

全下颌牙种植义齿及支持组织应力的三维有限元分析

IV. 种植体数目及受载条件对覆盖式义齿应力分布的影响

岑远坤 何佳妮 毛祥彦 官 革 鲜苏琴

摘要 采用三维有限元的方法,分析种植体数目对全下颌种植覆盖义齿及其支持组织在受载下应力分布的影响。结果发现增加种植体数目可以降低种植体、骨界面及义齿的应力峰值,并减小基托下组织的受力,从而减少剩余牙槽嵴的吸收。因此增加种植体的数目有利于应力的分散和对剩余牙槽嵴的保护。

关键词 种植体 全颌覆盖义齿 无牙下颌骨 有限元分析 应力

全颌种植覆盖义齿因其适用范围广,手术创伤小,价廉,易清洁,美观,效果好等优点在临床上越来越得到患者和医师的接受和推广。由于进行全颌种植覆盖义齿修复的患者往往缺乏足够的骨质和骨量,而且由于下颌骨解剖条件及患者经济条件的限制,通常只能允许在颞孔间区植入 2~4 枚种植体。本文采用三维有限元的方法,比较了植入 2 枚及 4 枚种植体时,在三种殆位受载情况下,种植体、种植体-骨界面、剩余牙槽嵴表面骨皮质及义齿的应力分布情况及其应力分布特点,以观察种植体数目对义齿及其支持组织应力分布的影响,为临床上种植覆盖义齿的设计提供生物力学依据。

1 材料和方法

1.1 实体模型制作^[1]

参照已选定的下颌骨的全景片在颞孔间区植入 4 枚 CDIC 三段式柱状种植体,种植体长 20 mm,直径 3.5 mm,骨内段长 13 mm。种植体之间彼此平行,间距相等,末端种植体距颞孔 6 mm。根据文献资料报道的粘骨膜厚度用红蜡制作模拟粘骨膜,常规完成全下颌种植覆盖义齿。

1.2 摄 CT 片

将制作好的实体模型进行 CT 扫描,以获取模型内部和外部的几何信息。

1.3 计算机图像处理

将摄制好的 CT 片利用计算机图像分析系统进行图像-数字化转换,获得每个断面上各层次结构上关键点的坐标数据。

1.4 有限元模型的建立

将获得的坐标数据读入 SGI INDIGO² EXTREME 计算机工作站,应用 I-DEAS 软件将各层面上关键点的坐标数据参照空间坐标系及相应的位置关系参数连接起来,使之成为完整的三维实体模型。通过布尔运算,去掉 2 枚种植体的图像,即成为植入 2 枚种植体的有限元模型。然后采用 I-DEAS 有限元分析程序进行节点的确定和单元的划分。在颞孔间区、种植体周围、咀嚼肌附着区等结构复杂,可能产生应力集中的部位细化网格,其余部分粗划。

1.5 材料的力学参数^[1]

本文将下颌骨皮质考虑为正交各向异性的非均质性材料。其余部分考虑为连续、各向同性、均质性的线弹性体。

1.6 加载条件

本研究将咀嚼肌收缩力作为加载条件。肌力简化为作用于咀嚼肌附着区几何中心点的点载荷,力的方向与肌肉附着方向一致。肌力方向的余弦值见参考文献[2]。以戴用全下颌种植覆盖义齿一年后,在一般咬合情况下测定的殆力值确定殆力的大小,见参考文献

四川省卫生厅资助课题

作者单位:610041 华西医科大学口腔医学院

[3],见表 1.再根据空间任意力系平衡原理计算出正中咬合时相应各相关肌肉的收缩力^[2].

表 1 戴用种植覆盖义齿后一年一般咬合情况下各牙的殆力(单位:N)

殆位	15/45	13/43	11/41	23/33	25/45
殆力 \bar{x}	50.0	35.3	26.5	34.3	47.1
s	28.8	22.2	15.7	22.8	26.6

1.7 边界条件

假设本模型两侧完全对称,将种植体-骨界面及种植体上部支架之间的界面假设为连续的、无相对位移的刚性界面,粘膜-义齿组织面之间假设为彼此接触,但允许相对位移的界面,在双侧髁突顶点进行刚性约束。在义齿殆面的约束部位为正中殆:双侧前磨牙至

磨牙的颊尖;前伸殆:双侧切牙切缘及尖牙牙尖;侧方殆:工作侧前磨牙及磨牙的颊、舌尖。以便限制其垂直方向的位移^[4].

2 结 果

2.1 种植体的应力分布情况

在三种殆位下受载,种植体颈部均为应力集中区。在正中殆及侧方殆时,4 枚种植体的应力峰值小于 2 枚种植体,而在前伸殆时,4 枚种植体的应力峰值略大于 2 枚种植体(见表 2 和图 1,2)。

2.2 种植体-骨界面的应力分布情况

三种殆位受载时,种植体-骨界面的应力均集中于颈部周围。4 枚种植体的应力峰值小于 2 枚种植体的情况(见表 3 和图 3)。

表 2 三种殆位下受载种植体的应力峰值及应力集中部位(MPa)

种植体数目	殆位	压应力		张应力	
		应力值	位置	应力值	位置
2 枚	正中	-252.0	舌侧远中	203.0	颊侧近中
	侧方	-120.0	工作侧末端种植体远中	61.1	工作侧末端种植体近中
	前伸	-70.2	远中	37.1	近中
4 枚	正中	-102.0	中间;颊侧 末端;远中	92.5	中间;舌侧 末端;近中
	侧方	-36.8	工作侧末端种植体远中	18.6	工作侧末端种植体近中
	前伸	-77.1	中间;颊侧近中 末端;舌侧远中	39.2	中间;舌侧远中 末端;颊侧近中

表 3 三种殆位下受载种植体颈部周围骨皮质的应力峰值及其部位(MPa)

种植体数目	殆位	压应力		张应力	
		应力值	位置	应力值	位置
2 枚	正中	-34.70	舌侧远中	31.40	颊侧近中
	侧方	-21.10	工作侧末端种植体远中	11.00	工作侧末端种植体近中
	前伸	-13.90	远中	7.49	近中
4 枚	正中	-18.10	中间;颊侧 末端;远中舌侧	7.31	中间;舌侧 末端;近中颊侧
	侧方	-10.30	工作侧末端种植体远中	5.20	工作侧末端种植体近中
	前伸	-8.54	中间;颊侧近中 末端;远中舌侧	3.46	中间;舌侧远中 末端;近中颊侧

表 4 三种殆位加载时牙槽嵴表面骨皮质的应力峰值(MPa)

种植体数目	殆位	应力值
2 枚	正中	-55.9
	侧方	-40.0
	前伸	-28.6
4 枚	正中	-51.6
	侧方	-35.1
	前伸	-21.1

2.3 牙槽嵴表面的应力分布情况

在加载条件下,牙槽嵴表面主要表现为压应力,颌弓前段由种植体支持部位的骨皮质的应力峰值小于后段。后段骨皮质的应力在牙槽嵴顶及其颊、舌侧分布均匀,但牙槽嵴后段表面粘膜有应力集中现象。植入 4 枚种植体时牙槽嵴表面的应力峰值小于植入 2 枚种植体(见表 4)。

2.4 义齿的应力分布情况

加载条件下,义齿的应力多集中于双尖牙区域,由

4 枚种植体支持的义齿应力峰值小于 2 枚种植体支持的情况,且应力集中的部位也略偏后(见表 5 和图 4)。

表 5 三种殆位时义齿应力峰值及其部位(MPa)

种植体数目	殆位	压应力		张应力	
		应力值	位置	应力值	位置
2 枚	正中	-20.60	殆面尖牙-双尖牙区	16.10	双尖牙区基托下缘
	侧方	-21.20	工作侧殆面尖牙-双尖牙区	17.00	工作侧双尖牙区基托下缘
	前伸	-37.40	殆面尖牙-双尖牙区	15.10	双尖牙区基托下缘
4 枚	正中	-16.10	殆面双尖牙区	14.50	双尖牙区基托下缘
	侧方	-7.49	工作侧双尖牙区	6.74	工作侧双尖牙区基托下缘
	前伸	-28.80	殆面双尖牙区	8.66	双尖牙区基托下缘

3 讨 论

3.1 种植体及骨界面的应力分布规律

在三种殆位加载条件下,种植体本身的应力均集中于颈部表面,种植体-骨界面的最大应力也出现于种植体颈部周围的骨皮质表面。这一结果也被国内外许多学者所证实^[5~7,9]。产生这种现象是由于物体的最大应力值靠近其表面,而且种植体周围骨皮质相对较高的弹性模量更促使了应力集中。

3.2 种植体数目对种植体及骨界面应力分布的影响

由实验结果显示,在正中殆与侧方殆加载时,增加种植体数目可减少种植体及种植体-骨界面的应力峰值,从而使应力分布更趋均匀。但在前伸殆加载时,4 枚种植体的应力值反而略高于 2 枚种植体,这可能是由于前伸殆受载时,下颌骨前段的变形与后段受载时不同,部分殆力由前段数目较多的种植体承担,而在种植体较少时,应力大部分由后段牙槽嵴承担。此结果与 Meijer 等^[9]1994 年采用部分下颌骨三维有限元法分析得出的结果相似。说明种植体数目的增加并不能绝对地使种植体应力相应下降。

3.3 种植体数目对牙槽嵴表面应力分布的影响及其临床意义

种植覆盖义齿与种植固定义齿相比的一个

重要差别是它所承受的力量部分是由基托下的粘膜及牙槽骨共同承担的。因此考察全颌种植覆盖义齿基托下组织受载时的应力分布则有重要的意义。本实验的结果显示,颌弓的前段由种植体支持部位的骨皮质应力峰值小于后段,后段皮质骨的应力在牙槽嵴顶及颊、舌侧分布均匀,而骨皮质表面的粘膜有应力集中现象。这说明粘膜在义齿受载时承担了部分殆力,在传力中起到了应力缓冲和分散应力的作用,减小了种植体的受力并使牙槽嵴表面的应力分布均匀。另外,实验结果还显示,牙槽嵴表面骨皮质的应力峰值,在 4 枚种植体时小于 2 枚种植体。这说明,随种植体数目的增加,更多的殆力由种植体承担,而传至后段的殆力减少^[11]。故增加种植体的数目可以降低剩余牙槽嵴表面的应力,从而减小牙槽嵴的吸收。因此,对于后段牙槽嵴严重吸收的患者,应在解剖条件允许的情况下,增加前段种植体的数目,使力量主要由颌弓前段承担,从而保护后段牙槽嵴。

3.4 种植体数目对义齿应力分布的影响及其临床意义

实验结果显示,由 4 枚种植体支持的全颌覆盖义齿的应力小于 2 枚种植体支持的覆盖义齿,且 4 枚种植体支持时,义齿应力集中的部位稍偏向后。这说明随种植体数目的增加,义齿获得了更强的支持力,使殆力得以更均匀的分散。另外,在加载条件下,义齿前分由于有种植体支

持而变形较小,而后段由粘膜支持的义齿受力时,因粘膜受压而下沉,变形量由前向后逐渐增大。因此,在义齿前后不同支持区域的交界处产生了应力集中^[11],使此处的义齿容易发生折裂。临床上应采取相应措施,例如取功能性压力印模;及时进行重衬或在基托组织面与种植基桩一支架之间加入应力缓冲装置等,避免义齿折裂^[10]。

3.5 本研究模型的优越性

本研究在以往三维有限元法模型研究的基础上进行了较大的改进。除采用 CT 扫描和图像数字化处理的方法获得模型的断面信息外,在材料力学参数设置上,将下颌骨皮质考虑为正交各向异性,非均质性的线弹体,更接近于生理条件下的下颌骨力学性质。将粘膜与基托组织面之间的界面考虑为彼此接触,而又允许相对位移的界面,更真实地模拟了粘膜层低弹性模量组织的应力缓冲作用。

在边界及加载条件的设置上,以往研究所采用的约束条件多半在不同程度上没能客观反应下颌骨受力时的真实情况。另外,以往的研究多是在义齿殆面上加载,而在咀嚼肌附着区约束,使颌骨在咬合时的弯曲变形方向与实际情况刚好相反,必然导致结果的偏差。还有一些学者采用的在种植基桩或杆上直接加载的方式,忽略了基托下组织在传力中的重要作用^[5,6,9]。本研究根据下颌骨生理咬合情况下的力学机制,在双侧髁状突顶点处进行刚性约束,在义齿殆面殆接触点处进行垂直向约束,在咀嚼肌附着区施加咀嚼肌力,使本模型与下颌生理条件下的力学行为一致,达到了高度的力学相似性。

(本文得到锦江电机厂计算机室胡汉江高级工程师等的指导和帮助,特此致谢)

(本文图见插页 14)

4 参考文献

- 1 毛祥彦,岑远坤,王政严,等. 全下颌牙种植义齿及支持组织应力的三维有限元分析. I. 三维有限元模型的建立. 华西口腔医学杂志, 1996; 14(4): 299
- 2 Kooistra JH, Van Eindhoven TMGJ, Weijs WA, et al. A three-dimensional mathematical model of the human masticatory system predicting maximum possible bite force. *J Biomechanics*, 1988; 21: 563
- 3 Haraldson T, Temt T, Stalblad P-A, et al. Oral function in subjects with overdentures supported by osseointegrated implants. *Scand J Dent Res*, 1988; 96: 235
- 4 杨永丰. 无牙下颌及其全口义齿的三维有限元分析. 华西医科大学博士论文. 1992
- 5 Meijer HJA, Starmans FJM, Bosman F, et al. A comparison of three finite element models of an edentulous mandible provided with implants. *J Oral Rehabil*, 1993; 20: 147
- 6 Meijer HTA, Kuiper JH, Starmans FJM, et al. Stress distribution around dental implants: Influence of superstructure, length of implants, and height of mandible. *J Prosthet Dent*, 1992; 68: 96
- 7 Rieger MR, Mayberry M, Brose MO. Finite element analysis of six endosseous implants. *J Prosthet Dent*, 1990; 63: 671
- 8 Davis DM, Zarb GA, Chao YL. Studies on frameworks for osseointegrated prostheses. Part I: The effect of varying the number of supporting abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1988; 3: 197
- 9 Meijer HTA, Starmans FJM, Steen WHA, et al. A three-dimensional finite element study on two versus four implants in an edentulous mandible. *Int J Prosthodont*, 1994; 7: 271
- 10 张少锋. 骨融合式全口种植义齿结构设计的有限元分析. 第四军医大学博士论文. 1994
- 11 Spiekermann H. *Implantology*. Germany: Thieme Medical Publishers Inc, 1995

(1996-08-15 收稿)

A Three-Dimensional Finite Element Stress Analysis of Implant-Supported Prosthesis and Its Supporting Tissue in the Edentulous Mandible

Part 4. The Analysis of Influence of Implant Number Complete Implant Overdenture

Cen Yuankun, He Jianing, Mao Xiangyan, et al

College of Stomatology, West China University of Medical Sciences

Abstract

The biomechanical compatibility of the implant denture is one of the most important factors affecting its long-term success. The purpose of this study is to investigate the influence of implant numbers on stress distribution of the complete overdenture and its supporting structures under centric occlusion. The 3D-FE model of the edentulous mandible, implants and the denture was established, and the results demonstrated that the most extreme principle stresses of implant and interface locate around the neck, the increase of the implant amount led to a decrease of the extreme principle stress of the implant, interface, alveolar ridge surface and the denture.

Key words: implant complete overdenture finite element analysis edentulous mandible stress

自制缩龈药线

辜 岷

烤瓷牙颈部密合是其成功的标志之一。随着烤瓷牙的日渐普及,为达到理想的缘龈暂时退缩,笔者研制成了以氯化铝为主的药线,制作方便,价格低廉,使用中达到了进口药线(也称牵开索)的效果,介绍如下。

将氯化铝结晶溶解于 2%利多卡因达到饱和为止,再加少许复红着色,储消毒瓶中备用。取吸水性较强的粗棉线(不用人造纤维线)绕成卷或团,完全浸透上述溶液,置 100℃干热箱中烘干,再置适当容器内备用。使用时,取适当长度药线,环绕于已备好的牙体龈沟处,用手指轻轻施压,或用特制塑胶缘龈压缩圈^[1]加压 3 min 左右,即可达到比较理想的缘龈暂时退缩,去除药线后即可制取印模。对利多卡因过敏者禁用。

氯化铝又名无水三氯化铝(aluminum trichloride anhydrous),其性状是无色结晶或白色微带浅黄色的结晶性粉末,易溶于水及几乎所有的有机溶剂,在空气中能吸收水份而易潮解,应密封保存^[2,3]。未见其有

毒性的记述。笔者所见不同国家的 3 种不同品牌的进口药线均以氯化铝为主药。其缩龈的主要机制为在短时间内吸收游离龈的水分,使之骤然脱水而暂时退缩,而不像盐酸肾上腺素只是收缩血管。因为使用药线总长度小,药量不多,且作用时间不长,使用至今未见不良反应者。

参考文献

- 1 辜 岷. 自制塑胶缘龈压缩圈. 临床口腔医学杂志, 1995;11(4): 239
- 2 俞志明主编. 中国化工产品大全. 北京:中国物资出版社,1991: 31
- 3 化工辞典. 北京:燃料工业出版社,1969: 515

(1995-05-22 收稿)

作者单位:518028 深圳市百花三路南天一号商业楼

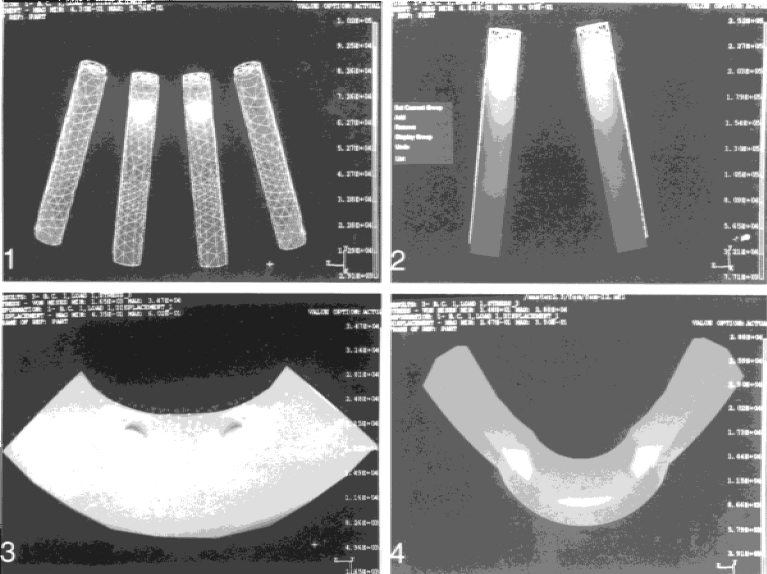


全下颌牙种植义齿及支持组织
应力的三维有限元分析
II. 固定式种植义齿在三种加
载方式下应力分析比较

(正文见第303页)

附图 集中加载时整体式种植体支架应力分布图。
红色为应力峰值区, 黄色为应力集中区,
浅蓝色为应力区

全下颌牙种植义齿及支持组织应力的三维有限元分析
IV. 种植体数目及受载条件对覆盖式义齿应力分布的影响
(正文见第311页)



图中红色为应力峰值区, 黄色为应力集中区, 浅蓝色为应力区

图1 正中殆位时4枚种植体的应力分布图

图2 正中殆位时2枚种植体的应力分布图

图3 正中殆位时2枚种植体周围皮质骨的应力分布图

图4 正中殆位时义齿的应力分布图(2枚种植体)

ki.net