

网络出版时间: 2023-03-28 15:45:09 网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.r.20230328.1035.031.html>

◇ 口腔医学研究 ◇

# 上颌无牙颌不同种植位点联合翼上颌种植的有限元分析

胡灵玉, 何家才

**摘要** 目的 探讨不同种植位点联合翼上颌种植对上颌无牙颌种植体与骨组织生物力学影响,为临床选择符合生物力学原则的种植设计方案提供依据。方法 选取1例上颌后牙骨量不足的无牙颌锥形束CT扫描数据,完成上颌骨三维实体模型的建立,利用冠修复体和种植体数据,分别建立冠修复体和种植体-基台一体三维实体模型,设计5组不同种植位点的三维有限元模型,以单侧200 N的垂直载荷和100 N斜向载荷分别在双侧后牙区加载,应用ANSYS有限元分析软件计算种植体和周围骨组织表面的应力分布,采用SPSS 26.0软件包对数据进行统计学分析。结果 ① 5组模型均显示最大应力集中在种植体颈部和颈部皮质骨处。② 5组模型在斜向载荷下的种植体最大应力值大于垂直载荷( $P < 0.05$ ),骨组织周围最大应力值差异无统计学意义。③ 不同种植位点联合翼上颌种植模型间种植体及骨组织最大应力值比较,差异无统计学意义。结论 上颌无牙颌种植固定修复,双侧对称性植入翼上颌种植体,改变前部种植体位点不会影响整个设计的应力分布。

**关键词** 上颌无牙颌;翼上颌种植;有限元分析

中图分类号 R 783.6

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2023)04-0702-05

doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2023.04.031

无牙颌患者选择全口种植修复成为一种新趋势<sup>[1]</sup>。目前,利用倾斜种植体修复无牙颌,All-on-4已广泛应用于临床<sup>[2]</sup>。由于存在悬臂,往往产生机械和生物并发症<sup>[3-4]</sup>。Tulasne<sup>[5]</sup>引入翼上颌种植技术,其循证医学证据不足,且缺乏明确生物力学分析,尚未在临床上得到充分应用。随着数字化技术的发展,翼上颌种植技术作为替代选择而受到关注。该文旨在应用有限元分析研究不同前部种植位点联合翼上颌种植对上颌无牙颌的应力分布,以期为临床提供生物力学依据。

2023-02-27 接收

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 81771117)

作者单位: 安徽医科大学口腔医学院,安徽医科大学附属口腔医院,合肥 230032

作者简介: 胡灵玉,女,硕士研究生;

何家才,男,教授,主任医师,博士生导师,责任作者,E-mail: hejiacai@163.com

## 1 材料与方法

**1.1 实验设备和软件** 口腔锥形束CT(意大利New Tom VG公司);3Shape口内扫描仪(丹麦3Shape公司);Lenovo小新Air-14计算机(北京Lenovo公司);Mimics 21.0三维成像软件(比利时Materialise公司);Geomagic Wrap 2017逆向工程软件(美国Raindrop公司);Solidworks 2017三维设计软件(法国Dassault Systems公司);Ansys Workbench 17.0有限元分析软件(美国Ansys公司)。

## 1.2 方法

**1.2.1 病例资料** 选取在安徽省口腔医院就诊上颌无牙颌后牙区垂直骨量不足的患者1例。纳入标准:既往体健,无糖尿病、高血压等系统性疾病,牙列缺失1年以上。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。在安徽省口腔医院放射科采用New Tom VG锥形束CT(cone beam CT,CBCT)设备,扫描基准平面为眶耳平面,扫描参数如下:管电压110 kV,管电流9.01 mA,焦点0.3 mm,曝光视野15 cm × 12 cm,曝光时间3.5 s,图像层厚0.3 mm。将患者CBCT获得的数据以Dicom格式保存。

**1.2.2 上颌无牙颌三维有限元模型的建立** 将获取Dicom格式的CBCT数据导入Mimics三维成像软件获得上颌骨点云数据文件,将该点云数据文件以STL格式导入Geomagic Wrap逆向工程软件,将点云结构的上颌骨无牙颌模型拟合成为实体化的三维模型,处理后得到STP格式的数据文件。

**1.2.3 修复体三维有限元模型的建立** 在种植手术前已对患者行上颌活动义齿修复,修复范围为右上颌第二磨牙至左上颌第二磨牙。将患者的活动义齿采用3Shape口内扫描仪进行扫描,获得义齿的三维点云结构的三维模型。以STL格式导入Geomagic Wrap逆向工程软件,将点云结构的义齿模型拟合成为实体化的三维模型,将实体化的模型以STP格式储存。

**1.2.4 种植体-基台一体三维有限元模型的建立**

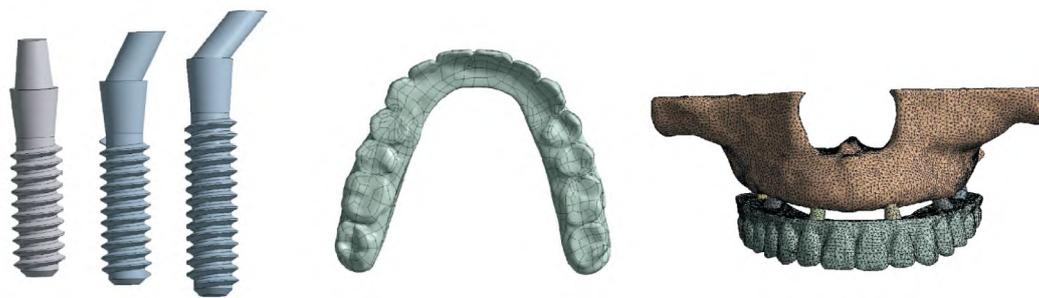


图1 种植体、义齿、模型装配三维模型

在 Solidworks 三维设计软件中根据 Noble 种植系统 (瑞典 Noble 公司产品) 参数建立种植体的三维实体模型。根据患者实际骨量和骨质条件, 所采用参数为: 前牙区 4.3 mm × 11.5 mm 直基台; 前磨牙区 4.3 mm × 13.0 mm 30° 复合基台; 磨牙区 4.3 mm × 15.0 mm 45° 复合基台。种植体螺纹简化设计。基台与种植体采用一体化设计, 以 X-t 格式储存。

**1.2.5 实验位点的设计** 本研究设置 5 组具有代表性的翼上颌种植模型。模型种植体自右向左进行编号, 分别为 1、2、3、4、5、6 号。牙位按照 FDI 牙位记录法按双侧对称原则对不同模型进行装配。模型 III: 第 17、15、13、23、25、27 位点; 模型 II: 第 17、15、12、22、25、27 位点; 模型 III: 第 17、14、12、22、24、27 位点; 模型 IV: 第 17、14、11、21、24、27 位点; 模型 V: 第 17、13、11、21、23、27 位点。在 Solidworks 三维设计软件中装配好 5 组模型后, 以 X-t 格式输出, 以备后期的三维有限元分析。

**1.2.6 材料属性设定与网格划分** 将组装后的上颌无牙颌的三维模型导入 Ansys Workbench 有限元分析软件中, 将种植体和基台设定为钛材料, 修复体设定为氧化锆材料, 材料力学参数见表 1。种植体与上颌骨、种植体与义齿之间接触关系为绑定接触, 所有材料均假设为连续、均质、各向同性的线弹性材料。对上颌皮质骨、松质骨、种植体, 还有修复后义齿进行网格划分。设定皮质骨、种植体与义齿网格大小为 1 mm, 松质骨网格大小为 3 mm<sup>[6]</sup>。各组模型的单元数和节点数见表 2。

表1 各种材料力学参数

材料名称	弹性模量 (GPa)	泊松比 ( $\mu$ )
钛	110.00	0.33
氧化锆	210.00	0.30
皮质骨	13.40	0.33
松质骨	1.37	0.30

表2 各组模型单元数和节点数

组别	单元数	节点数
模型 I	262 039	424 005
模型 II	262 460	424 470
模型 III	262 477	424 491
模型 IV	261 741	423 422
模型 V	260 167	420 616

**1.2.7 约束与加载条件** 边界约束条件: 在颧弓端及上颌上缘进行约束。加载方式: 本研究采用静态加载, 以单侧 200 N 垂直载荷和 100 N 斜向载荷 (颊偏腭 45°) 分配至双侧后牙功能尖<sup>[7]</sup>。

**1.2.8 有限元结果计算分析** 对 5 组有限元模型进行计算, 获得种植体与骨组织周围应力值和应力分布云图。

**1.3 统计学处理** 应用 SPSS 26.0 对数据进行统计学分析。各组数据进行正态性和方差齐性检验, 符合正态分布和方差齐性的计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用单因素方差分析, 组间多重比较采用 LSD 法进行; 不符合正态分布则采用中位数和四分位数间距  $[M(P_{25}, P_{75})]$  表示, 采用非参数检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两种载荷下应力分布彩色云图** 垂直和斜向载荷下种植体及周围骨组织应力分布云图见图 2、3。由图可见 5 组模型最大应力分布于种植体颈部和颈部皮质骨处。固定义齿应力主要分布在前部。

**2.2 垂直载荷下应力分布图** 垂直载荷下应力值分布趋势见图 4, 模型 I ~ V 组应力分布均匀且相似, 加载侧末端种植体即翼上颌区种植体及其周围骨组织应力值最大, 其次是 2、5 号种植体, 3、4 号种植体应力值最小。采用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计学分析, 结果见表 3。不同种植位点联合翼上颌种植模型之间种植体及骨组织表面应力值比较, 差异无统计学意义。

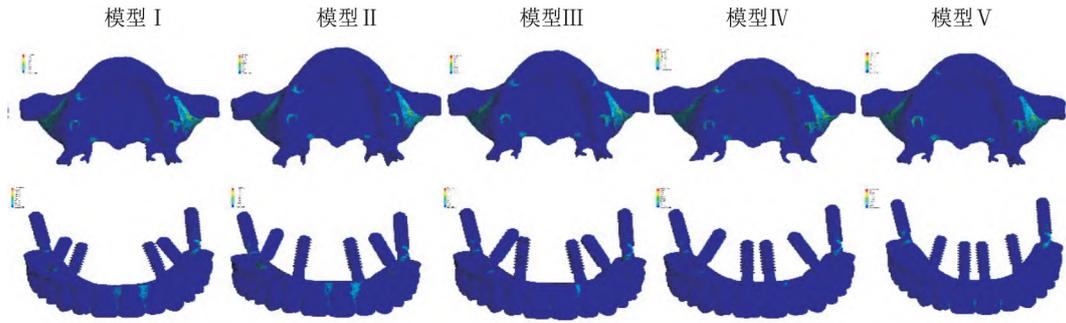


图2 垂直载荷下应力分布云图

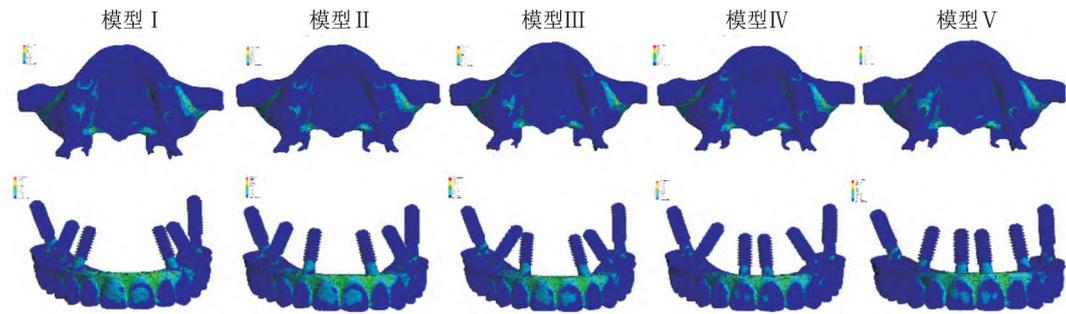


图3 斜向载荷下应力分布云图

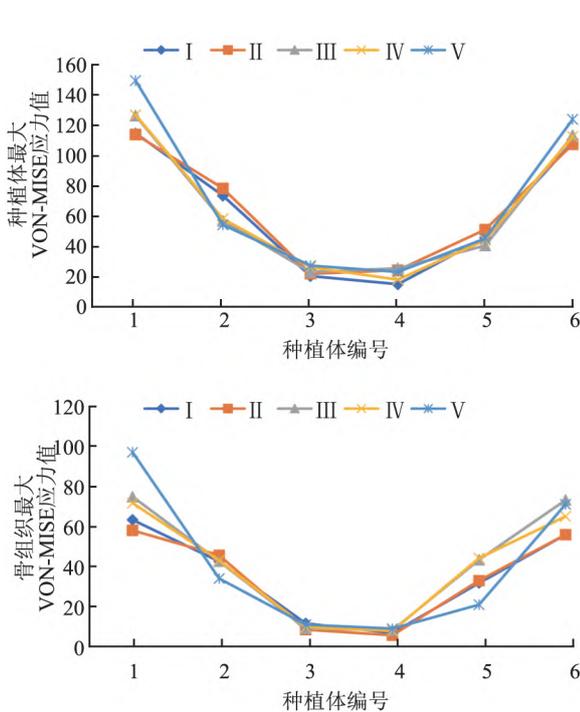


图4 垂直载荷下种植体和骨组织应力值线性图  
图中 I ~ V 为模型 I ~ V 组

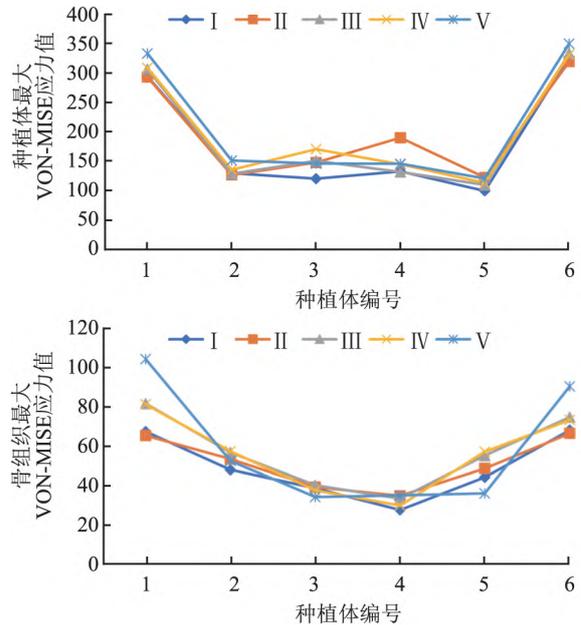


图5 斜向载荷下种植体和骨组织应力值线性图  
图中 I ~ V 为模型 I ~ V 组

2.3 斜向载荷下应力分布图 斜向载荷下应力值分布趋势见图5 模型 I ~ V 组应力分布均匀且相似 翼上颌区种植体应力值最大 与垂直载荷不同的是 3、4 号种植体应力值比 2、5 号种植体应力值大。

5 组模型在斜向载荷下的种植体最大应力值大于垂直载荷 ( $P < 0.05$ ) ,骨组织周围最大应力值差异无统计学意义。从应力值看 ,在垂直和斜向两种载荷下 模型 V 组的种植体、骨组织最大应力值为 5 组翼上颌种植模型中最大 ,分别为 149.86 MPa 和 97.08 MPa、351.02 MPa 和 104.51 MPa。

表3 各组模型间种植体和骨组织最大应力值比( $n=6$ ,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	垂直载荷		斜向载荷	
	种植体	骨组织	种植体	骨组织
模型 I	63.34 ± 43.08	35.37 ± 23.04	131.56(115.43, 303.42)*	49.25 ± 16.07
模型 II	66.48 ± 40.13	34.50 ± 23.03	169.29(125.99, 300.51)*	51.62 ± 13.08
模型 III	64.60 ± 44.82	41.94 ± 29.30	141.55(124.28, 314.09)*	57.23 ± 18.80
模型 IV	64.66 ± 45.27	40.29 ± 26.88	158.06(130.31, 315.38)*	56.38 ± 19.80
模型 V	70.89 ± 53.09	40.51 ± 35.88	149.17(139.86, 338.44)*	59.02 ± 30.96
F/Z 值	0.025	0.086	1.673	0.236
P 值	0.999	0.986	0.796	0.915

与垂直载荷比较: \*  $P < 0.05$ 

### 3 讨论

本研究采用的有限元分析(FEA)是生物力学研究中重要的生物力学分析工具,在口腔种植医学领域中已广泛应用<sup>[8]</sup>。利用患者的CBCT数据进行逆向建模,将构建模型通过节点离散成有限个单元,对有限个单元赋予适当的属性和条件,进行模拟咀嚼力的加载,计算有限个单元的力学属性,以获得整体构建模型的应力应变分布。

研究<sup>[9]</sup>表明种植体的长度为15~18 mm,可以利用翼上颌区的皮质骨。翼上颌种植体的植入位点尚未达到共识:一种放置在上颌第二磨牙处,与殆平面呈45°<sup>[10]</sup>;一种放置在上颌结节,与FH平面呈70°<sup>[9]</sup>。潘文辉等<sup>[11]</sup>研究表明,翼上颌种植体倾斜角度为30°或45°时,对应力影响不显著。因此,本研究以修复为导向确定种植体的位置,选择上颌第二磨牙位点植入15 mm长度种植体以45°倾斜植入,符合临床设计要求。

本研究数据显示应力集中在加载侧末端种植体颈部和颈部皮质骨,提示尽量保存颈部支持骨量利于种植体的长期稳定性<sup>[12]</sup>。固定义齿应力主要集中在前牙区鞍部,提示前牙区容易发生变形、折断,临床上要合理进行支架构件设计以及材料选择来减小义齿的破坏。

本研究采用垂直和45°斜向载荷。斜向载荷下的种植体最大应力值大于垂直载荷( $P < 0.05$ ),骨组织周围最大应力值差异无统计学意义。相对于垂直载荷,斜向载荷更容易导致种植体的应力集中,说明加载方向是影响种植体界面应力分布的重要因素。此研究结果提示临床要注意后牙咬合问题而造成种植体出现应力集中导致的机械并发症。

All-on-4模型存在悬臂结构,咬合力对远端悬臂的加载会导致种植体上的扭矩,导致种植体周围骨应力增加,造成种植体颈部骨组织吸收、种植体螺

丝松动等一系列并发症<sup>[13-14]</sup>。从修复的角度来看,翼上颌种植体通常植入上颌第二磨牙区,可以消除悬臂结构,能够提供额外的远端支持力,优化咬合载荷的分布,降低了种植体及骨组织周围的应力和应变水平,具有明显的生物力学优势<sup>[15]</sup>。

综上所述,翼上颌种植对于萎缩的上颌无牙颌,是一种较好的替代方法,双侧对称性植入翼上颌种植体,改变前部种植体位点不会影响整个设计的应力分布。此外,本研究存在局限性,采用较多研究使用的静态、线性分析。但随着计算机技术的发展,有限元分析朝着动态、非线性分析发展,可以更精准地模拟口腔临床情况。

### 参考文献

- [1] Gonçalves G S Y, de Magalhães K M F, Rocha E P, et al. Oral health-related quality of life and satisfaction in edentulous patients rehabilitated with implant-supported full dentures all-on-four concept: a systematic review[J]. Clin Oral Investig 2022, 26(1): 83-94.
- [2] Sclar A G, Cardenas J D, Von Haussen U. Diagnostically driven planning and execution of an all-on-4 treatment concept[J]. Compend Contin Educ Dent, 2015; 36(5): 332-8.
- [3] Gaonkar S H, Aras M A, Chitre V, et al. Survival rates of axial and tilted implants in the rehabilitation of edentulous jaws using the all-on-four™ concept: a systematic review[J]. J Indian Prosthodont Soc, 2021, 21(1): 3-10.
- [4] Maló P, de Araújo Nobre M, Lopes A, et al. The All-on-4 concept for full-arch rehabilitation of the edentulous maxillae: a longitudinal study with 5-13 years of follow-up[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2019, 21(4): 538-49.
- [5] Signorini L, Faustini F, Samarani R, et al. Immediate fixed rehabilitation supported by pterygoid implants for participants with severe maxillary atrophy: 1-year postloading results from a prospective cohort study[J]. J Prosthet Dent, 2021, 126(1): 67-75.
- [6] 王燕. 上颌无牙颌 All-on-4 种植修复远中种植体倾斜角度对骨组织应力影响的三维有限元研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [7] Sadr K, Vahid Pakdel S M. A 3-D finite element analysis of the

- effect of dental implant thread angle on stress distribution in the surrounding bone [J]. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2022, 16(1): 53–61.
- [8] Lisiak-Myszke M, Marciniak D, Bieliński M, et al. Application of finite element analysis in oral and maxillofacial surgery—a literature review [J]. *Materials (Basel)*, 2020, 13(14): 3063.
- [9] 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): 636–40.
- [10] Graves S L. The pterygoid plate implant: a solution for restoring the posterior maxilla [J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 1994, 14(6): 512–23.
- [11] 潘文辉, 刘堃, 吴瑾, 等. 翼上颌种植设计在上颌无牙颌固定修复中的应力分析 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(1): 119–23.
- [12] Jain V, Dommeti V K, Rana M, et al. Influences of Stresses on dental implant threads using finite-element analysis [J]. *J Long Term Eff Med Implants*, 2019, 29(2): 125–33.
- [13] Ozan O, Kurtulmus-Yılmaz S. Biomechanical comparison of different implant inclinations and cantilever lengths in all-on-4 treatment concept by three-dimensional finite element analysis [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2018, 33(1): 64–71.
- [14] Santana L C L, Guastaldi F P S, Idogava H T, et al. Mechanical stress analysis of different configurations of the all-on-4 concept in atrophic mandible: a 3D finite element study [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2021, 36(1): 75–85.
- [15] Araujo R Z, Santiago Júnior J F, Cardoso C L, et al. Clinical outcomes of pterygoid implants: systematic review and meta-analysis [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2019, 47(4): 651–60.

## Finite element analysis of maxillary edentulous at different implant sites combined with the pterygomaxillary implants

Hu Lingyu, He Jiakai

(*Stomatological College of Anhui Medical University, Affiliated Stomatological Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230032*)

**Abstract Objective** To explore the effects of different implant sites combined with pterygomaxillary implantation on the biomechanics of implant and bone tissue, and to provide a basis for clinical selection of implant design in accordance with biomechanical principles. **Methods** The cone-beam CT scan data of an edentulous maxillary with inadequate posterior bone were selected to complete the establishment of the three-dimensional entity model of the maxilla. The prosthesis and implant-abutment integrated three-dimensional entity models were established using the prosthesis and implant data, and five groups of three-dimensional finite element models of different implant sites were designed. A unilateral vertical load of 200 N and an oblique load of 100 N were applied to the bilateral posterior dental area, respectively. ANSYS finite element analysis software was used to calculate the stress distribution on the surface of the implant and surrounding bone tissue. SPSS 26.0 software package was used to statistically analyze the data. **Results** ① All the five models showed that the maximum stress was concentrated in the neck of the implants and cortical bone. ② The maximum stress value of the implant under oblique loading was greater than that under vertical loading ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference in the maximum stress value around bone tissue in the 5 groups of models. ③ There was no significant difference in the maximum stress of the implant and bone between the different implant sites combined with pterygomaxillary implants. **Conclusion** In the fixed restoration of maxillary edentulous implants, pterygomaxillary implants implanted symmetrically on both sides and changing the position point of the anterior implant do not affect the stress distribution of the whole design. In clinical practice, suitable sites can be selected according to the residual bone mass of patients, and combined with pterygomaxillary implantation for implant design.

**Key words** maxillary edentulous; pterygomaxillary implants; finite element analysis