

[文章编号] 1000-1182(2011)05-0464-05

# Replace内、外连接方式种植体-基台内部的应力分析

兰晶<sup>1</sup> 徐欣<sup>1</sup> 姜广水<sup>1</sup> 管延锦<sup>2</sup> 黄海云<sup>1</sup> 梁晋<sup>1</sup> 马晓妮<sup>1</sup>

(1.山东大学口腔医院 种植中心, 山东省口腔生物医学重点实验室;

2.山东大学 材料科学与工程学院, 济南 250012)

**[摘要]** 目的 建立2种Replace实体种植体的下颌骨三维有限元模型, 研究Replace内、外连接方式种植体-基台内部的应力状态。方法 测量2种植体各部件的数据和利用螺旋CT扫描下颌骨截面形态, 分别建立2种植体的三维骨内模型, 对模型采用轴向加载(200 N)、30°侧向加载(100 N), 分析2种植体-基台内部的应力分布趋势。结果 无论轴向加载还是侧向加载, 2种植体的应力主要集中在种植体颈部狭窄处, 且侧向加载时的应力值均高于轴向加载。Replace Select种植体内部的应力值均高于Replace External Hex种植体。结论 临床修复时应避免种植体受到过大的力, 尤其是侧向力, 以防出现种植体破坏现象, 使用Replace Select种植体时更应注意。

**[关键词]** 牙种植体; 基台; 有限元分析

**[中图分类号]** R 318.01 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.3969/j.issn.1000-1182.2011.05.004

**Three-dimension finite element analyses of interior stress of two kinds of Replace implant** Lan Jing<sup>1</sup>, Xu Xin<sup>1</sup>, Jiang Guangshui<sup>1</sup>, Guan Yanjin<sup>2</sup>, Huang Haiyun<sup>1</sup>, Liang Jin<sup>1</sup>, Ma Xiaoni<sup>1</sup>. (1. Implantation Center, School of Stomatology, Shandong University, Shandong Provincial Key Laboratory of Oral Biomedicine, Jinan 250012, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250012, China)

**[Abstract]** **Objective** To establish three-dimension finite element model of mandible with two kinds of Replace implant, and to study stress of implant and abutment. **Methods** The data of components of the dental implant was measured, cross section of the mandible was scanned by spiral CT and image reconstruction technique was conducted. Three-dimension finite element analysis software UG and MSC. Marc/Mentat were used to built the conjunction model and bone model of two implant systems. Axial loading(200 N) and 30° oblique loading(100 N) were applied on the models respectively, the stress distribution patterns of the implant and abutment of two implant systems were analyzed. **Results** The peak stress district was concentrated on the structure of the implant cervix, which was more obviously displayed on the Replace Select implant. The peak stress of oblique loading was higher than that of axial loading. The peak stress on the implant cervix of Replace Select implant was higher than that of Replace External Hex implant in all loadings. **Conclusion** To Replace Select especially, oblique force should be avoided on clinical practice in case of the implant fracture.

**[Key words]** dental implant; abutment; finite element analysis

随着口腔种植技术的飞速发展, 种植义齿以其明显的优越性逐渐成为修复牙列缺损、牙列缺失的常规手段, 同时高成功率也是广大患者接受种植义齿的重要原因之一<sup>[1-2]</sup>。影响种植义齿成功率的因素很多, 机械并发症就是其中的主要因素之一。种植体和基台内部的结构设计恰当与否和机械并发症的

发生率有直接关系。临床上使用的种植系统很多, 每种种植系统的结构都不尽相同, 其种植体与基台的接连方式多种多样, 归纳起来主要分为两大类: 内连接和外连接<sup>[3-4]</sup>。本研究选择Replace External Hex种植体(外连接)和Replace Select种植体(内连接)进行种植体-基台内部的应力对比分析, 以期临床种植体受力情况和远期疗效提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

Replace External Hex系统(Nobel Bicare公司, 瑞

[收稿日期] 2010-09-17; [修回日期] 2011-08-05

[基金项目] 国家“十五”科技攻关计划基金资助项目(2004BA720A-27)

[作者简介] 兰晶(1971—), 女, 河北人, 副教授, 硕士

[通讯作者] 徐欣, Tel: 0531-88382636

典)种植体为仿根型的圆锥状,表面有螺纹。种植体-基台的连接方式为外连接,即种植体冠方向外突出1 mm,其几何形态为外六方结构,具有较好的抵抗侧向力和抗旋转作用。两者是通过施加一定预负荷的中心螺丝连接固定。

Replace Select系统(Nobel Bicare公司,瑞典)种植体形态同Replace External Hex系统。种植体-基台的连接方式为内连接,即基台根方向外突出,种植体冠方向内凹入。种植体凹入部分与基台突出部分吻合,基台突出部分的底部为圆柱状,近龈端轴面有3个半圆形突起,起定位和抗旋转作用。种植体和基台是通过施加一定预负荷的中心螺丝连接固定。

Unigraphics(简称UG)软件,具有三维实体建模、装配建模等功能,能生成直观可视的数字虚拟产品。MSC.Marc/Mentat为非线性有限元分析软件。

### 1.2 模型几何尺寸和材料参数

用螺旋测微器(千分尺)测量Replace External Hex系统和Replace Select系统的种植体(直径4.3 mm、长度13 mm)、基台及中心螺丝。

商业纯钛(CP Ti)的性能参数由公司提供。纯钛为各向同性材料,它的性能参数:杨氏模量为96 GPa;抗拉强度为240~550 MPa;挠曲强度为170~485 MPa;疲劳极限为240 MPa;泊松比0.34。

选取一具34、35、36和37缺失的成人下颌骨实体标本,缺牙区牙槽骨无明显吸收。人体下颌骨属于各向异性材料,其性能参数:皮质骨和松质骨的杨氏模量分别为13 700、1 370 MPa;泊松比均为0.3。

### 1.3 三维有限元模型的建立和处理

1.3.1 下颌骨三维计算机辅助设计(computer aided design, CAD)模型的建立和处理 利用螺旋CT对缺牙区进行扫描,扫描体位为垂直于局部下颌骨边缘。选取其中一个断面,将图像剪贴到二维CAD软件,根据CT图片的断面轮廓描出光滑的截面曲线,并按一定比例将截面曲线放大到下颌骨截面的实际尺寸。根据下颌骨的结构,考虑皮质骨和松质骨的不同组织和性能,假定皮质骨(2 mm)为包裹在松质骨外侧且厚度均匀的一层组织。利用UG软件组成下颌骨的三维实体模型。

1.3.2 种植系统三维CAD模型的建立和处理 根据实际测量的Replace External Hex系统和Replace Select系统的尺寸,在UG 软件中分别建立基台、种植体、中心螺丝的三维CAD模型,然后利用UG 软件的装配功能将各零件依据它们相互之间的装配关系,建立种植系统的三维装配图,从而构建了2种植系统的三维CAD模型。

### 1.3.3 植入下颌骨的种植系统的三维CAD模型的建

立 根据所建立的下颌骨、种植系统的三维CAD模型,利用UG 中布尔运算的subtract(差集)功能,建立植入下颌骨的种植系统的三维CAD模型。

1.3.4 有限元网格离散 离散时采用四面体三维实体单元,而且离散时由于下颌骨(包括皮质骨和松质骨)、种植体、基台、中心螺丝分别为5个不同的实体,离散时考虑各实体界面处的网格协调。

1.3.5 多体接触的处理 整个种植系统由下颌骨(包括皮质骨和松质骨)、种植体、基台、中心螺丝多部分组成。各部分之间靠定义相互接触关系来确定承载时各部分之间载荷的传递。确定各实体相互之间的摩擦系数为0.3,由于螺丝的紧固作用,使种植体、基台之间产生了相互作用的压紧力,分析时取螺丝的预紧力大小为100 N(根据临床预负荷为35 N·cm计算得出)。

### 1.4 分析条件假设

模型材料和组织假设为连续、均质、各向同性的线弹性材料;材料受力变形为小变形;种植体-骨界面为100%骨整合,受力后不发生相对位移。

### 1.5 载荷及边界条件

对模型施加面约束,即固定牙槽骨的第一截面和最后截面进行约束,施加完约束后,对模型施加载荷,进行有限元分析求解。将外载荷施加于基台顶部,形式取为轴向和30°侧向(由颊侧斜向舌侧);综合相关文献资料及临床实践,取轴向力为200 N,30°侧向力为100 N<sup>[5]</sup>。

根据临床实际情况,中心螺丝预负荷为35 N·cm,在计算模型中,中心螺丝的预负荷以均匀面载荷的形式施加到螺丝头,节点数见表1。

表 1 外接式和内接式三维有限元模型的节点数和单元数

Tab 1 Data of nodes and unions of three-dimensional finite element model in outside conjunction and inside conjunction

下颌骨模型	外接式		内接式	
	节点数	单元数	节点数	单元数
皮质骨	10 014	41 326	9 816	40 379
松质骨	8 818	38 783	8 898	39 364
基台	1 540	5 918	1 446	5 063
种植体	2 164	7 527	2 183	7 501
中心螺丝	494	1 784	278	894

## 2 结果

### 2.1 Replace External Hex种植体-基台内部的应力分布特征

轴向加载时可看出应力主要集中在种植体与基

台接触平面、与螺丝下部接触区、颈部狭窄处，但应力值基本在30 MPa以下；种植体的外六方部分没有应力集中现象(图1、2A)。30°侧向加载时应力主要集中在加载侧的螺丝头部，应力值在65 MPa以上，种植体上部(外六方体、植体基台接触平面、颈

部狭窄处、与螺丝下部接触区)应力集中也比较明显，应力值在30 MPa(图2B、3)。30°侧向加载时种植体内部结构的应力值高于轴向加载，提示临床修复时应避免产生过大的侧向力，以防出现种植体破坏现象。种植体的中心螺丝应力集中均不明显。

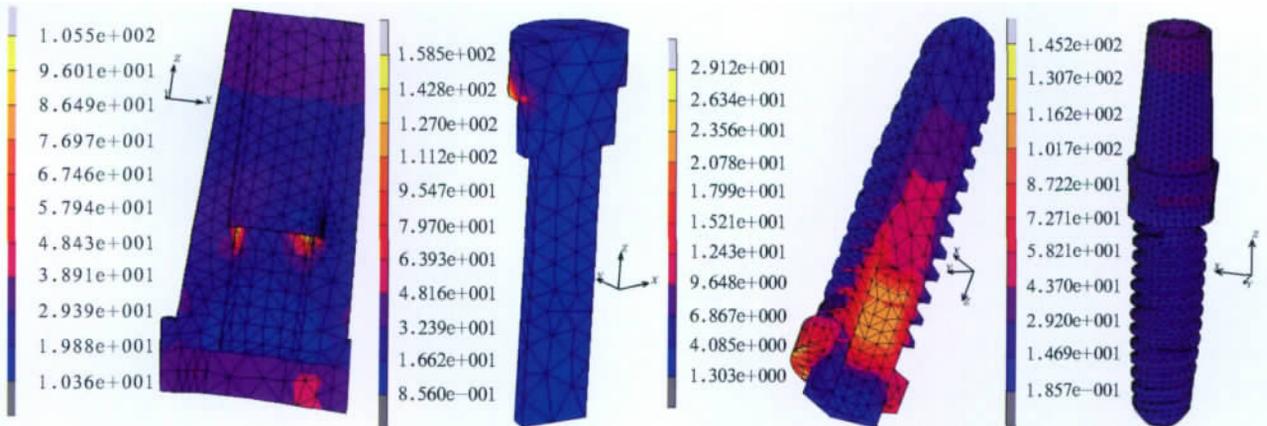
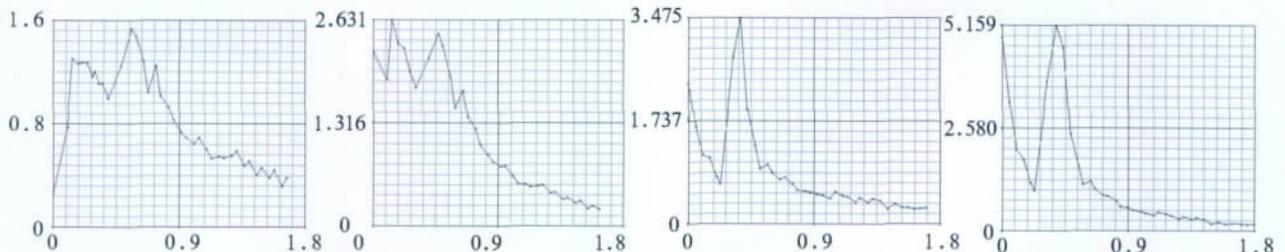


图1 轴向加载条件下Replace External Hex种植体内部的应力分布

Fig 1 Stress distribution of Replace External Hex implant under the axial loading



从左到右依次为：轴向加载，Replace External Hex种植体；30°侧向加载，Replace External Hex种植体；轴向加载，Replace Select种植体；30°侧向加载，Replace Select种植体。横坐标为弧长(mm)；纵坐标为应力(MPa)。

图2 轴向加载和30°侧向加载条件下Replace External Hex和Replace Select种植体内部纵向各层应力值

Fig 2 The stress value of each longitudinal layer of Replace External Hex and Replace Select implant under the axial loading and 30° lateral loading

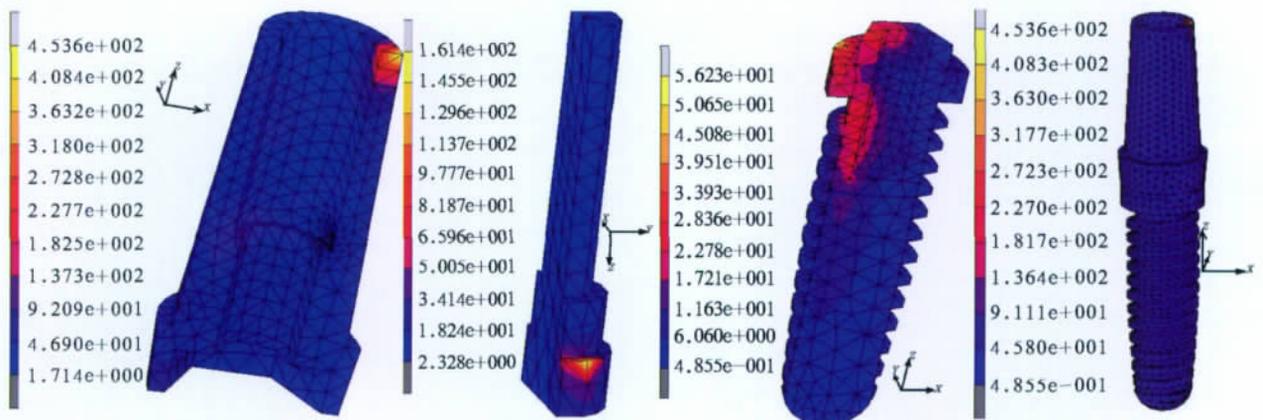


图3 30°侧向加载条件下Replace External Hex种植体内部的应力分布

Fig 3 Stress distribution of Replace External Hex implant under 30° lateral loading

2.2 Replace Select种植体-基台界面的应力分布特征  
轴向加载时应力主要集中在种植体颈部狭窄处和种植体与基台的接触平面，颈部狭窄处为应力最集中处，插入体和螺丝中下部应力集中不明显。种植体内部应力值高于Replace External Hex种植体的应力值(图2C、4)。30°侧向加载时应力集中于非加

载侧的种植体颈部狭窄处和螺丝头部，应力值都在60 MPa以上，种植体与基台接触平面的应力在30 MPa以上，插入体和螺丝下部的应力值在20 MPa(图2D、5)。30°侧向加载时种植体内部结构的应力值高于轴向加载，提示临床修复时应避免产生过大的侧向力，以防出现种植体破坏现象。种植体的中心螺丝应力

集中均不明显。

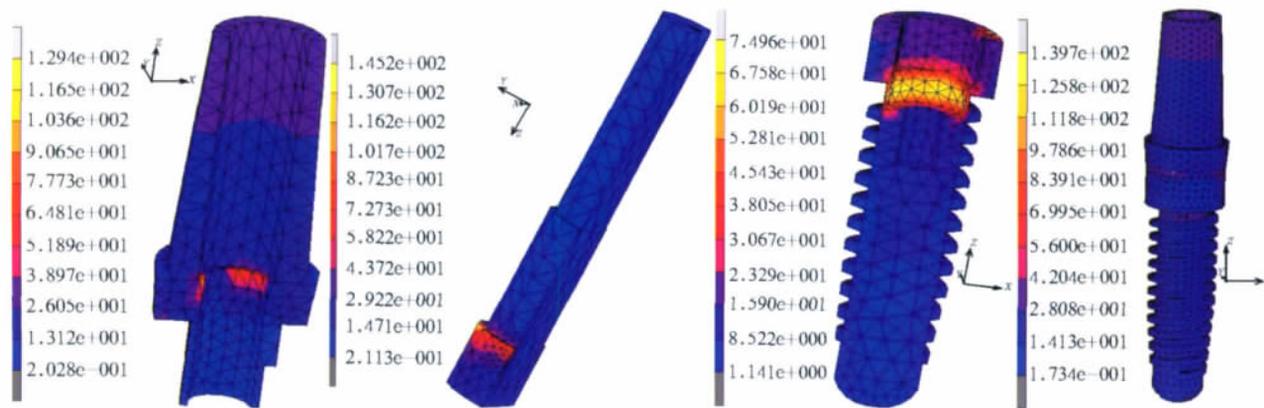


图4 轴向加载条件下Replace Select种植体内部的应力分布  
Fig 4 Stress distribution of Replace Select implant under the axial loading

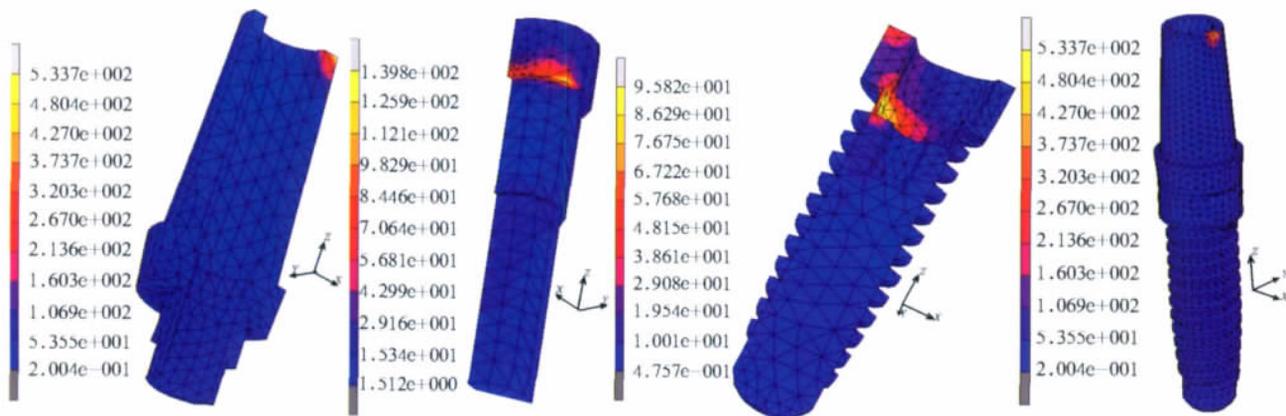


图5 30°侧向加载条件下Replace Select种植体内部的应力分布  
Fig 5 Stress distribution of Replace Select implant under 30° lateral loading

### 3 讨论

#### 3.1 三维模型的建模及施力特点

本研究建模的特点是实体建模,采用螺旋CT扫描下颌骨缺牙区,所形成的CT图像为垂直于下颌骨边缘的颌骨纵向剖面图像,能清晰地反映下颌骨高度、宽度、下牙槽神经的位置及皮质骨和松质骨的厚度,将此图像进行平滑处理和截面拉伸处理,得到部分下颌骨的三维模型。种植体、基台和中心螺丝三维模型主要是依靠测量真实种植体等各部分的数据,输入至计算机内,利用UG软件的强大图形处理功能建立逼真的图像。由于中心螺丝的螺纹非常细小,很难将其网格化,即使勉强网格化后,分析时容易出现穿透现象,出错率增高,影响结果的真实性,所以,2种结构的中心螺丝均未加螺纹,保证结果的可比性,但仍按实际情况在螺丝上加一定的预负荷。就本研究所关心的问题而言,各模型的建立具有模拟真实性,在各模型简化条件相同的情况下,进行影响因素的研究时,其他相关因素保持不变<sup>[5]</sup>。

种植义齿修复时,垂直于殆面的轴向载荷是所有种植外科、修复医生所期盼的理想状态。但在现实中,由于主、客观因素(如手术操作、牙槽骨萎缩等),非轴向载荷状况很常见<sup>[6]</sup>。为模拟口腔内真实情况,本研究设计轴向、30°侧向2种方向的载荷。

#### 3.2 应力分布特点

本研究2种结构相比较,Replace External Hex种植体内部应力值均明显小于Replace Select种植体。轴向加载时Replace External Hex种植体的应力主要集中在种植体颈部狭窄处和种植体基台的接触平面,侧向加载时应力主要集中在加载侧的种植体颈部狭窄处、种植体基台接触平面和外六方体,而且应力值明显高于轴向加载时,提示在临床上应避免或尽量减小侧向力,防止出现个别部位的应力集中,使种植体-基台结构的稳定性受到影响。Replace Select种植体轴向加载和侧向加载时的应力都非常明显地集中在种植体颈部狭窄处,根据力学原理,机械疲劳最易发生在应力集中区及其附近区域,所以受力过大可能更容易导致种植体折断,使种植义齿完全失败。

平面接触式的种植体和基台不论是何种结构形式都必须通过中心螺丝连接固位,因此螺丝的作用是很关键的。种植常见的并发症就是中心螺丝松动,当咬合力超过中心螺丝的屈服强度时,螺丝发生变形,螺纹之间不再紧密接触,这使螺丝的预负荷降低,基台与种植体接触的紧密程度也随之降低,同时咬合力会进一步加剧螺丝松动、变形甚至折断。本研究的结果表明Replace External Hex和Replace Select系统的2种螺丝应力值均不大(除与基台接触的螺丝头部,因为此处是预负荷直接加载处),螺丝下部有应力集中趋势但不明显,提示2种植体的结构均不易导致中心螺丝松动、折断。同时三维有限元的分析结果与笔者临床实践结果相符。

[参考文献]

[1] Sones AD. Complications with osseointegrated implants[J]. J Prosthet Dent, 1989, 62(5) :581-585.  
 [2] Kirsch A, Ackermann KL. The IMZ osteointegrated implant system[J]. Dent Clin North Am, 1989, 33(4) :733-791.

[3] 王少安,巢永烈. 种植体-基桩(台)界面结构的研究[J]. 国外医学口腔医学分册, 2001, 28(5) :283-285.  
 Wang Shaoan, Chao Yonglie. Research of implant-abutment interface structure[J]. Foreign Medical Sciences(Stomatology), 2001, 28(5) :283-285.  
 [4] 汤春波,韩科,周延民. 植入体-基台连接结构的设计与研究[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2002, 3(1) :61-63.  
 Tang Chunbo, Han Ke, Zhou Yanmin. Design and research of implant-abutment connection structure[J]. Chin J Prosthodont, 2002, 3(1) :61-63.  
 [5] 兰晶,徐欣,姜广水,等. 2种连接方式种植体的骨界面应力分析[J]. 华西口腔医学杂志, 2008, 26(4) :443-447.  
 Lan Jing, Xu Xin, Jiang Guangshui, et al. Three-dimensional finite element analysis of bone surface stress of two kinds of conjunction implant[J]. West China J Stomatol, 2008, 26(4) :443-447.  
 [6] 赵静辉,周延民,李春艳. 种植体螺纹位置对应力分布影响的有限元研究[J]. 华西口腔医学杂志, 2008, 26(6) :584-587.  
 Zhao Jinghui, Zhou Yanmin, Li Chunyan. Finite element analysis of the effects of implant thread locations on stress distribution[J]. West China J Stomatol, 2008, 26(6) :584-587.

(本文编辑 胡兴戎)

(上接第 463 页)

[5] Schäfer E, Olthoff G. Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha[J]. J Endod, 2002, 28(9) :638-642.  
 [6] Chong BS, Pitt Ford TR, Watson TF, et al. Sealing ability of potential retrograde root filling materials[J]. Dent Traumatol, 2006, 11(6) :264-269.  
 [7] Fortin D, Swift EJ Jr, Denehy GE, et al. Bond strength and microleakage of current dentin adhesives[J]. Dent Mater, 1994, 10(4) :253-258.  
 [8] Lopes GC, Baratieri LN, de Andrada MA, et al. Dental adhesion: Present state of the art and future perspectives[J]. Quintessence Int, 2002, 33(3) :213-224.  
 [9] Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al. Origin of interfacial droplets with one-step adhesives[J]. J Dent Res, 2007, 86(8) :739-744.  
 [10] De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, et al. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin[J]. Dent Mater, 2004, 20(10) :963-971.  
 [11] Goracci C, Cury AH, Cantoro A, et al. Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin

cements used to lute composite onlays under different seating forces[J]. J Adhes Dent, 2006, 8(5) :327-335.  
 [12] Radovic I, Mazzitelli C, Chieffi N, et al. Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches[J]. Eur J Oral Sci, 2008, 116(6) :557-563.  
 [13] Versluis A, Tanbirojn D, Douglas WH. Distribution of transient properties during polymerization of a light-initiated restorative composite[J]. Dent Mater, 2004, 20(6) :543-553.  
 [14] Wendt SL, McInnes PM, Dickinson GL. The effect of thermocycling in microleakage analysis[J]. Dent Mater, 1992, 8(3) :181-184.  
 [15] Rossomando KJ, Wendt SL Jr. Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations[J]. Dent Mater, 1995, 11(1) :47-51.  
 [16] Pazinato FB, Campos BB, Costa LC, et al. Effect of the number of thermocycles on microleakage of resin composite restorations[J]. Pesqui Odontol Bras, 2003, 17(4) :337-341.  
 [17] Wahab FK, Shaini FJ, Morgano SM. The effect of thermocycling on microleakage of several commercially available composite Class V restorations *in vitro*[J]. J Prosthet Dent, 2003, 90(2) :168-174.

(本文编辑 胡兴戎)