

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2017.03.004

· 基础研究 ·

## 三种缓冲机制的根面附着体式覆盖义齿的电测应力分析研究

刘珂<sup>1</sup>, 高久瑜<sup>2</sup>, 孟玉坤<sup>3</sup>

1. 济宁医学院附属医院口腔科, 山东 济宁(272000); 2. 山西省人民医院口腔科, 山西 太原(030012);

3. 四川大学华西口腔医院修复科, 四川 成都(610041)

**【摘要】** 目的 分析不同加载情况下, 太极扣、球帽、磁性根面附着体支持的覆盖义齿基牙周围牙槽骨及缺牙区牙槽嵴的应力差异, 为临床根面附着体的选择提供参考。**方法** 采用电阻应变测量法, 体外模拟覆盖义齿受殆力情况, 测量基牙牙颈部牙槽骨、下颌牙弓前部中央及第一磨牙相对应缺牙区牙槽嵴处的应力, 并比较分析三种附着体式覆盖义齿在不同加载情况下应力差异。**结果** 不同缓冲机制附着体式覆盖义齿在相同加载情况下, 义齿会出现一定程度的滑动(磁性附着体式覆盖义齿)或旋转(三种附着体式义齿), 基牙牙颈部不同部位牙槽骨、牙弓前部及游离端缺牙区牙槽嵴应力分布明显不同。**结论** 太极扣式覆盖义齿适应条件相对最广泛, 其次为磁性附着体式覆盖义齿。

**【关键词】** 球帽附着体; 磁性附着体; ERA附着体; 覆盖义齿; 电测应力分析

**【中图分类号】** R783.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2017)03-159-07

**【引用著录格式】** 刘珂, 高久瑜, 孟玉坤. 三种缓冲机制的根面附着体式覆盖义齿的电测应力分析研究[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(3): 159-165.

**Study on electrical measurement stress analysis of root attachment overdenture of three different mechanisms** LIU Ke<sup>1</sup>, GAO Jiu-yu<sup>2</sup>, MENG Yu-kun<sup>3</sup>. 1. Department of Stomatology, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining 272000, China; 2. Department of Dentistry, People's Hospital, Taiyuan 030012, China; 3. Department of Prosthodontics, West China School of Stomatology, Chengdu 610041, China

Corresponding author: MENG Yu-kun, Email: 929672560@qq.com, Tel: 0086-28-85503671

**【Abstract】 Objective** To analyze the stress difference of alveolar bone around the abutment and alveolar ridge of edentulous of three different kinds of root-attachment-supported overdenture under different load conditions, in order to provide a reference for the choice of clinical root attachment. **Methods** The occlusal force of overdenture was simulated by electrical resistance strain measurement in vitro. The stress of the alveolar bone, the central part of the mandibular arch and the first molar correspond to the alveolar ridge were measured. The stress difference of 3 kinds of attachment overdenture under different loading conditions were compared and analyzed. **Results** Under the same loading condition, all three kinds of overdentures had a certain degree of slip of the denture (magnetic attachment denture) or rotation (3 kinds of attachment dentures). The abutment neck in different parts of the dental arch and alveolar bone, anterior or free end edentulous alveolar ridge stress distribution was significantly different. **Conclusion** ERA attachment overdenture was the most preferable, followed by the magnetic attachment overdenture. Suitable attachment should be selected based on specific clinical cases.

**【Key words】** Ball-cap attachment; Magnetic attachment; ERA attachment; Overdenture; Electrometric stress analysis

**【收稿日期】** 2016-09-26; **【修回日期】** 2016-12-11

**【基金项目】** 山西省科技攻关项目(20110313015-1)

**【作者简介】** 刘珂, 医师, 硕士, Email: 155256073@qq.com

**【通讯作者】** 孟玉坤, 主任医师, 博士, Email: 929672560@qq.com

调查显示,随社会老龄化的迅猛发展,老年人口数量不断增加,65~99岁老年人平均失牙数为22.5颗,30.7%的老年人上下颌牙列缺失<sup>[1]</sup>。尖牙因独特的解剖特点成为口腔中存留时间最长的牙齿<sup>[2]</sup>。因此,临床中常见下颌仅余留双侧尖牙的牙列缺损病例。对于此类牙列缺损的治疗,根面覆盖义齿、根面附着体式覆盖义齿为目前主要修复手段。支持覆盖义齿的根面附着体根据其阴性和阳性部件结合形式不同,可分为刚性附着体和弹性附着体。在刚性附着体中,阴阳性部件结合紧密,结合后除就位道相反方向外无任何活动度,主要用于非游离缺失时修复体的两端基牙;弹性附着体的阴阳性部件结合后,两者之间有一定方向一定量的动度,可起到应力中断作用,主要用于游离缺失或跨度很大的非游离缺失修复体两端基牙<sup>[3-4]</sup>。由于弹性附着体具有不同方向的保护性的缓冲作用,被更多应用于临床,尤其是具有不同缓冲机制的磁性附着体、ERA太极扣和球帽式附着体。其中磁性附着体具有水平缓冲能力,太极扣具有垂直和旋转缓冲能力,而球帽具有旋转缓冲能力。目前,关于支持覆盖义齿的不同附着体系统的固位机制<sup>[5-6]</sup>和应力缓冲机制<sup>[7-8]</sup>仍存在争议。本研究基于磁性附着体、ERA太极扣和球帽式附着体具有不同的缓冲机制,采用电测应力分析法,通过模拟下颌仅余留双侧尖牙的牙列缺损模型,测量基牙牙颈部牙槽骨、下颌弓前部中央及第一磨牙相对应牙槽嵴处的应力,并比较分析三种附着体式覆盖义齿在不同加载情况下应力分布差异,以期为临床医师选择根面附着体提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

三种临床常见弹性附着体(表1),标准下颌无牙颌石膏模型,环氧树脂(Buehler,美国),加成型硅橡胶、牙龈硅橡胶(Coltene/Whaledent AG,瑞士),红蜡片,自凝树脂。电阻应变片(黄岩诚立工程传感器厂)型号120-2AA,等级A,栅长2 mm × 1 mm, (120.9 ± 0.1) Ω,灵敏系数2.06% ± 0.1%。DH3818-1型静态应变测试仪(华东测试技术公司)。加载架、加载控制软件(德祥科技有限公司)。

### 1.2 义齿制作

#### 1.2.1 根管治疗

根据王惠芸<sup>[9]</sup>的资料挑选接近

标准值的下颌离体尖牙标本,并完成常规根管治疗。

表1 所用弹性附着体

Table 1 Three kinds of resilient attachments

附着体类型	系列	简称	制造商
太极扣	Mini ERA(白色)	EW	Sterngold, 美国
球帽	Vario-Kugel-Snap vks2.2	VKS(BY)	Bredent, 德国
磁性	Magfit EX600W	MF	Aichi Steel, 日本

1.2.2 模型制备 硅橡胶对标准下颌无牙颌石膏模型进行印模,翻制蜡质下颌无牙颌标准模型。蜡质模型尖牙区制备窝洞,用蜡固定尖牙,牙颈部四周牙龈水平用光固化树脂制作定位突起后,用硅橡胶制备印模。

离体尖牙牙根面(釉牙骨质界之下)用0.2 mm的双面胶带粘贴,模拟牙周膜0.2 mm厚度<sup>[10]</sup>。在硅橡胶印模复位2颗离体尖牙,透明环氧树脂灌注模型。去除离体尖牙双面胶带粘贴层,然后在环氧树脂模型拔牙窝内注入轻体硅橡胶,离体牙加压复位,通过定位突起控制0.2 mm牙周膜间隙大小,以模拟牙周膜。

针形金刚砂车针充分水冷却下,将离体尖牙截冠至齐龈高度。在无牙区用牙龈硅橡胶模拟黏膜约2 mm厚。

1.2.3 牙体预备 根据桩道预备标准,对离体牙进行常规根管桩道预备。

1.2.4 制作义齿 硅橡胶桩道取模,制作太极扣阴性部件、球帽阳性部件及磁性附着体嵌有衔铁的根面板。常规制作下颌钴铬合金整铸支架式可摘局部义齿<sup>[11]</sup>。

### 1.3 电测应力分析

1.3.1 定点贴片 预测试应变片,挑选合格的2 mm × 1 mm大小应变片,粘固于尖牙牙颈部相对应牙槽窝内壁处,下颌牙弓前部中央及双侧第一磨牙相对应基托组织面处(图1)。

1.3.2 连接线路、校准及加载测量 应变片引线及温度补偿片均以半桥路形式与应变测试仪连接。根据义齿殆面形态,设计制作加载头,并固定于传力装置上。利用软件控制传力装置,预加载校正后,按设计加载力方向及大小<sup>[12-13]</sup>(表2),以1 mm/min的速度自动加载,记录各应变片的数值。测量顺序依次为太极扣、球帽附着体和磁性附着体,每种附着体3套。每套附着体连续加载8次,每次加载

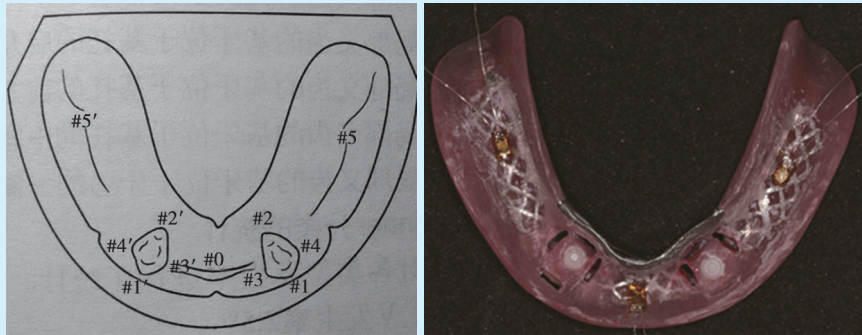


图1 应变片位置

Figure 1 The location of strain gauges

表2 加载部位相对应处加载力方向、大小  
Table 2 Direction and magnitude of loading force in corresponding position of loading part

加载位置	加载方向	加载大小
31牙及41牙整体	唇舌向45°	100 N
43牙	垂直向	100 N
36牙及46牙整体	垂直向	120 N
46牙	垂直向	120 N
46牙	颊舌向45°	120 N

间歇卸载3 min,求得每种附着体每个位点的平均值。

## 2 结果

不同缓冲机制附着体式覆盖义齿在相同加载情况下,义齿会出现一定程度的滑动(磁性附着体式覆盖义齿)或旋转(三种附着体式义齿),基牙牙颈部不同部位牙槽骨所受压应力或拉应力大小不同,牙弓前部及游离端牙槽嵴所受应力也有所区

别。三种附着体式覆盖义齿不同位点具体应变值( $\mu\epsilon$ )依次见图2~6。

前牙加载时,太极扣式覆盖义齿基牙及缺牙区牙槽嵴受拉应力为主,且所受应力最小;球帽附着体式覆盖义齿以#0点为中线,#1、#3、#5及#1'、#5'受压应力,其余位点受拉应力,左右两侧所受压力大致平衡;磁性附着体式覆盖义齿各位点均受压应力,#0处所受压应力最大。

右侧基牙垂直加载时,加载力主要由该侧基牙承担,且#0处均显示拉应力。太极扣式覆盖义齿右侧基牙及缺牙区牙槽嵴整体受应力最小,两侧基牙牙颈部近中侧牙槽嵴所受压应力大于其它位点;磁性附着体式覆盖义齿#5'处承受压应力较小;相对于太极扣,球帽及磁性附着体式覆盖义齿左侧基牙及缺牙区牙槽嵴应力不明显。

双侧第一磨牙垂直加载时,太极扣式覆盖义齿#0处受压应力最小,且两侧游离端牙槽嵴均受拉应力;球帽附着体式覆盖义齿整个牙弓以压应

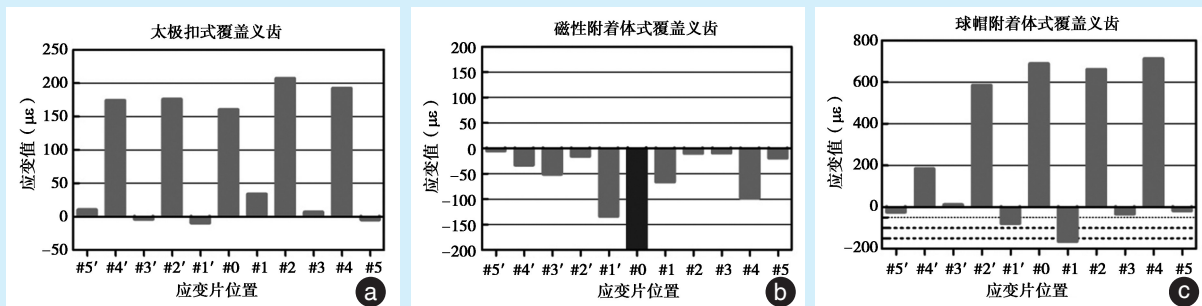


图2 前牙区加载时不同部位应变片的应变值

Figure 2 Strain values of strain gauges at different sites when loaded on anterior teeth

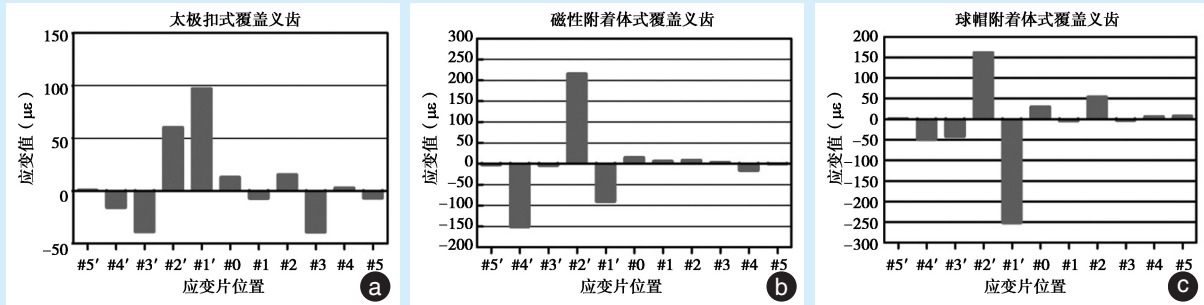


图3 右侧尖牙加载时不同部位应变片的应变值

Figure 3 Strain values of strain gauges at different sites when loaded on the right canine

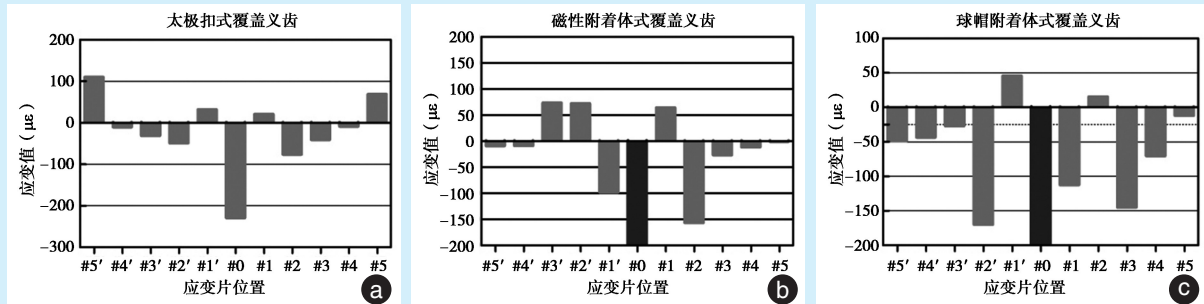


图4 双侧第一磨牙区加载时不同部位应变片的应变值

Figure 4 Strain values of strain gauges at different sites when loaded on bilateral first molars

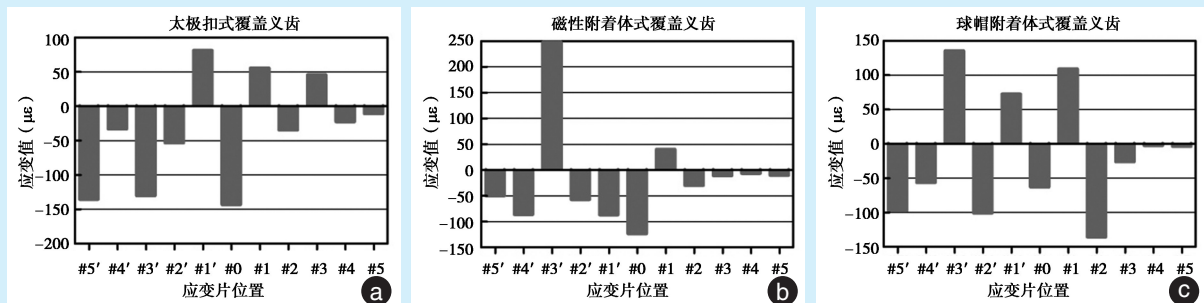


图5 右侧第一磨牙垂直加载时不同部位应变片的应变值

Figure 5 Strain values when loaded vertically on the right side of the first molar

力为主, #5'处受压应力相对于其他两种附着体最大;磁性附着体式覆盖义齿#0处受压应力最大。

右侧第一磨牙垂直加载时,太极扣式覆盖义齿#5'处受压应力最大,右侧基牙与缺牙区牙槽嵴应力分布较均匀;球帽附着体式覆盖义齿加载力主要由右侧游离端牙槽嵴及两侧基牙承担,#0处压应力相对最小,最大压应力出现在左侧基牙牙

颈部舌侧牙槽骨处;磁性附着体式覆盖义齿加载力主要由右侧基牙及游离端、牙弓前部牙槽嵴共同承担,整个牙弓以压应力为主,#5'处受压应力相对其他两种附着体最小。

右侧第一磨牙45°加载时,三种覆盖义齿牙弓前部缺牙区牙槽嵴受压应力均很大,#5'处均显示压应力,#5处均显示拉应力。太极扣式覆盖义齿两侧基牙受应力较小,但不如磁性附着体均匀;磁

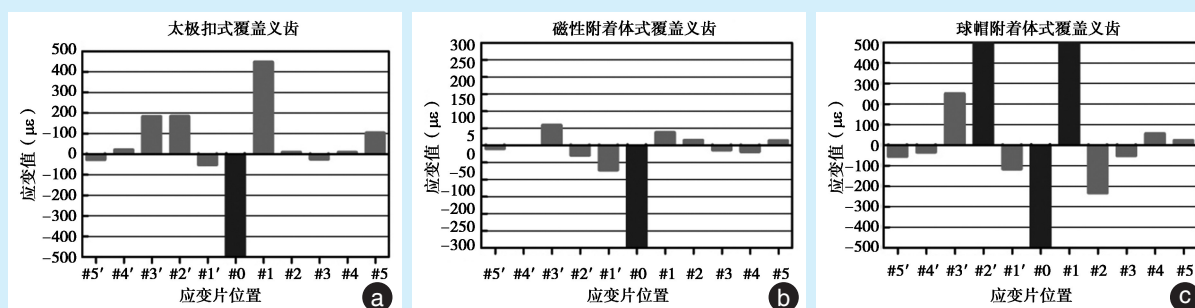


图6 右侧第一磨牙斜向加载时不同部位应变片的应变值

Figure 6 Strain values of strain gauges at different sites when loaded 45° to the long axis of the right side of the first molar

性附着体式覆盖义齿两侧基牙及缺牙区牙槽嵴所受应力相对最小;球帽附着体式覆盖义齿#5'处所受压应力及两侧基牙所受应力相对较大。

### 3 讨论

#### 3.1 三种根面附着体

弹性附着体即附着体的阴性和阳性两部分结合后,放置附着体的基牙与覆盖义齿之间有一定方向和一定量的相对动度。根据各类附着体的固位结构设计不同可形成多方向旋转运动,也可以沿一个方向做铰链运动,即形成旋转缓冲、水平缓冲或垂直缓冲。此类附着体可允许义齿基托向缺牙区黏膜组织方向有少量位移,以减轻基牙承受的负荷以及对基牙产生的扭力,而缺牙区基托下支持组织的受力增加<sup>[14]</sup>。本实验中选择了三种具有不同缓冲机制的代表性弹性根面附着体,即磁性附着体、ERA太极扣、球帽式附着体,其中磁性附着体具有水平缓冲能力,太极扣具有垂直和旋转缓冲能力,而球帽具有旋转缓冲能力。

磁性附着体由安置在根桩表面的衔铁结构和固定在义齿基托组织面上的闭路磁体结构组成,两者结合形成磁力以获得固位力。本实验中的磁性附着体为EX600W型,其吸引力 $\geq 4.90\text{ N}$ <sup>[15]</sup>,若水平分力大于4.90 N,衔铁和磁体将相对滑动,以产生水平缓冲。

太极扣为半精密弹性附着体,本实验中选用的白色固位帽的微型太极扣是目前临床应用中最小的附着体,其高度2.0 mm,宽度3.4 mm,加工空间仅需3.0~4.0 mm。其阴性部分为硬质合金铸造,阳性部分只有一种设计结构,但标以不同的颜色,从白、橙色、蓝、灰、黄至红色固位力依次增加,其固位力不同的原因为尼龙质的阳性部件相对于

阴性部件尺寸越来越大,表面积更大,接触更紧密,因此固位力也逐渐增大。但有学者对比研究后发现白色及橙色太极扣在抵抗侧向力方面差异无统计学意义<sup>[11]</sup>。再者,其阴、阳部件精确就位后,两者之间具有0.4 mm的垂直弹性和铰链结构,赋予其垂直缓冲及旋转缓冲能力,使其在行使功能时可先下沉0.4 mm,发挥应力中断作用,避免基牙成为支点,同时使其偏离就位道方向7°范围内仍可正常工作。

球帽附着体的阳性部件呈球形,阴性部件呈帽状,当帽状结构扣入球形结构时,两部件之间以球面接触,通过球面之间轻微的转动,义齿可绕球形结构旋转并轻微摆动,使义齿基托和缺牙区支持组织不同程度接触,此时基牙和缺牙区牙槽嵴共同承担殆力,以缓冲对基牙过大的扭力。

#### 3.2 三种根面附着体不同加载情况下应力分布

附着体的弹性结构赋予了覆盖义齿一定的动度,相同加载状态下缓冲作用不同导致义齿动度及运动方式有所区别。在一定程度上,义齿动度是由义齿基托下支持组织的可让性和各类附着体两部件间的间隙及铰链运动造成的<sup>[16]</sup>。一般情况下,义齿的运动方式主要有前后轴向运动、侧向运动及游离端旋转下沉(可由义齿旋转导致)几种类型,这些运动(特别是义齿游离端旋转下沉)是造成缺牙区支持组织受压的主要原因<sup>[17]</sup>。

弹性附着体式覆盖义齿的主要优势就是通过义齿重新分配殆力,使力不仅局限于加载位置,而是在基牙及义齿基托下支持组织间进行重新分布<sup>[16]</sup>,分布特征依赖于具体附着体的选择<sup>[18]</sup>。由于弹性附着体阴阳性部件间的缓冲结构,造成基牙及义齿在一定程度上运动,可致缺牙区牙槽嵴相对受力较大,除此之外,当附着体存在

垂直缓冲时,可延迟两部件间的轴向接触时间,即基牙相对于基托下支持组织受力较晚,因此基牙仅承担了小部分咬合力,而与义齿接触面积较大的缺牙区黏膜及牙槽嵴承担了大部分殆力<sup>[16]</sup>。

天然牙受力时,牙颈部为应力集中区,因此,本实验中应变片#1~#4、#1'~#4'分别粘接于基牙牙颈部近远中、唇舌侧对应牙槽窝内。应变片#0粘接于牙弓前部中央牙槽嵴顶对应基托组织面,#5、#5'粘接位置相当于双侧第一磨牙牙槽嵴顶处,即覆盖义齿主承托区,此处与人工牙接触面积较大<sup>[4]</sup>。综合11个应变片所记录的应变值,就能够判断义齿受力时,附着体对基牙牙颈部的牙槽骨及缺牙区牙槽嵴受力情况的影响。

载荷作用下,太极扣、球帽附着体和磁性附着体两部件均相对运动以发挥缓冲作用,同时带动其所在基牙或覆盖义齿发生一定程度的相对滑动或旋转。基牙运动方向侧牙槽骨受压,应变片显示压应力,非运动向则受拉力;义齿相应发生滑动或旋转,导致缺牙区牙槽嵴显示拉应力或压应力。

前牙受殆力时,由于太极扣及球帽附着体均具有旋转缓冲能力,故基牙比缺牙区牙槽嵴所受压力小,甚至受拉力,但因太极扣同时具有垂直缓冲力,故比球帽附着体式覆盖义齿下支持组织总体受压力或拉力值小,且相对均匀。由于磁性附着体两部件之间为平面接触,受压时保持接触状态无动度,故其基牙及缺牙区牙槽嵴均受压力,且大于另两种覆盖义齿,此结果与Takeshita等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。

咀嚼时,双侧第一磨牙同时受力为最常见状态。在此种情况下,太极扣及磁性附着体式覆盖义齿缓冲作用相对较好。太极扣式覆盖义齿受殆力时,游离端牙槽嵴首先受力,力沿义齿支架及基托同时向近中侧传递,附着体先于基牙受力,发生旋转缓冲及垂直缓冲,并致义齿以基牙为支点,因义齿刚性支架及基托材质,临近加载部位的基托反而翘起,游离端牙槽嵴呈受拉力状态。磁性附着体相对于球帽附着体式覆盖义齿基牙及缺牙区牙槽嵴受压力较小,此结果与Takeshita等学者<sup>[19]</sup>研究结果相同,可能原因为双侧第一磨牙同时受力时,双侧游离端下沉,磁性附着体的衔铁及磁体分离并发生位移,使义齿发生颊舌向滑动,导致其总体受力较小。

单侧尖牙垂直受力时,殆力主要由加载侧基牙及游离端牙槽嵴承担,非加载侧受力不明显。

因太极扣具有垂直及旋转双重缓冲作用,故该覆盖义齿加载侧基牙及缺牙区牙槽嵴整体受力最小,且近中侧牙槽骨受压力,与Federick等学者<sup>[20]</sup>的发现相同。磁性附着体式覆盖义齿非加载侧受力最小,可能原因为磁性附着体加载侧义齿下沉,非加载侧翘起,两部件间分离。单侧第一磨牙垂直受力时,两侧基牙及缺牙区牙槽嵴均受力,但随距离增大,受压力减小。太极扣式覆盖义齿加载侧受力较均匀,球帽附着体式覆盖义齿牙弓前部受力最小,而磁性附着体式覆盖义齿仍以受压力为主,但加载侧牙槽嵴受压力比另两种覆盖义齿较小。Federick等<sup>[20]</sup>通过单侧加载研究发现,当加载点位置更靠近牙弓后方时,根据附着体的力传递特征,加载侧通过义齿基托传递到缺牙区牙槽嵴上的力增大,而种植体受力相对减小。本实验中,单侧第一磨牙加载时,三种附着体式覆盖义齿加载侧游离端牙槽嵴所受压力均大于尖牙加载时结果,太极扣及球帽附着体式覆盖义齿加载侧基牙受力均减小,与上述结论一致。

单侧第一磨牙斜向加载时,三种附着体式覆盖义齿牙弓前部牙槽嵴受压力均极大,提示临床中应避免此种情况的发生。

虽然由于附着体的缓冲作用,基牙周围牙槽骨所受压力减小,但却不能忽略受力瞬间力矩的影响。刚性附着体基牙受力时会产生力矩作用,导致基牙及其周围牙槽骨不同方向受压力、拉力不均匀,且力可在牙槽骨内传递。弹性附着体基牙受力时,并不可完全避免力矩的产生,仍可发生一定的弯曲力矩<sup>[16, 21]</sup>。因此本实验中,基牙牙颈部唇侧和舌侧,近中侧和远中侧显示压、拉应力不同,与Heckmann等<sup>[21]</sup>的发现一致,即基牙周围牙槽骨瞬时或短时间内不仅受侧向力也受弹性附着体基牙力矩的影响。

### 3.3 临床根面附着体选择

弹性附着体作为基牙与覆盖义齿间的桥梁,在固位的同时也起到重新分布殆力的作用,其力的传递和分布特征对骨保存具有重要影响。选择附着体时应综合考虑多重因素,包括可利用空间、固位程度、应力分布要求、后期维护需要等<sup>[22-23]</sup>。在临床中应根据患者基牙及不同部位牙槽嵴情况选择合适的附着体,表3为根据本实验结果做出的建议。

对于仅余留双侧尖牙的下颌牙列缺损病例,应充分考虑缺牙区软硬组织状况、基牙情况等,选择混合支持式义齿设计,合理选择弹性附着体作

表3 临床根面附着体建议选择

Table 3 Recommendations for clinical choice of root attachment

基牙及缺牙区牙槽骨情况	推荐根面附着体
情况相似均较好	球帽、磁性
情况相似均较差	太极扣
基牙情况较好,牙弓前部牙槽嵴低平、窄小	太极扣
基牙情况较好,游离端牙槽嵴低平、窄小	磁性、太极扣
缺牙区牙槽嵴健康、丰满,基牙条件略差	磁性

为固位体,合理分配基托下软硬组织与余留尖牙所受殆力,保护较弱组织。

牙弓两侧应放置相同类型的弹性附着体,避免因不同缓冲机制,义齿受力时通过附着体传递至两侧基牙的殆力有差异,且基托向其下支持组织的位移不同,导致义齿基托下沉不均匀,对一侧基牙产生过大扭力;应尽量保持两侧附着体的水平位置与殆平面平行;两侧附着体两部件之间的长轴方向应平行,以取得共同就位道,并使其在行使功能时能同时发挥最佳缓冲效果,避免相互牵制。当两侧使用磁性附着体时,各接触平面应与义齿就位方向垂直<sup>[15]</sup>。

不同缓冲机制的根面附着体式覆盖义齿受殆力时均出现滑动或旋转,但基牙牙颈部不同部位牙槽骨、牙弓前部及游离端缺牙区牙槽嵴应力分布明显不同。太极扣式覆盖义齿适应条件相对广泛,其次为磁性附着体式覆盖义齿,临床上应根据具体病例,选择合适的附着体。在义齿设计及具体操作中,作出相应处理,以合理分布殆力,保护剩余组织。

参考文献

[1] 郑真真,周云. 中国老年人的健康行为与口腔健康[J]. 人口研究, 2014, 38(2): 83-91.

[2] 王美青. 口腔解剖生理学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 31-34.

[3] 冯海兰,徐军. 口腔修复学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2012: 260-272.

[4] 巢永烈. 口腔修复学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 350-369.

[5] Sadowsky SJ, Caputo AA. Effect of anchorage systems and extension base contact on load transfer with mandibular implant-retained overdentures[J]. J Prosthet Dent, 2000, 84(3): 327-334.

[6] Chun HJ, Park DN, Han CH, et al. Stress distributions in maxillary bone surrounding overdenture implants with different overdenture attachments[J]. J Oral Rehabil, 2005, 32(3): 193-205.

[7] Şahin S, Çehreli MC, Yalçın E. The influence of functional forces on the biomechanics of implant-supported prostheses--a review[J]. J Dent, 2002, 30(7): 271-282.

[8] Isidor F. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and radiographic study in monkeys[J]. Clin Oral Implants Res, 1996, 7(2): 143-152.

[9] 王惠芸. 我国人牙的测量和统计[J]. 中华口腔科杂志, 1959, 7(3): 149-155.

[10] Krug KP, Otters E, Knaubera W, et al. Influence of proximal contacts and FRC posts on the fracture behavior of premolars with class II composite restorations: An in-vitro study[J]. Dent Mater J, 2013, 32(6): 952-958.

[11] Petropoulos VC, Mante FK. Comparison of retention and strain energies of stud attachments for implant overdentures[J]. J Prosthodont, 2011, 20(4): 286-293.

[12] Meijer HJA, Kuiper JH, Starmans FJM, et al. Stress distribution around dental implants: influence of superstructure, length of implants, and height of mandible[J]. J Prosthet Dent, 1992, 68(1): 96-102.

[13] Mericske-Stern R, Hofmann J, Wedig A, et al. *In vivo* measurements of maximal occlusal force and minimal pressure threshold on overdentures supported by implants or natural roots: a comparative study, Part I[J]. Int J Oral Max Impl, 1992, 8(6): 641-649.

[14] 张富强. 附着体义齿[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2005: 110-111.

[15] 齿科磁性附着体说明书(Magfit)[Z]. 爱知制钢株式会社, 2005.

[16] Daas M, Dubois G, Bonnet AS, et al. A complete finite element model of a mandibular implant-retained overdenture with two implants: comparison between rigid and resilient attachment configurations[J]. Med Eng Phys, 2008, 30(2): 218-225.

[17] Assunção WG, Tabata LF, Barao VAR, et al. Comparison of stress distribution between complete denture and implant-retained overdenture- 2DFEA[J]. J Oral Rehabil, 2008, 35(10): 766-774.

[18] Jemt T, Carlsson L, Boss A, et al. *In vivo* load measurements on osseointegrated implants supporting fixed or removable prostheses: a comparative pilot study[J]. Int J Oral Max Impl, 1990, 6(4): 413-417.

[19] Takeshita S, Kanazawa M, Minakuchi S. Stress analysis of mandibular two-implant overdenture with different attachment systems[J]. Dent Mater J, 2011, 30(6): 928-934.

[20] Federick DR, Caputo AA. Effects of overdenture retention designs and implant orientations on load transfer characteristics[J]. J Prosthet Dent, 1996, 76(6): 624-632.

[21] Heckmann SM, Wichmann MG, Winter W, et al. Overdenture attachment selection and the loading of implant and denture-bearing area. Part 2: A methodical study using five types of attachment[J]. Clin Oral Implants Res, 2001, 12(6): 640-647.

[22] Epstein DD, Epstein PL, Cohen BI, et al. Comparison of the retentive properties of six prefabricated post overdenture attachment systems[J]. J Prosthet Dent, 1999, 82(5): 579-584.

[23] Zitzmann NU, Marinello CP. Treatment plan for restoring the edentulous maxilla with implant-supported restorations: removable overdenture versus fixed partial denture design[J]. J Prosthet Dent, 1999, 82(2): 188-196.

(编辑 张琳,黄元瑾)