

# 全下颌改良杆卡式种植覆盖义齿受冲击载荷的三维各向异性有限元分析

巢永烈 魏红

**摘要** 用三维各向异性有限元法分析全下颌改良杆卡式种植覆盖义齿受冲击载荷下的应力分布,分别使用烤瓷和塑料两种人工牙材料,目的是了解应力分布规律,考察在冲击载荷下不同人工牙材料对应力的影响。结果发现,烤瓷人工牙作为上部结构时种植体的应力峰值高于塑料人工牙,但是种植体骨界面的应力峰值较为接近,使用塑料牙时,种植体骨界面的应力分布较均匀。提示在冲击载荷下,烤瓷和塑料人工牙材料对应力分布有一定的影响;塑料牙对冲击载荷有一定的缓冲作用,可以降低种植体的应力峰值;冲击载荷对种植体骨界面的应力峰值影响不大,故烤瓷和塑料均可以作为全下颌改良杆卡式种植覆盖义齿的人工牙材料。

**关键词** 种植覆盖义齿 三维有限元 下颌全口义齿 应力分布

力是由咀嚼肌收缩产生,通过下颌运动作用于牙齿。下颌全口种植覆盖义齿的力则通过义齿传导至种植体、剩余牙槽嵴表面以及种植体周围骨组织。力有大小、方向、作用点及速度,属于冲击载荷。在种植覆盖义齿的有限元法研究中,以往几乎都采用静载荷,应用冲击载荷的报道极其罕见。为了比较种植覆盖义齿人工牙材料对应力分布的影响,本文使用了支持和分散力较好的全下颌改良杆卡式种植覆盖义齿设计,在冲击载荷下采用三维各向异性有限元法对塑料和烤瓷两种人工牙材料的义齿作受力分析,进行比较性研究,为临床上选择种植义齿设计和人工牙材料提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 模型设计和制作

选择一个牙槽骨中度吸收的成人下颌骨标本,确定平面后,在两侧颞孔之间的区域植入4枚直径为3.75 mm的Brånemark圆柱形种植体,中央两枚种植体距中线9 mm,侧方种植体距中线15 mm,一侧的两枚种植体相对集中形成改良式结构分布。种植体间相互平行,并与平面垂直,用直径2.5 mm的钴铬合金铸造圆杆连接各种种植体,杆的下缘距下颌骨表面3 mm。在种植体后方的牙槽嵴上粘上不同厚度的橡皮膏模拟粘骨膜,牙槽顶端粘骨膜厚,向前庭沟处移行变薄,约为2.12~2.52 mm。选用Bayer-上海塑料牙制作全下颌覆盖义齿。

### 1.2 建立三维有限元模型

在CT9800机上对修复体模型进行扫描,扫描间距分别为:两侧颞孔之间为1.5 mm 种植体后方至下颌支前缘

为3 mm,下颌支前缘至髁状突后缘为5 mm,共扫描35层。用Mias图形图像处理系统(四川联合大学研制)进行断面图象处理后在计算机上建立实体模型。模型共有9070个节点,7689个单元,其中四面体单元1631个,五面体单元1051个,六面体单元5007个。模型将种植体简化为固定在一起的刚体,种植体和骨组织为骨性结合。另外,假定骨皮质和骨松质的刚度方向一致,确定骨组织材料坐标系的局部方向,将下颌骨分割成下颌支、磨牙区及颞孔区共5个部分,建立各自的坐标系(见图1)。

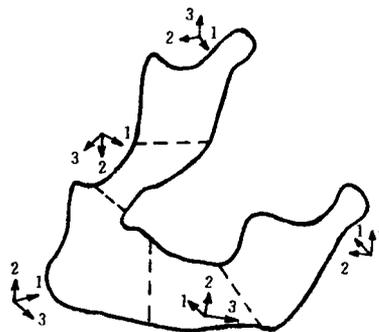


图1 下颌骨各向异性局部坐标图

1 z轴 2 y轴 3 x轴

### 1.3 材料的力学参数

有关材料的力学参数见表1。计算中,塑料牙和烤瓷牙的参数分别代入。

骨皮质和骨松质的各向异性力学参数见表2,表3。下颌骨骨松质的各向异性参数尚未见报道,参考胫骨骨松质的参数<sup>7</sup>。

表1 材料的力学参数

材料	弹性模量(MPa)	泊松比	引自文献
钛种植体	$10.34 \times 10^4$	0.35	1]
钴铬合金	$20.68 \times 10^4$	0.33	2]
塑料牙	2940	0.30	3]
烤瓷牙	$8.28 \times 10^4$	0.28	4]
基托	2352	0.30	5]
粘骨膜	3	0.45	6]

1.4 边界条件

将下颌骨两侧髁状突顶至下颌角截面作为后缘,该截面内节点的所有自由度均予以刚性约束,阻止下颌骨的刚体移动。

1.5 加载条件

加载量为200牛顿(N)。加载方向为垂直向。加载方式为冲击载荷,冲击载荷(Pd)与静载荷(P)的关系是:  $P_d = K_d \cdot P$ , 而  $K_d = \sqrt{V^2/g \cdot \delta_j}$ ,  $K_d$ 为冲击载荷系数,  $V$ 为下颌运动速度,全口义齿垂直咬合时下颌垂直运动的速度为  $49.9 \text{ mm/s}^8$ ,  $g$ 为加速度  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $\delta_j$ 为静载荷加载点的

静位移。加载部位为人工牙后牙面的功能接触斜面。

1.6 软件

在Vax-6510计算机上采用ANSYS大型通用有限元分析系统软件。

2 结果

2.1 种植体的应力分布

种植体在冲击载荷下的最大拉应力及最大压应力值均较高,用烤瓷牙时中央种植体应力值明显高于用塑料牙时,应力部位均出现在种植体骨外段的远中面,见表4。

2.2 种植体骨界面骨组织的应力分布

种植体骨界面骨组织的最大应力出现在种植体颈部周围骨皮质的近中面和远中面,骨松质中的应力很小,见表5及图2和图3。最大拉应力峰值为  $27.7 \text{ MPa}$ ,最大压应力的峰值为  $69.3 \text{ MPa}$ ,均出现在用烤瓷牙时,但是与用塑料牙时的差别不大。

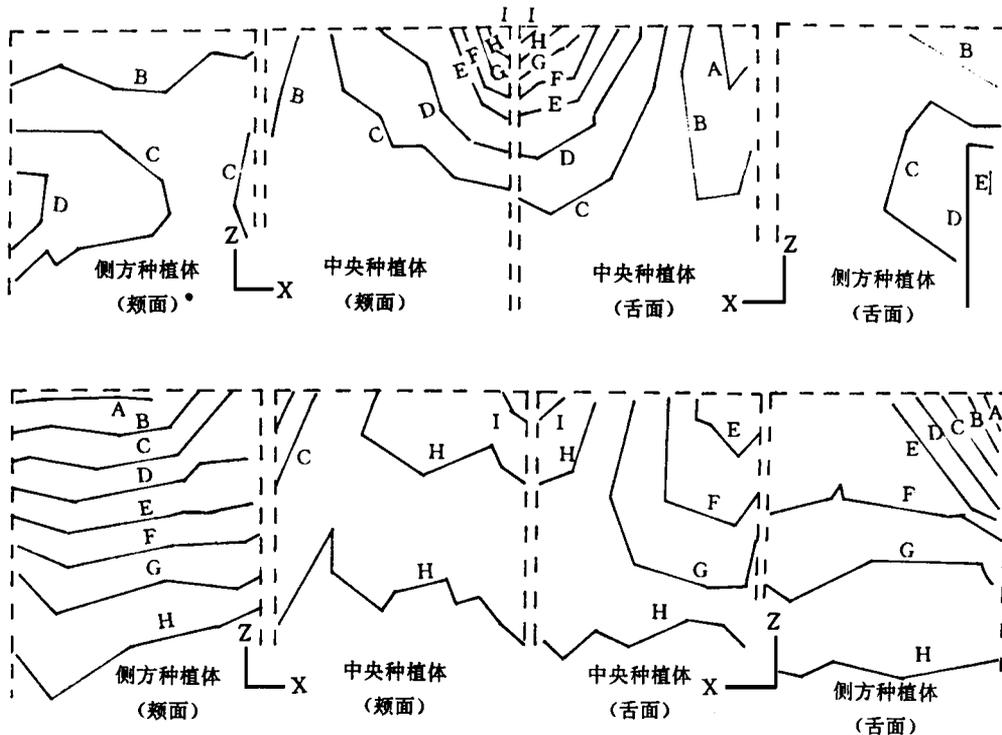


图2 塑料面种植体骨界面骨组织应力分布的等值线图

拉应力 (上)	A = - 2.804	B = - 0.074457	C = 2.656	压应力 (下)	A = - 53.93	B = - 46.551	C = - 39.173
	D = 5.656	E = 8.116	F = 10.845		D = - 31.794	E = - 24.416	F = - 17.037
	G = 13.575	H = 16.305	I = 19.035		G = - 9.658	H = - 2.28	I = 5.099

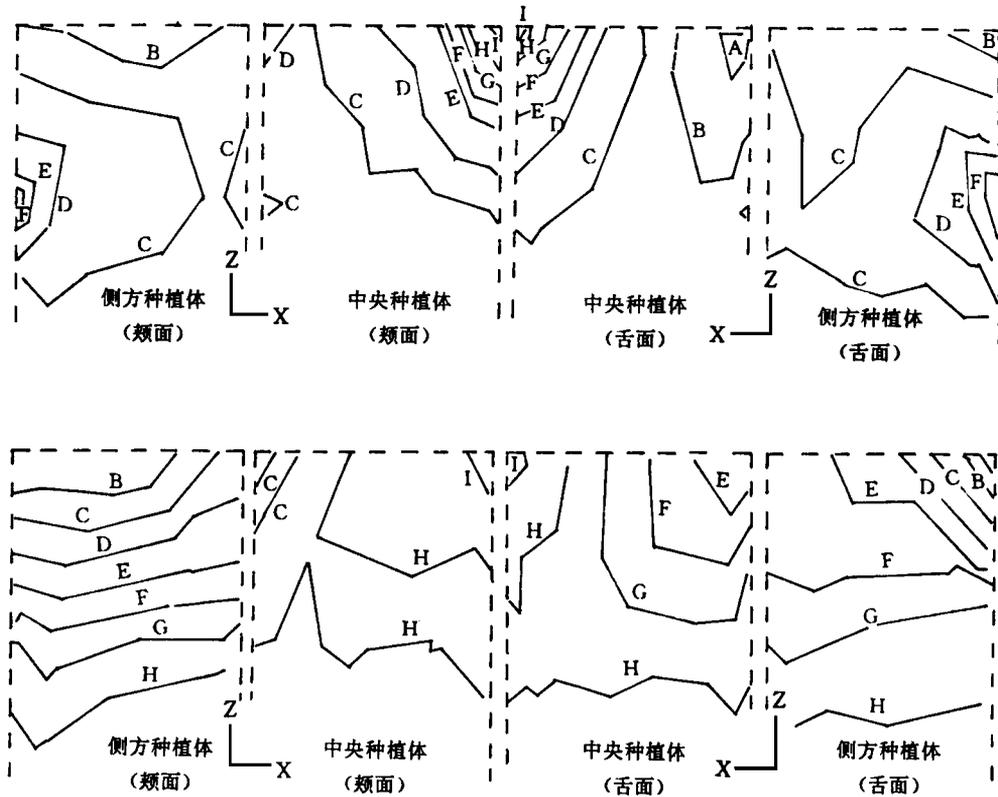


图3 烤瓷 面种植体骨界面骨组织应力分布的等值线图

拉应力	A = - 5.163	B = - 1.283	C = 2.597	压应力	A = - 64.632	B = - 55.886	C = - 47.14
(上)	D = 6.477	E = 10.357	F = 14.237	(下)	D = - 38.393	E = - 29.647	F = - 20.901
	G = 18.117	H = 21.997	I = 25.077		G = - 12.155	H = - 3.409	I = 5.337

表2 下颌骨骨皮质的力学参数

$E_1 = E_2 = 13 \text{ GPa}$	$E_3 = 19 \text{ GPa}$	
$\nu_{12} = \nu_{21} = 0.2$	$\nu_{23} = \nu_{32} = 0.9$	$\nu_{31} = \nu_{13} = 0.42$
$G_{12} = E_1/2 \times (1 + \nu_{12}) = 53 \text{ GPa}$	$G_{23} = G_{31} = 5.9 \text{ GPa}$	

$\nu$  为泊松比 E 为弹性模量 G 为剪切模量, 下同

### 2.3 牙弓后部牙槽嵴粘膜的应力分布

冲击载荷下, 牙弓后部牙槽嵴粘膜中有应力集中。两种人工牙材料的义齿在牙槽嵴粘膜中的应力分布基本相似, 即压应力都出现在牙弓后部牙槽嵴粘膜的近种植体侧和远中部分, 其应力值向近中和远中方向逐渐加大, 最大压应力值位于靠种植体的近中粘膜处。拉应力出现在牙弓后部牙槽嵴粘膜的近中、远中及颊舌侧基托边缘处, 其应力值向远中和颊舌方向逐渐增大, 最大拉应力值位于靠种植体的近中颊侧粘膜处。用烤瓷牙时的最大压应力是

2.612 MPa, 最大拉应力是 0.7021 MPa; 用塑料牙时的最大压应力是 1.363 MPa, 最大拉应力是 0.3998 MPa, 两者有一定的差异。

表3 胫骨骨松质的力学参数(借用)

$E_1 = E_2 = 27.3 \text{ MPa}$	$E_3 = 823 \text{ MPa}$	
$\nu_{12} = \nu_{21} = 0.19$	$\nu_{23} = \nu_{32} = 0.105$	$\nu_{31} = \nu_{13} = 0.335$
$G_{12} = 115 \text{ MPa}$	$G_{23} = G_{31} = 123 \text{ MPa}$	

表4 种植体的应力分布

		最大主应力 M Pa	最小主应力 M Pa
中央种植体	塑料牙	47.5	- 39.1
	烤瓷牙	74.1	- 89.4
侧方种植体	塑料牙	14.4	- 252.4
	烤瓷牙	26.5	- 246.8

注: 正值为拉应力, 负值为压应力, 下同  
应力部位为骨外段远中面

表5 种植体骨界面骨组织的应力分布

		最大主应力 M Pa	最小主应力 M Pa
中央种植体	塑料牙	20.4	-31.9
	烤瓷牙	27.7	-41.2
侧方种植体	塑料牙	8.08	-64.3
	烤瓷牙	9.60	-69.3

应力部位: 最大主应力为近中骨皮质界面, 最小主应力为远中骨皮质界面

### 3 讨 论

#### 3.1 人工牙材料对应力和应力分布的影响

用烤瓷牙时, 中央种植体的最大应力值明显大于用塑料牙时, 侧方种植体的最大应力值相差稍小; 用烤瓷牙时种植体骨界面骨组织的最大应力值略大于用塑料牙时, 两者的差别较小, 但是用塑料牙时界面骨组织的应力分布较均匀。原因可能是塑料的弹性模量低, 受力后容易发生变形, 并吸收了部分冲击载荷的能量所致。据文献报道<sup>9~12</sup>, 静载荷下烤瓷牙和塑料牙的种植义齿及支持组织的应力分布无明显差异, 用有限元法分析得出的结论是塑料牙不能成为应力缓冲装置<sup>10,11</sup>, 这与笔者以往的研究结果一致。本文的结果表明, 冲击载荷下, 两种人工牙材料义齿的种植体骨界面骨组织的应力峰值差别很小, 而种植体应力峰值有差别, 塑料牙能够在接受冲击载荷时为种植体提供一定的应力缓冲作用, 与 Gracis 等<sup>13</sup>的结果一致。提示冲击载荷和静载荷对应力的影响有一定的差异。虽然骨界面骨组织的应力值差别不大, 烤瓷和塑料均可选作全下颌种植覆盖义齿的人工牙材料, 但从保护种植体而言, 为力大的患者制作种植义齿时, 最好选用塑料牙较为安全。

#### 3.2 牙科几何模型及载荷条件在口腔生物力学研究中的意义

有限元法广泛应用于结构力学等诸多领域, 对义齿的优化设计, 义齿和支持组织的生物力学研究, 起了重要的作用。目前有限元模型的几何相似性仍有一定的限度: 模型假设为连续的, 均质性线弹性体, 各向同性材料; 载荷几乎都是静载荷, 在一定程度上影响了准确性。

骨组织的力学特性是各向异性和非均质性的, 并沿其长轴方向和周围方向变化。本文将下颌骨视作弯曲的长骨, 其最大刚度方向与弯曲方向一致,

并假定骨皮质和骨松质的刚度方向一致, 建立了5个独立的坐标系和各向异性模型, 使用了各向异性的力学参数, 更接近材料真实的力学性能。加载方式也必须模拟口内的真实情况。传统的加载方式是使用静载荷, 其结果只是局部地反映了力。作用于牙齿的力属于动载荷, 动载荷中的冲击载荷更接近力的性质。全口义齿患者下颌垂直运动的速度报道甚少<sup>8</sup>, 而速度是冲击载荷的重要因素, 值得进一步探讨。

三维有限元研究面临一些问题<sup>14</sup>, 如何进一步提高牙科模型的几何相似性, 建立模型材料的非线性、各向异性和粘弹性, 如何使用动态载荷, 并逐渐向三维动态发展等。迄今为止, 种植体骨界面应力传导的机制是什么, 界面对应力的生物力学反应如何, 怎样在机体中测量界面的应力状态等, 仍然是我们面临的难题, 是否能用三维有限元的方法去解决, 尚无答案。

### 4 参考文献

- 1 Borchers L, Reichant P. Three-dimensional stress distribution at different stages of interface development. *J Dent Res*, 1982, 62: 155
- 2 Graig KG. Stress from loading extension removable partial dentures. *J Prosthet Dent*, 1978, 39(3): 274
- 3 Akiyoshi, Nogawa. Study on the dynamic behavior of mandibular distal-extension removable partial denture utilizing finite element method. *J Jpn Prosthodont Soc*, 1989, 33: 1313
- 4 Mohammed H, Atmaram H, Shoen H. Dental implant design: A critical review. *J Oral Implant*, 1979, 8: 393
- 5 Shinner-Phillips. *The Science of Dental Material*. 5th ed. Philadelphia: Saunder, 1960: 194
- 6 Kydd WL, Mandly J. The stiffness of palatal mucoperiosteum. *J Prosthet Dent*, 1967, 18(2): 121
- 7 Hart RT, Hannebel VV, Thongprea N, et al. Modeling the biomechanics of the mandible: A three-dimensional finite element study. *J Biomechanics*, 1992, 25(3): 21
- 8 Karlsson S, Persson M, Carlsson GE. Mandibular movement and velocity on relation to state of dentition and age. *J Oral Rehabil*, 1991, 18: 1
- 9 夏荣. 全下颌种植固定义齿受载的应力分布分析——三维各向异性有限元分析. 华西医科大学博士论文, 1995
- 10 张少锋. 骨融合式全口种植义齿结构设计的三维有限元分析. 第四军医大学博士论文, 1994
- 11 PereIM, Ismail YH. Occlusion and biomechanics in implant dentistry. *Dent Implantol Update*, 1993, 4: 6

- 12 Skalak R. Stress transfer at the implant interface *J Oral Implantsol*, 1988, 13(4): 581
- 13 Gracis SE, Nichol JJ, Chalupnik JD, et al Shock-absorbing behavior of five restorative materials used on implant *Int J Prosthodont*, 1991, 4: 282
- 14 Chao Y, Meijer H, Van Oort R, et al The incomprehensible success of the implant stabilized overdenture in the edentulous mandible *Eur J Prosthodont Res Dent*, 1995, 3(6): 255

(1997- 04- 24 收稿)

## A Three-Dimensional Anisotropic Finite Element Analysis of Modified Bar-Clip Implant-Borne Overdenture in the Edentulous Mandible Under Punching Loads

Chao Yonglie, Wei Hong

*College of Stomatology, West China University of Medical Sciences*

### Abstract

The stress distributions of the modified bar-clip implant-borne overdenture in the edentulous mandible were performed under punching loads with both porcelain and resin chosen as the restorative materials by means of three-dimensional anisotropic finite element method. The purpose of this study was to investigate the patterns of stress distributions and to compare the effect of different restorative materials on the stress distributions under punching loads. The results showed that the value of stress peaks in implants with porcelain restorations seemed higher than those with resin restorations. On the contrary, in the bone-implant interface had little difference, except a comparative uniform stress distribution found in resin restorations. It implies that resin restoration produces a cushioning effect on reducing the stress peaks in implants themselves under punching loads. Both porcelain and resin restorations can be chosen as the restorative materials because of a little influence on the stress peaks in bone-implant interface under punching loads.

**Key words:** implant-borne overdenture    three-dimensional finite element method    mandibular complete denture stress distribution

## 《中国口腔医学年鉴》第七卷征订通知

《中国口腔医学年鉴》是我国口腔医学资料密集型的一部工具书,其内容为精选、综合我国口腔医学一段时间内的有关资料,全面地反映该时间内我国口腔医学领域中的主要成就及在临床实践、科学研究方面的水平等。主要内容由中国口腔医学界的著名专家撰写。第七卷设回顾·文选·述评·论坛·教育(本卷教育栏附有我国34所口腔医学院系简介及通讯录)、人物·记事,全书约60万字,16开,精装。该书将于1997年9月出版,每本定价48.00元。另外《中国口腔医学年鉴》第五卷和第六卷还有部分存书。需订阅的单位和个人,请汇款至四川省成都市人民南路三段14号(邮编610041),华西医科大学口腔医院编辑室,联系人:薛玉萍。开户银行:工商银行成都分行滨江支行,帐号20408902158,户名:华西医科大学口腔医院。

《中国口腔医学年鉴》编委会