

· 临床研究 ·

## 翼上颌种植设计在上颌无牙颌固定修复中的应力分析

潘文辉<sup>1</sup>, 刘 堃<sup>1</sup>, 吴 瑾<sup>1</sup>, 周储伟<sup>2</sup>, 韩 哲<sup>2</sup>, 汤春波<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学口腔疾病研究江苏省重点实验室, 南京医科大学附属口腔医院种植科, 江苏 南京 210029; <sup>2</sup>南京航空航天大学航空宇航学院, 江苏 南京 210016

**[摘要]** 目的:应用三维有限元法研究翼上颌种植设计在上颌无牙颌固定修复中种植体及骨组织应力分布的变化。方法:在无牙颌的上颌骨内,自右向左设计1~6号共6颗种植体,固定种植体的植入位置,改变种植体的数目和倾斜种植体的植入角度,分别建立6组模型。以300 N静态力垂直加载于双侧后牙的功能尖上,应用Abaqus6.13有限元分析软件计算种植体和骨组织表面的Mises应力,采用SPSS21.0软件包对数据进行统计学分析。结果:在保持中间4颗种植体植入角度不变的条件下,增加两颗翼上颌种植体,2、3、4、5号种植体的应力明显减少,对称分布均匀。但在保持种植体数目不变的条件下,通过改变远中种植体的植入角度,种植体和骨组织表面的应力大小分别改变了3.25%、5.08%,种植体及骨组织表面的最大应力值比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。结论:翼上颌种植设计能够更好地分散并将殆力传导,使得种植体和骨组织表面的应力分布更加合理,是一种上颌无牙颌患者种植修复合理有效的方法。

**[关键词]** 无牙颌;翼上颌种植;三维有限元;应力分布

**[中图分类号]** R782.12

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2020)01-119-05

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20200125

随着种植技术的不断发展,越来越多的无牙颌患者开始选择种植义齿修复。自Maló等提出All-on-Four<sup>®</sup>技术以来,虽然解决了很多在无牙颌患者种植修复中遇到的难题,但对于上颌后牙区种植修复而言,仍存在着解剖生理学上的限制<sup>[1-3]</sup>,例如牙槽骨骨质疏松、缺牙后伴发的牙槽骨吸收、上颌窦气腔体积增大等。为了克服这些限制,美国学者等Graves等<sup>[4-5]</sup>报道了翼上颌种植技术,将翼状板的皮质骨与种植体连接,避免上颌窦底提升,减少手术次数、降低手术风险和手术费用,该设计提供上颌骨后端骨锚定,可改善初期稳定性,从而促进长期成功,优于上颌骨的任何其他部位<sup>[6-7]</sup>,为骨质条件较差的上颌后牙区的种植修复提供了一种可行的方案。但翼上颌种植因为解剖结构复杂,技术敏感性高,相关的循证医学文献还不够充分,需要深入地研究植入角度、位置、力学分析、设计方案等,为其临床应用提供基础数据。

种植体周围应力集中而造成的骨吸收一直是导致种植失败的主要原因之一,也是种植领域的研究热点<sup>[8]</sup>。目前对种植体的生物力学分析大多采用有限元分析法,国内外利用三维有限元针对All-on-Four<sup>®</sup>等种植修复方法的应力分析较多,但对翼上颌种植设计的应力分析还不够充分,国内尚无相关报道,本文旨在利用三维有限元分析法研究上颌无牙颌患者采用种植固定义齿修复时,远中设计翼上颌种植体,并改变远中种植体植入角度,分析各种植体周围和骨组织表面的应力分布,为临床应用提供理论支持。

### 1 对象和方法

#### 1.1 对象

选择在南京医科大学附属口腔医院种植科就诊的患者1例(女,56岁),上颌牙列缺失,已进行种植固定义齿修复,下颌为天然牙列。本研究经医院伦理委员会批准,患者自愿参加研究并签署知情同意书。

#### 1.2 方法

##### 1.2.1 无牙颌患者上颌三维有限元模型的建立

口腔锥形束CT(CBCT)机(New Tom VG,意大利

**[基金项目]** 国家自然科学基金(81470778);南京市科技发展规划项目(201605011);东南大学-南京医科大学合作研究项目(2242018K3DN03)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: cbtang@njmu.edu.cn

利)对患者的头部进行CBCT扫描,扫描范围从眶上缘上1 cm至下颌骨下缘,连续横断扫描,将不同角度拍到的图像数据以DICOM文件格式存储。使用Mimics 三维成像软件(Materialise 公司,比利时)获得松质骨和皮质骨的点云数据文件,将该点云数据文件导入 Geomagic Studio 软件(Raindrop Geomagic 公司,美国),处理后获得2个部分的NURBS曲面模型,最后使用CATIA 三维建模软件(Dassault System 公司,法国)的快速成型和零件设计功能生成上颌骨完整的实体模型。

### 1.2.2 种植体及相应基台的三维有限元模型的建立

采用逆向工程的建模方法,使用3D CaMega 光学三维扫描系统(北京博维恒信),完整扫描种植体和基台实体结构,将所获得的数字图像通过解码及拼合处理后,形成完整的物体点云模型,测量完成后将点云数据进行预处理和去噪,提取其有效特征。再通过平面测量相关设备取得有效的种植体螺纹、倒角和一些小特征的几何数据,由于种植体和复合基台结构复杂,本研究还采用了美国 OGP 三维影像测量仪,它具有超强的视频测量系统,能作为几何尺寸的补充测量,然后对表面特征进行重建,得到其特征的描述参数,利用该特征参数,使用正向建模工具进行建模,构建出种植体和相应基台的实体模型。

### 1.2.3 种植固定修复体的三维有限元模型的建立

通过3Shape Scanner D700 激光扫描仪扫描患者的上颌种植固定义齿,为了保证修复体与基台的良好结合,本研究采用手动蜡型扫描的方法,扫描获得该患者种植固定义齿的STL数据,将该数据导入计算机的Geomagic Studio 软件中,分析处理后得到IGS格式的数据文件,利用CATIA 三维建模软件构建固定义齿完整的实体模型。

### 1.2.4 实验位点设计

本实验种植体选择 Noble 种植系统(Noble 公司,瑞典),根据该患者实际骨量和骨质条件,选择3种合适大小种植体,分别为4.3 mm×10.0 mm(3、4号)、4.3 mm×11.5 mm(2、5号)、4.3 mm×18.0 mm(1、6号),基台选用复合直基台和复合角度基台。

建立完整的无牙颌上颌骨模型,设计A~F 6组实验模型,自右上颌至左上颌对种植体进行编号,分别为1、2、3、4、5、6号,种植体分散固定在双侧上颌第二磨牙、第一前磨牙和侧切牙的位置上,每组种植体的尺寸固定不变,每组的种植位点固定不变,采用国际FDI牙位标记法,分别为17、14、12、22、

24、27,每个牙位牙槽骨颊(唇)舌向测量中点的连线为轴向0°,每个种植体的长度、角度、间隔距离等均符合种植设计要求(表1),按照设计将装配好的有限元模型导入ABAQUS 6.13有限元分析软件,得到6组有限元分析模型。

表1 模型中种植体的远中向倾斜角度 (°)

组别	种植体编号					
	1	2	3	4	5	6
A组	—	30	0	0	30	—
B组	—	45	0	0	45	—
C组	30	30	0	0	30	30
D组	45	30	0	0	30	45
E组	30	45	0	0	45	30
F组	45	45	0	0	45	45

### 1.2.5 材料的力学参数及加载方式

实验材料的力学参数见表2,种植体材料设为纯钛,基台为钛合金,修复体为氧化锆,实验中除皮质骨外,所有材料均假设为均质的、各向同性的弹性材料,皮质骨假设为横向各向同性。加载方式:本研究假设咀嚼肌力一定,采用双侧垂直加载方式<sup>[9-10]</sup>,双侧后牙区各150 N静力垂直加载,其中前磨牙30 N、磨牙45 N,共300 N(图1)。

表2 相关材料的力学参数

材料	弹性模量(GPa)	泊松比(ν)
松质骨	1.37	0.30
皮质骨	13.40	0.33
牙周膜	68.90	0.45
种植体及基台	110.00	0.33
修复体	210.00	0.28

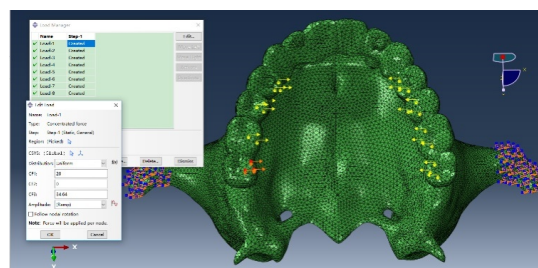


图1 静力加载分布图

### 1.2.6 有限元结果计算分析

将6组模型的相关数据代入网格划分及有限元软件计算流程,最终获得植体及骨表面最大Mises应力数据及Mises应力分布云图。

### 1.3 统计学方法

采用SPSS21.0统计软件进行数据的分析整理,计量资料采用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )描述,经Shapiro-

Wilk 正态性检验和 Leneve 方差同质性检验,数据符合正态分布且方差齐性,故多组间比较用单因素方差分析, $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

在实验条件下得到6组有限元模型的种植体和

修复体及骨组织表面最大 Mises 应力分布云图(图2、3),具体应力数值见表3和表4,从表中数据可以看出,增加2颗翼上颌种植体后,中间4颗种植体的最大应力值减少了约45.27%,而且整体应力分布变得对称且均匀。从C、D、E、F 4组模型比较来看,在保持种植体数目不变的情况下,通过改变远中种植体

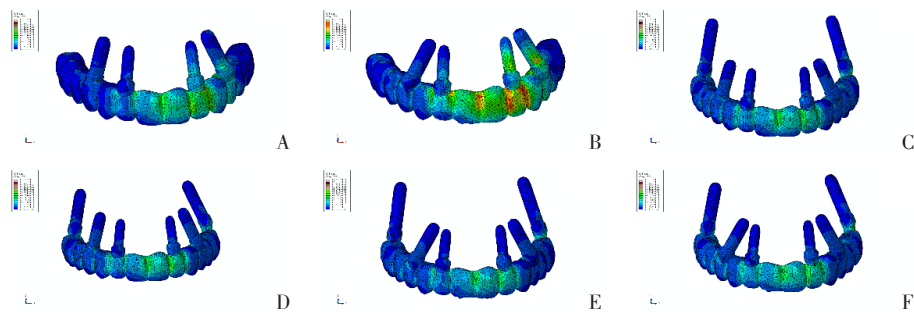


图2 固定义齿和种植体表面最大应力分布云图

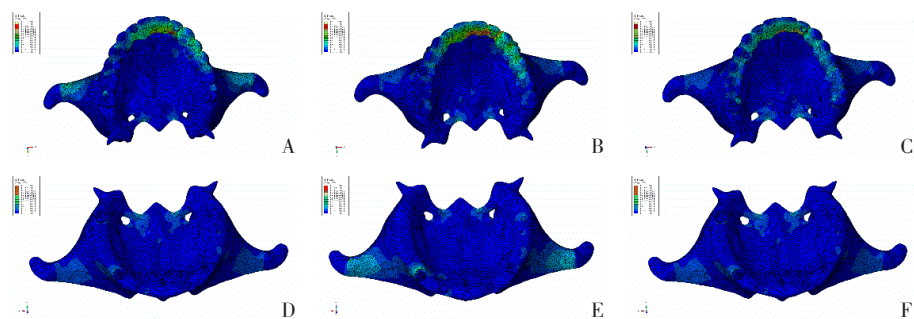


图3 骨组织表面最大应力分布云图

表3 种植体及修复体表面的最大应力值 (MPa)						
组别	种植体编号					
	1	2	3	4	5	6
A组	—	33.996	56.566	124.762	167.150	—
B组	—	38.168	83.563	116.785	200.879	—
C组	71.041	37.441	96.090	104.559	51.059	185.387
D组	102.140	39.874	61.718	103.246	48.490	121.256
E组	64.258	35.839	96.198	64.984	45.425	160.399
F组	51.131	35.725	87.389	69.935	45.723	150.356

表4 骨组织表面的最大应力值 (MPa)						
组别	种植体编号					
	1	2	3	4	5	6
A组	—	20.037	23.828	49.329	85.007	—
B组	—	22.369	39.460	20.581	48.773	—
C组	25.165	28.987	20.738	36.157	29.707	21.958
D组	23.110	15.866	22.720	23.287	29.278	29.028
E组	23.823	24.846	24.228	29.636	41.237	24.067
F组	25.745	24.484	24.459	29.395	40.720	23.677

的植入角度,种植体和骨组织表面的应力分别改变了3.25%、5.08%。

采用SPSS21.0软件对数据进行统计学分析,结果见表5。各组间种植体及修复体表面的最大应力值比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。各组间骨表面最大应力值比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

3 讨 论

3.1 三维有限元模型构建

精准的建模是有限元分析的基础,也是三维有

表5 种植体及修复体表面、骨组织表面的最大应力值比 ( $\bar{x} \pm s$ )		
组别	种植体及修复体表面	骨组织表面
C组( $n=6$ )	90.93 $\pm$ 52.88	27.12 $\pm$ 5.71
D组( $n=6$ )	79.45 $\pm$ 33.67	23.88 $\pm$ 4.94
E组( $n=6$ )	77.85 $\pm$ 45.43	27.97 $\pm$ 6.86
F组( $n=6$ )	73.38 $\pm$ 41.98	28.08 $\pm$ 6.52
F值	0.173	0.635
P值	0.913	0.601



限元分析的关键步骤<sup>[11-12]</sup>,种植牙作为一个生物仿生器官,它在行使咀嚼功能时应具有的生物力学特性是目前关注的焦点,对于翼上颌种植的成功至关重要。本实验采用了自动调节适应网格划分的方式,建立了翼上颌种植的有限元模型,建成的模型和原物的外形基本上一致,在生物力学上能够很好地代表原物。为了让计算结果更加准确,本研究采用了布尔运算,充分利用了几何体之间的几何逻辑关系,通过ABAQUS6.13软件对模型精度进行检测,最终建成一个基本符合临床种植体和上颌骨形态的三维有限元模型。

### 3.2 翼上颌种植有限元模型的应力分析

目前口腔种植应力分析多采用静态加载<sup>[13-16]</sup>,本研究假设咀嚼肌力一定,在双侧前磨牙及磨牙的各受力面垂直加载150 N静力,这不同于单纯施加在某一点上固定不变的静态载荷,能更好地反映种植固定义齿在咀嚼过程中的变化规律,实验结果对临床具有指导意义。Mises应力是将压应力、拉应力和剪切力的不同分量通过数学方法综合产生的一个标量,常用于表示某种材料承受的总应力变化<sup>[17]</sup>。本研究采用Mises应力作为评价种植体和骨组织应力变化的指标,6组数据均显示种植固定义齿的最大Mises应力集中在种植体颈缘和皮质骨的交界处,皮质骨的应力水平要高于松质骨,临床上种植体周围骨吸收大多出现在颈部皮质骨处,松质骨受累比较少,本实验结果与该结论基本一致。

骨组织表面应力过大容易导致牙槽骨吸收,继而还会出现一些生物并发症,目前很多研究发现种植体方向并不影响周围骨吸收<sup>[18]</sup>,但采用All-on-Four®设计的种植体周围存在进行性的骨吸收,因此设计存在远中悬臂,有研究者认为过载是主要原因<sup>[19-20]</sup>,对于上颌无牙颌患者的固定修复采用4颗种植体可能存在不足。通过将A、C、D 3组模型进行比较可以看出,在All-on-Four®设计的基础上增加2颗翼上颌植体,种植体及骨表面的最大应力值明显减少,而且应力对称分布均匀,种植体及骨组织表面的最大应力值比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。这表明在增加2颗翼上颌植体后,骨组织表面的应力逐渐向翼板区转移,非常有利于应力的分散,而改变远中倾斜植体的植入角度,对种植体及骨组织表面的应力分布影响较小。有研究表明,种植体放置在翼上颌区是成角度的,虽然存在对种植体的非轴向力,但一旦骨融合,报告显示这些翼上颌种植体能比任何其他种植体更好地抵抗所有轴

向和非轴向力<sup>[21-23]</sup>。

本研究结果表明,远中设计翼上颌种植体,能够显著将合力分散开来,使得应力通过翼板消散,对于种植体及周围的骨组织都具有良好的保护作用,而且目前减少悬臂梁的长度是减少种植体应力的主要方法,该设计消除了悬臂的存在,大大降低了种植固定义齿发生断裂、崩瓷的可能性<sup>[24-25]</sup>,在理论上能够保证修复的长期成功。但本实验中仅利用1例患者的颌骨Dicom数据进行三维有限元应力分析,并且种植体采用去螺纹设计,忽略了种植体与修复体粘接面的微小间隙,也有一定的局限性,后期仍需要更大的样本量来进一步研究。

综上在上颌无牙颌患者种植固定修复中,远中设计翼上颌种植体,消除了悬臂的存在,种植体及骨组织表面应力对称分布均匀。改变远中植体的植入角度,种植体和骨组织表面的应力改变并不显著,翼上颌设计是上颌无牙颌患者种植修复的一种合理有效的方法。

### [参考文献]

- [1] BABBUSH C A, KANAWATI A, KOTSAKIS G A. Marginal bone stability around tapered, platform-shifted implants placed with an immediately loaded four-implant-supported fixed prosthetic concept: a cohort study[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2016, 31(3):643-650
- [2] PIANO S, ROMEO E, SBRICOLI L, et al. Simplified procedure for the immediate loading of a complete fixed prosthesis supported by four implants in the maxillary jaw: a 2-year prospective study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016, 27(12):e154-e160
- [3] MALÓ P, DE ARAÚJO NOBRE M A, LOPES A V, et al. Immediate loading short implants inserted on low bone quantity for the rehabilitation of the edentulous maxilla using an all-on-4 design[J]. *J Oral Rehabil*, 2015, 42(8):615-623
- [4] LOPES L F, DA SILVA V F, SANTIAGO J F, et al. Placement of dental implants in the maxillary tuberosity: a systematic review[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2015, 44(2):229-238
- [5] KREKMANOV L. Placement of posterior mandibular and maxillary implants in patients with severe bone deficiency: a clinical report of procedure[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2000, 15(5):722-730
- [6] HENTSCHEL A, HERRMANN J, GLAUCHE I, et al. Survival and patient satisfaction of short implants during the first 2 years of function: a retrospective cohort study with 694 implants in 416 patients[J]. *Clin Oral Implants Res*,

- 2016,27(5):591-596
- [7] BALSHI T J, WOLFINGER G J, SLAUCH R W, et al. Brånemark system implant lengths in the pterygomaxillary region: a retrospective comparison[J]. *Implant Dent*, 2013,22(6):610-612
- [8] SILVA G C, MENDONÇA J A, LOPES L R, et al. Stress patterns on implants in prostheses supported by four or six implants: a three-dimensional finite element analysis [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2009,25(2):239-246
- [9] ROSSI F, BOTTICELLI D, CESARETTI G, et al. Use of short implants (6 mm) in a single-tooth replacement: a 5-year follow-up prospective randomized controlled multicenter clinical study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016,27(4):458-464
- [10] 吕 佳. 动态载荷下种植体位置和直径对悬臂梁种植固定义齿应力分布影响的三维有限元分析[D]. 济南: 山东大学, 2013
- [11] 董海东,赵 毅,汤春波,等. 种植体支持的上颌无牙颌固定义齿三维有限元建模[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2014,34(11):1604-1608
- [12] 甄子澄,汤春波,周储伟,等. 上颌无牙颌固定修复中不同倾斜种植体数目的三维有限元分析[J]. *中华老年口腔医学杂志*, 2018,16(5):301-306
- [13] EMAMI E, HEYDECKE G, ROMPRÉ P H, et al. Impact of implant support for mandibular dentures on satisfaction, oral and general health-related quality of life: a meta-analysis of randomized-controlled trials[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2009,20(6):533-544
- [14] BALSHI T J, GJ W, SLAUCH R W, et al. A retrospective comparison of Brånemark system implants in the pterygomaxillary region: Implant placement with two-stage, single stage, and guided surgery protocols[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2013,28:184-189
- [15] RODRÍGUEZ X, LUCAS-TAULÉ E, ELNAYEF B, et al. Anatomical and radiological approach to pterygoid implants: a cross-sectional study of 202 cone beam computed tomography examinations [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016,45(5):636-640
- [16] BALSHI T J, GJ W, SLAUCH R W, et al. A retrospective comparison of Brånemark system implants in the pterygomaxillary region: implant placement with two-stage, single stage, and guided surgery protocols [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2013,28:184-189
- [17] VAFAEI F, KHOSHHAH M, BAYAT-MOVAHED S, et al. Comparative stress distribution of implant-retained mandibular ball-supported and bar-supported overlay dentures: a finite element analysis [J]. *J Oral Implantol*, 2011,37(4):421-429
- [18] SANTIAGO J F, BATISTA V E, VERRI F R, et al. Platform-switching implants and bone preservation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016,45(3):332-345
- [19] KHATAMI A H, SMITH C R. "All-on-Four" immediate function concept and clinical report of treatment of an edentulous mandible with a fixed complete denture and milled titanium framework [J]. *J Prosthodont*, 2008,17(1):47-51
- [20] NIEDERMAIER R, STELZLE F, RIEMANN M, et al. Implant-supported immediately loaded fixed full-arch dentures: evaluation of implant survival rates in a case cohort of up to 7 years [J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2017,19(1):4-19
- [21] 朱学儒. 基于CBCT高效建立个性化上颌骨三维有限元模型的初步研究[D]. 太原: 山西医科大学, 2016
- [22] NISAND D, PICARD N, ROCCHIETTA I. Short implants compared to implants in vertically augmented bone: a systematic review[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2015,26(Suppl 11):170-179
- [23] 陆永健,唐 震,龚璐璐,等. 两种种植体支持式下颌半口固定义齿种植体应力有限元分析[J]. *第二军医大学学报*, 2016,37(7):821-826
- [24] FAZI G, TELLINI S, VANGI D, et al. Three-dimensional finite element analysis of different implant configurations for a mandibular fixed prosthesis [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2011,26(4):752-759
- [25] KUMAR K A. Outcome assessment of All-on-four and All-on-six implant restoration in edentulous patients in Indian population [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2017,46(S1):97

[收稿日期] 2019-06-24

欢迎投稿 欢迎订阅