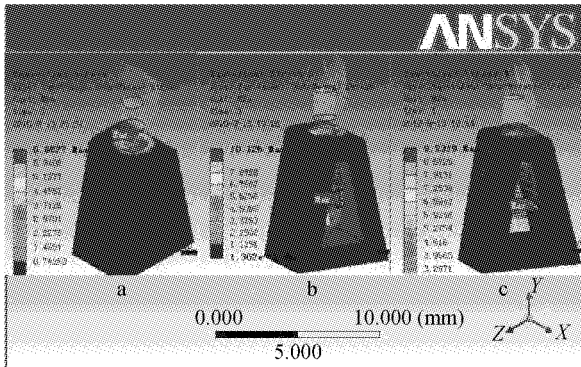


图1 垂直加载下平台转换种植体不同种植深度皮质骨的等效应力分布云图(a bone level, b minus1, c minus2)

Fig.1 The EQV stress distribution in the cortical bone of the platform switching group under the vertical loading (a bone level, b minus1, c minus2)

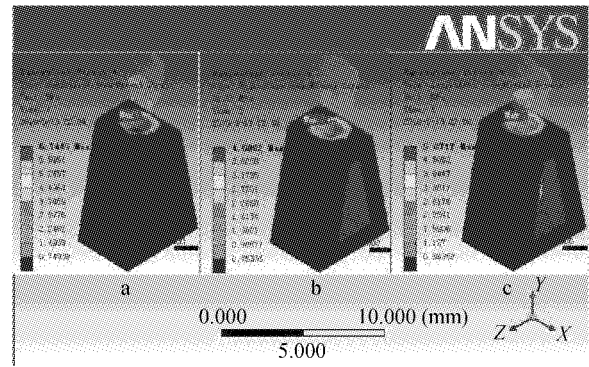


图2 垂直加载下常规种植体不同种植深度皮质骨的等效应力分布云图(a bone level, b minus1, c minus2)

Fig.2 The EQV stress distribution in the cortical bone of the normal model group under the vertical loading (a bone level, b minus1, c minus2)

的较N组明显,相应的应力值也较平齐对接组小。唇腭侧应力值比较则变化不规则。

水平加载下各模型的应力分布规律与垂直组相似,不同的是基台、种植体的最大应力值主要集中在他们相应部位的唇侧。皮质骨中,唇侧的应力明显较垂直加载组集中。

4 讨论

从牙槽嵴顶的应力值变化来看,PS组因缩窄的基台使牙槽嵴顶的骨质与基台不直接接触,其种植体植于骨下水平时PS组对于减轻牙槽嵴顶骨质的应力有直接的优势,使即刻负载后牙槽嵴顶处骨质得以修整,对于促进骨质恢复及新生有重要的意义;而N组由于基台直径原因,即使将种植体埋植于骨下,基台始终与牙槽嵴顶保持接触,牙槽嵴顶始终受力,并且应力大小变化不明显。结合临床应用,对于平台转换基台,种植体没有必要种的太深,否则既增加了手术创伤,又增加了牙槽嵴顶高出种植体肩台的骨组织,有可能使牙槽嵴边缘骨组织因没有受到适当的力刺激而吸收。在水平加载中,所有模型牙

槽嵴顶的应力值明显较相应的垂直加载组大,提示应尽量减少水平向加载分力的大小,避免出现过大的应力集中,导致骨吸收。

从种植体周围应力分布情况分析,垂直加载情况下,各个模型中平台转换基台的应力分布基本相似,应力集中区均位于基台中部腭侧,与种植深度无明显的相关性。而常规基台的应力分布随着种植深度的下降呈逐渐上移的趋势,但均集中于基台与牙槽嵴顶交界处腭侧。各个种植深度中两组种植体的应力分布情况基本相似,与种植深度无明显的相关性。PS组中,种植体的应力主要集中于基台与种植体连接处腭侧,靠近种植体中央,而N组的种植体应力集中区位于种植体-基台连接处腭侧的外边缘,并且应力分布比平台转换组分散;这与Maeda等^[7]实验结果是一致的,说明了IAJ的位置转移,改变了应力的分布,也使IAJ处的微动远离了牙槽嵴顶,降低了种植体周围软组织受细菌感染以及种植体颈部骨组织受力的几率。在PS组和N组中皮质骨的应力分布差异,直观地显示了平台转换缩窄基台在埋入式种植时减轻牙槽嵴顶负荷的优势,平台转换结

构使应力从牙槽嵴顶处转移分散了,随种植深度的改变明显地显示出它的优势,相比之下,N组无论种植体植入多深都不会为牙槽嵴顶减轻负荷,因此牙槽嵴顶处的皮质骨比PS组更容易吸收,而皮质骨吸收的程度在美学上是至关重要的。水平加载下各模型的应力分布规律与垂直组相似,不同的是基台、种植体的最大应力值主要集中在它们相应部位的唇侧。皮质骨中,唇侧的应力明显较垂直加载组集中。上颌前牙区唇侧骨质本身就比较疏松,又是美学关键区,N组牙槽嵴顶处的应力集中可导致其吸收更严重,植于骨下水平的PS组的应力分布优势可降低水平加载这种不利因素的影响,但无论是哪种情况水平加载力对于牙槽嵴顶骨组织都是不利因素,应尽量避免水平分力。

综上所述,平台转换种植体植于牙槽骨下水平可以改善牙槽嵴顶应力分布情况,比常规平齐对接形式有明显的优势,水平方向的分力将增加牙槽嵴顶骨组织受力,应尽量避免。本实验从静态力学角度分析骨组织对于不同种植深度的受力情况,而病理变化尚需进行病理实验进一步论证。本实验联合利用Solidworks2007和Ansys Workbench建立三维模型,建模方法便捷灵活,模型精致,分析过程高效准确。但因口腔组织形态和口颌力学情况复杂,不能完全模拟,尚需结合临床实际情况。

参考文献:

- [1] Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2006, 26(1): 9-17.
- [2] 林野. 当代口腔种植学的进展及其临床意义[J]. *口腔颌面外科杂志*, 2006, 16(4): 285-290.
- [3] Canullo L, Rasperini G. Preservation of peri-implant soft and hard tissues using platform switching of implants placed in immediate extraction sockets: a proof-of-concept study with 12-to 36-month follow-up[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2007, 22(6): 995-1000.
- [4] Degidi M, Iezzi G, Scarano A, *et al.* Immediately loaded titanium implant with a tissue-stabilizing/maintaining design ('beyond platform switch') retrieved from man after 4 weeks: a histological and histomorphometrical evaluation. A case report[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2008, 19(3): 276-282.
- [5] Weng D, Nagata MJ, Bell M, *et al.* Influence of microgap location and configuration on the periimplant bone morphology in submerged implants. An experimental study in dogs[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2008, 19(11): 1141-1147.
- [6] 刘学军, 李智勇, 夏海斌. 种植体-基台连接形式对种植体周围骨组织应力分布的影响[J]. *中华口腔医学杂志*, 2008, 43(1): 50-53.
- [7] Maeda Y, Miura J, Taki I, *et al.* Biomechanical analysis on platform switching: is there any biomechanical rationale?[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2007, 18(5): 581-584.
- [8] 丁熙, 朱彤好, 廖胜辉, 等. 不同直径种植体对即刻负载种植体骨界面应力分布的影响[J]. *医用生物力学*, 2007, 22(2): 146-150.
- [9] 苏杰华, 张端强. 上颌前牙整体内收的三维有限元分析[D]. 福建医科大学硕士研究生毕业论文, 2007.
- [10] 李湘霞, 韩科, 卜奎晨, 等. 颌骨骨质对种植体-骨界面应力分布影响的三维有限元研究[J]. *中山大学学报(医学科学版)*, 2004, 25(35): 62-64.
- [11] 陈淑萍, 周延民. Perfect种植体与 Replace种植体颈周骨组织应力的比较分析[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2008.
- [12] 张兴乐, 周延民. 骨质-骨量对精密附着体天然牙-种植体联合修复影响的生物力学研究[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2007.
- [13] 孙训方, 方孝淑, 关泰来. 材料力学[M]. 第3版, 河北: 高等教育出版社, 1994: 210-236.
- [14] 皮昕. 口腔解剖生理学[M]. 第5版. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 257-258.
- [15] 王蓉, 王晓洁, 罗教明, 等. 下颌骨典型牙位圆柱状牙种植体周围骨应力分布的三维有限元分析[J]. *中国口腔种植学杂志*, 2004, 9(3): 101-105.