

· 临床研究 ·

种植体-基桩界面结构的三维有限元应力分析

黄 茜¹, 王 聪², 王少安³, 李苏伶^{1△}

(1. 重庆医科大学附属口腔医院修复科 400015; 2. 成都市第三人民医院口腔科 610031;

3. 四川大学华西口腔医院, 成都 610041)

摘要:目的 研究连接方式对种植体-基桩界面受力的影响。方法 利用三维有限元方法, 分析比较 Spline、外六边、内六边及莫氏锥度连接方式的种植体、基桩及中央螺钉在预负荷、垂直载荷 200、500 N 及斜向载荷 100 N 作用下的应力分布情况。结果 中央螺钉的最大应力值位于螺钉头部与螺杆交接处; Spline 种植体的最大应力值位于突起根部, 该连接方式的中央螺钉的应力值高于种植体和基桩; 侧向载荷使种植体-基桩连接各部件的应力明显增大。结论 Spline 连接方式的中央螺钉可以起到弱连接的作用; 临床上应尽可能减小种植义齿受到的侧向力, 以保证种植体-基桩界面的长期稳定性。

关键词:种植体; 应力分析; 接触分析; 三维有限元

中图分类号: R783.6

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2010)08-0947-02

Three dimensional finite element analysis of stress distribution of implant-abutment interfaces

HUANG Qian¹, WANG Cong², WANG Shao-an³, et al.

(1. Department of Prosthodontics, Stomatology Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400015, China;

2. Department of Stomatology, Chengdu Third People's Hospital, Chengdu, Sichuan 610031, China;

3. West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Objective To investigate the effect of interface on stress distribution of implant-abutment joint. **Methods** Three-dimensional finite element analysis was used to determine stress distribution of the implant, abutment and screw of different interfaces under preload, 200 N and 500 N vertical load, and 100 N oblique load. **Results** Maximum Von Mises stress of screw concentrated at the joint of the screw head and the screw shank. Maximum Von Mises stress of the Spline implant located at the root of the projections. Lateral load caused dramatically increase of the stress of the implant-abutment joint. **Conclusion** Central screw of the Spline system plays a role of weak link. It is recommended to diminish the lateral stress of the implant restoration in order to ensure the stability of the implant-abutment joint.

Key words: finite element analysis; stress; implant-abutment interface; contact analysis

种植体-基桩的连接方式决定着其就位、连接强度、抗旋转性等, 该界面的稳定性是影响种植义齿成功的一个重要因素^[1]。Spline 连接方式是通过植入体向冠方延伸的 6 个突起插入基桩相应的凹入部位而结合, 该连接方式在引入口腔领域以前, 主要应用于航天工业中, 实践证明该连接方式具有良好的抗旋转作用^[2]。但是目前尚没有 Spline 与其他连接方式的深入对比研究, 另外, Spline 连接方式在外载荷作用下的受力情况也尚未见报道。本实验通过三维有限元方法, 分析比较 Spline 和其他 3 种常见的连接方式(即外六边、内六边及莫氏锥度)在不同载荷下的应力分布情况。目前国内有限元方法主要为线性分析, 本实验通过有限元方法中的接触分析(非线性)对种植体-基桩界面的应力分布进行研究, 为国内在有限元分析中开展非线性分析进行探索。

1 材料与方

1.1 建模 根据相关数据^[3], 在三维建模软件 Pro/Engineer Wildfire 2.0 中建立 Spline 种植体(长 10 cm, 直径 3.75 mm)、相应粘固型基桩、中央螺钉及一个均匀厚度 0.5 mm 的帽状冠模型(相当于烤瓷牙底层冠)。在 Spline 模型界面的基础上修改, 获得外六边、内六边和莫氏锥度连接方式的种植体-基桩模型(插图 1)。将不同连接方式的模型从 Pro/Engineer Wildfire 2.0 完整导入有限元软件 Ansys Workbench 9.0^[4]。

1.2 材料参数、假设、边界条件 4 种连接方式的种植体、基

桩及中央螺钉均设为钛合金材料, 即 Ti-6Al-4V(杨氏模量 110 GPa, 泊松比 0.35)^[5], 帽状冠设为金合金材料(杨氏模量 100 GPa, 泊松比 0.3)。假设模型材料为连续、均匀、各向同性、线弹性材料。根据参考文献[6]的方法, 对种植体外螺纹所有节点施加刚性约束。

1.3 接触区域的设置 本实验研究种植体-基桩界面的问题, 涉及有限元分析中的接触分析^[7], 因此, 在种植体-基桩、种植体内螺纹-螺钉螺纹以及螺钉头部-基桩接触区引入接触对, 设定其摩擦系数为 0.3; 对于基桩-帽状冠接触区, 不考虑界面问题, 设定其为紧密接触无相对滑动。

1.4 网格划分 网格划分均采用四面体单元, 见表 1。

表 1 网格划分结果

模型	单元数	节点数
Spline	56 557	91 816
外六边	60 272	95 942
内六边	52 380	87 164
莫氏锥度	62 543	101 007

1.5 加载条件 根据拧紧力矩和预紧力的关系, 求得预紧力为 405 N, 该力施于螺杆上, 为轴向使螺杆缩紧的力。在预紧力基础上, 于帽状冠顶面施加三种载荷^[8]: 垂直 200、500 N 及

△ 通讯作者。

表 2 不同载荷下种植体-基桩连接各部件的最大 Von Mises 应力值 (MPa)

载荷(N)	Spline			外六边			内六边			莫氏锥度		
	I	A	S	I	A	S	I	A	S	I	A	S
预紧力 405	88	112	341	171	141	340	68	142	343	247	213	431
垂直 200	115	159	396	164	153	351	145	137	356	172	160	290
垂直 500	154	360	362	130	389	325	195	342	310	172	400	160
斜向 100	320	210	519	324	262	485	407	284	405	426	487	389

I:种植体;A:基桩;S:中央螺钉。

斜向 100 N(45°)。

2 结 果

4 种连接方式的种植体、基桩及中央螺钉在不同载荷下的最大 Von Mises 应力值见表 2。

4 种连接方式的中央螺钉在不同载荷下的最大应力值均位于螺钉头部与螺杆交接处。斜向载荷下螺钉应力分布较轴向时不均匀,螺杆中部也是应力明显增加的一个区域(插图 II 图 2)。

预负荷及垂直载荷作用下,Spline 连接方式的种植体最大应力值位于突起根部,而其他 3 种连接方式的最大应力值位于种植体第一内螺纹处(插图 II 图 3)。

斜向载荷作用下,Spline 种植体的最大应力值仍然位于突起根部,其他 3 种连接方式的最大应力值位于界面边缘(插图 II 图 4)。

3 讨 论

3.1 中央螺钉的应力情况 有研究表明,螺钉的疲劳失败通常发生在两个部位^[9],一处是螺钉头部与螺杆交接处,主要是因为两部分之间曲率半径和直径变化所产生的应力集中,本实验中中央螺钉最大应力值发生的部位正与此相符;另一处是第一螺纹根部,主要是螺纹几何外形所导致的应力集中,本实验中对于螺纹部分,第一螺纹应力较其他螺纹更大。

有文献报道直接利用外载荷下中央螺钉 Von Mises 应力的变化来说明螺钉松动的问题,认为外载荷下 Von Mises 应力的减小可能增加螺钉松动的概率。但是螺钉的松动的根本原因是预负荷的丧失,预负荷是螺钉所受的张力^[10],而 Von Mises 应力是研究材料破坏时考虑的一个应力值,二者是不同的概念,因此,不能简单地通过 Von Mises 应力的变化来断定螺钉松动与否。

3.2 种植体和基桩的应力情况 Spline 种植体在不同载荷下的最大应力值都位于突起根部,这一结果与 Binon 等的研究结果是相符的。有学者指出 Spline 突起可能发生折断,但本实验中 Spline 种植体的应力值远远小于材料的屈服强度。关于 Spline 突起是否会折断以及在何种情况下会出现这种情况,尚需要进一步实验。

对于外六边、内六边和莫氏锥度连接方式的种植体,在预负荷及垂直载荷下,其最大应力值都位于第一内螺纹处,该处是这几种连接方式的种植体应力集中的部位,这可能与中央螺钉第一螺纹根部常是应力集中的部位是相对应的,主要是由于螺纹几何外形所导致的结果。

本实验中斜向载荷的作用使种植体-基桩连接各部件的应力值显著增大。应力的增大可能使材料发生屈服,因此,在进行种植义齿修复时,应尽量减小种植义齿所受到的侧向力,如降低牙尖斜度、减小义齿的倾斜度等,以保证种植体-基桩连接

的长期稳定性。

比较 Spline 连接方式各部件的应力可以发现,不同载荷下中央螺钉的应力值高于种植体和基桩,因此可以起到弱连接的作用,即中央螺钉在其他部件破坏之前发生屈服或折断,从而达到保护其他部件的目的。

本实验对 4 种连接方式的模型施加了相同的实验条件(如尺寸、材料、载荷等),区别只在于连接界面的不同,其目的是为了较好地说明界面设计对种植体-基桩连接受力的影响。但是临床应用中不同种植体系统可能使用不同的拧紧力矩和材料等,因此,在进一步的研究中尚需要考虑这些因素的影响。

参考文献:

- [1] Martin WC, Woody RD, Miller BH, et al. Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw materials and surfaces[J]. J Prosthet Dent, 2001, 86(1): 24.
- [2] 雷涛,张纲综.有限元法在颌骨生物力学研究中的应用研究进展[J].重庆医学,2009,38(3):350.
- [3] Binon PP. The Spline implant: design, engineering, and evaluation[J]. Int J Prosthodont, 1996, 9: 416.
- [4] 慧光艳.真实种植体三维有限元模型的建立[J].实用医药杂志,2006,23(12):1483.
- [5] Pessoa RS, Muraru L, Júnior EM, et al. Influence of implant connection type on the biomechanical environment of immediately placed implants-CT-based nonlinear, three-dimensional finite element analysis[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2009, 7(3): 382.
- [6] Alkan I, Atilla S, Bulent E. Influence of occlusal forces on stress distribution in preloaded dental implant screws[J]. J Prosthet Dent, 2004, 91(4): 319.
- [7] Lisa A. Finite element analysis to determine implant preload[J]. J Prosthet Dent, 2003, 90: 539.
- [8] 皮昕主.口腔解剖生理学[M].6版.北京:人民卫生出版社,2008:153.
- [9] Patterson EA, Johns RS. Theoretical analysis of the fatigue life of fixture screws in osseointegrated dental implant[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 1992, 7(1): 26.
- [10] Sakaguchi RL, Borgersen SE. Nonlinear contact analysis of preload in dental implant screws[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 1995, 10: 295.

(收稿日期:2009-08-29 修回日期:2009-09-28)