DOI:10.16016/j.1000-5404.201609127

单侧游离端附着体义齿的应力中断设计及其力学传导分析

谭力芯[1],熊 宇[1],张从纪[1],杜 甫[2],王 超[3],霍相茹[4],王少君[4],周继祥[1] (400038 重庆,第三军医大学西南医院口腔科[1];610225 成都,金典义齿连锁机构[2];401147 重庆,重庆医科大学附属口腔医院,口腔疾病与生物医学重庆市重点实验室[3];610065 成都,四川大学制造科学与工程学院[4])

[摘要] **目的** 设计具有应力中断结构的单侧游离端附着体义齿,研究其在功能载荷下的应力传导方式。**方法** 选择1例个别正常殆的志愿者,制取其石膏模型并模拟右侧下颌游离端缺失,完成应力中断式附着体义齿的设计和制作。对同一志愿者进行下颌骨牙科锥形束CT扫描,应力中断式附着体义齿进行激光扫描,在计算机中构建三维有限元模型。模拟咬合状态,分析应力中断式附着体义齿的应力传导方式。**结果** 设计并制作了具有应力中断结构的单侧游离端附着体义齿,构建了三维有限元模型。垂直和侧向载荷下,义齿基托区应力由近中连接体传递至基牙后,沿基牙长轴方向传导,基牙应力分布均匀。**结论** 本研究设计的应力中断式附着体义齿在修复单侧游离端缺失时可以有效改变义齿基托传递至基牙的应力方向,实现应力中断效应。

[关键词] 附着体义齿;应力中断;单侧游离端缺失;三维有限元
[中图法分类号] R318.01;R319;R783.6 [文献标志码] A

Design and mechanical transmission analysis of stress conduction mode of an attachment-retained unilateral distal-extension removable partial denture with a stress breaking structure

Tan Lixin[1], Xiong Yu[1], Zhang Congji[1], Du Fu[2], Wang Chao[3], Huo Xiangru[4], Wang Shaojun[4], Zhou Jixiang[1] ([1]Department of Stomatology, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400038; [2]Jindian Denture Chain Group, Chengdu, Sichuan Province, 610225; [3]Chongqing Key Laboratory for Oral Diseases and Biomedical Sciences, Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 401147; [4]School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan Province, 610065, China)

[**Abstract**] **Objective** To design an attachment-retained unilateral distal-extension removable partial denture with a stress-breaking structure and to analyze the stress conduction mode of it under the functional load. **Methods** An attachment-retained removable partial denture with a stress breaking structure was designed on the simulated distal-extension absence with a plaster model from a volunteer's mandibular teeth with individual normal occlusion. After the 3D images of the volunteer's mandible were obtained by cone beam computed tomography (CBCT) scanning, and the stereo images of the fabricated stress-breaking denture were attained by 3D laser scanning. The data were transmitted into a computer to reconstruct digital 3D models for finite element analysis. Stress conduction of the denture under the functional load was analyzed in simulating human occlusion. **Results** An attachment-retained unilateral distal-extension removable partial denture with a stress-breaking structure was designed and fabricated. A digital 3D element model of it was also successfully constructed. Under the functional vertical load and lateral load, the stress borne by the denture base was transmitted to the abutments through the mesial connector, which axially loaded on the abutment teeth, and the distribution of the stress on the abutment teeth was much uniform. **Conclusion** Our designed direct transmission of the stress from the denture base is interrupted by the stress-breaking structure of the attachment-retained denture.

[基金项目] 第三军医大学西南医院临床创新基金(SWH2013LC16)
[通信作者] 周继祥,E-mail:zhoujx6518@sina.com
[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20161108.1447.016.html

[Key words] denture, retained by attachment; stress breaking; unilateral distal-extension absence; three-dimensional finite element

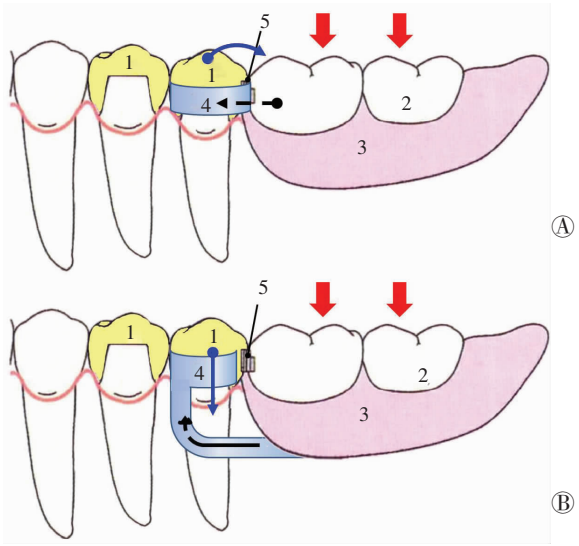
Supported by the Clinical Innovation Fund of Southwest Hospital of Third Military Medical University (SWH2013LC16). Corresponding author: Zhou Jixiang, E-mail: zhoujx6518@sina.com

弹性附着体义齿是一种高效的可摘局部义齿修复形式[1],在修复远中游离端缺失时可以显著减少基牙受到的不良扭转力[2]。然而,由于弹性附着体的缓冲作用,基牙承受的咬𬌗力向远中基托转移导致基托下方黏膜组织负担增加[3-4],严重时可以加重缺牙区牙槽嵴萎缩,并使基牙承受的非轴向扭力渐进性增加[5]。为克服上述不足,本研究设计并制作了一种新型附着体义齿,通过应力中断作用将基托承受的咬𬌗力传递至基牙近中并沿基牙长轴传导。为证实其应力传导方式的有效性,本研究构建了应力中断式义齿的三维有限元模型,初步分析功能载荷下的应力分布,并为其临床应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 应力中断式附着体义齿的设计

应用于单侧游离端缺失的应力中断式附着体义齿和传统弹性附着体义齿均由基牙、弹性冠外附着体(easy resilient attachment, ERA)、舌侧固位臂及近中连接体、人工牙和基托等部件构成(图1)。



1:基牙及冠修复体;2:人工牙;3:基托;4:舌侧固位臂及近中连接体;5:太极扣弹性附着体;➡示基托承担的咬合力;⇢示应力传递方向;⟶示基牙受力方向

A:传统弹性附着体义齿基托受力后沿舌侧辅助固位臂横向传递至基牙,基牙承受远中的扭转力;B:应力中断式附着体义齿基托受力后沿舌侧连接体传递至基牙,基牙承受沿长轴方向的力

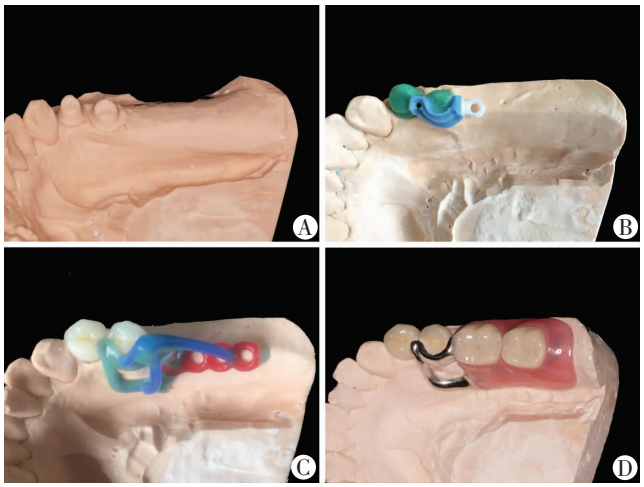
图1 两种附着体义齿的结构示意图及其应力传递(舌面观)

传统弹性附着体采用双基牙支持,基牙舌侧放置舌侧对抗臂以抵抗冠外附着体在侧向力作用下的旋转与摆动(图1A);与传统弹性附着体设计不同,为实现应力中断效应,应力中断式附着体的舌侧对抗臂与人工牙及基托采用分裂基托设计,与基托通过近中连接体连接(图1B)。

1.2 应力中断式附着体义齿的制作

男性志愿者1名,26岁,口内为个别正常𬌗,上下牙列完整,咬合关系良好,前牙覆𬌗覆盖正常,无明显牙周疾病及牙槽骨吸收,无颞下颌关节疾患。制取该志愿者全口牙列印模并灌注模型。在人造石模型上平齐牙颈缘磨除右下颌第一、二磨牙,修整剩余牙槽嵴及黏膜形态,以模拟右侧下颌远中游离端缺失患者的口内情况。

按附着体义齿基牙要求在人造石模型上预备右下颌第一、二前磨牙,制作基牙代型。制作附着体基底冠蜡型,在研磨仪工作台上于右下颌第二前磨牙蜡型研磨辅助固位壁与栓道,平行转移杆放置附着体阴性部件(ERA-RV, Sterngold公司,美国)。常规完成修复体支架蜡型,制作舌侧辅助固位臂及近中连接体,包埋铸造。喷砂、研磨抛光后在修复体基托放置附着体阳性结构,完成应力中断式附着体义齿制作(图2),修复体支架采用钴铬钼合金制作(Vitallium 2000 plus,登士柏公司,美国)。



A:模拟的右下游离端缺失模型及附着体基牙预备;B:基底冠蜡型制作及附着体放置;C:附着体义齿活动部分支架蜡型的制作;D:完成的附着体义齿

图2 应力中断式附着体义齿的技工室制作流程和步骤

1.3　应力中断式附着体义齿的三维有限元模型构建

1.3.1　采集牙颌数据　　同一志愿者用 CBCT(KaVo 3D eXam i,卡瓦公司,德国)扫描上下颌牙列及牙槽骨形态。志愿者取坐位,固定头部,口内戴用厚度为 2 mm 自制咬合蜡板,确定咬合平面使之尽可能与牙齿长轴垂直。CBCT 校准后进行颌面容积扫描,扫描范围上至上颌牙根,下至颏部下缘,进行连续无间隔扫描。扫描参数:电压 120 kV,电流 37.07 mA,层距、层厚 0.2 mm。共获取 400 幅图,以 DICOM 格式输出并保存。

1.3.2　建立牙颌曲面模型　　将 DICOM 格式数据导入 Mimics 15.0 软件(Materialise 公司,比利时)进行下颌骨及牙列的三维重建,逆向工程软件 Geomagic Studio 12(Raindrop 公司,美国)对模型进行删除、修补、光滑等细化处理,得到下颌骨和牙列的曲面模型。

1.3.3　建立修复体曲面模型　　齿科高精度的三维激光扫描仪(AutoScan-DS100,先临三维公司,中国)分段扫描弹性冠外附着体的阳极和阴极部件,导入数据至 Geomagic Studio,细化处理后得到修复体的曲面模型。

1.3.4　建立三维实体模型　　在 UG NX 10.0(Siemens PLM Software 公司,美国)中合并牙颌曲面模型及修复体曲面模型,布尔运算后获得松质骨、皮质骨、黏膜、牙周膜、基牙、烤瓷冠及附着体阴极结构、活动义齿及附着体阳极结构等各部分的三维实体模型。

1.3.5　网格划分和力学参数赋予　　在 Ansys 13.0(Ansys 公司,美国)软件中导入实体模型数据,网格划分;赋予各组织和材料相关的力学属性[2,6-9](表 1),各材料均假设为各向同性、均质的线弹性材料。

表 1　相关材料的力学参数

材料	弹性模量(MPa)	泊松比
牙本质	18 600	0.31
牙周膜	0.689	0.45
皮质骨	13 700	0.30
松质骨	1 370	0.30
黏膜	1.0	0.45
钴铬钼合金	210 000	0.30
尼龙	2 400	0.39
基托	4 500	0.35

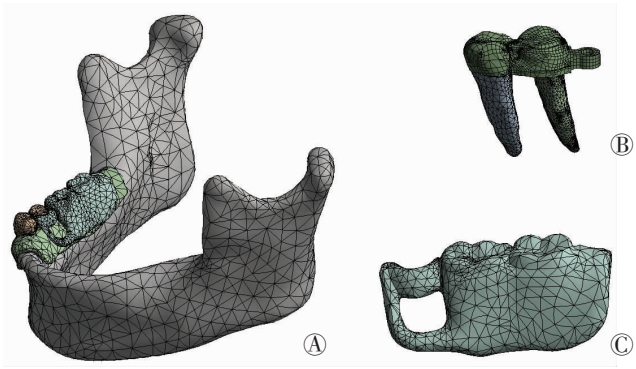
1.4　边界约束及应力传导分析

弹性冠外附着体阳性部件和阴性部件间的缓冲间隙设置为 0.4 mm,摩擦系数为 0.3;基托组织面和牙槽嵴黏膜摩擦系数为 0.1[6];约束牙槽骨底部边缘,其位移设定为 0。本研究采用静力面加载的方法,施加恒定载荷量 100 N 于第一、二磨牙(人工牙)的咬𬌗功能接触面,即颊尖斜面,加载方向与牙长轴呈 45°角,方向分别为垂直向、颊舌向和近远中向。观察各组成部分的应力分布及相对大小。

2　结果

2.1　应力中断式附着体义齿三维有限元模型

制作了标准尺寸下应力中断式附着体义齿,包括基牙、弹性冠外附着体、舌侧固位臂及近中连接体、人工牙和基托等部分。以此为基础结合 CBCT、三维激光扫描和逆向工程技术成功建立了该附着体义齿修复单侧游离端缺失的三维有限元模型,共得到 42 880 个单元,81 039 个节点(图 3)。

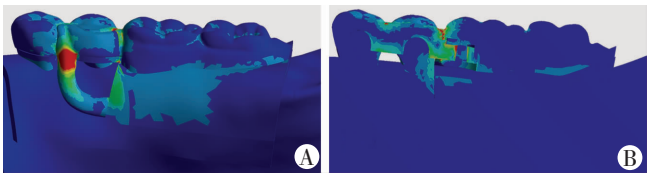


A:整体三维有限元模型;B:基牙、烤瓷冠和附着体阴极;C:舌侧固位臂及近中连接体、人工牙和基托

图 3　应力中断式附着体义齿三维有限元模型

2.2　应力中断式附着体义齿垂直向载荷下的应力传导

对应力中断式附着体义齿的有限元模型加载垂直向载荷后进行分析,得到应力分布云图(图 4)。在基牙及附着体义齿舌侧,应力主要在近中连接体处最为集中;自近远中剖面观察,义齿游离端基托下方应力分布较少,基牙应力分布均匀。

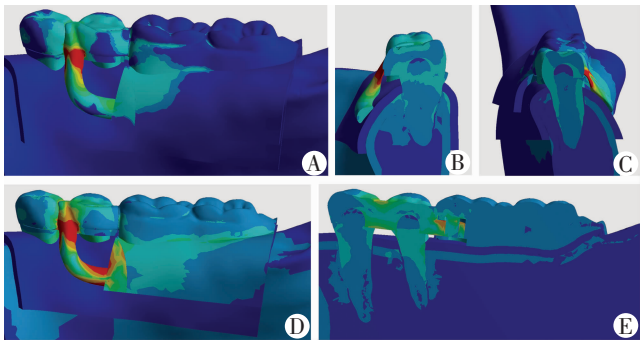


A:舌侧观;B:近远中剖面舌侧观

图 4　应力中断式附着体义齿垂直向载荷下应力分布云图

2.3 应力中断式附着体义齿侧向载荷下的应力传导

对应力中断式附着体义齿的有限元模型加载颊舌向载荷和近远中向载荷后分别进行分析,得到应力分布云图(图5)。侧向载荷下附着体义齿的应力分布与垂直向载荷时一致,近中连接体为主要应力分布区;从剖面图可以看出,基牙整体应力分布均匀,受到侧向扭力较小。



A:颊舌向载荷下舌侧观;B:颊舌向载荷下远中基牙颊舌剖面远中观;C:颊舌向载荷下近中基牙颊舌剖面近中观;D:近远中向载荷下舌侧观;E:近远中向载荷下近远中剖面舌侧观

图5 应力中断式附着体义齿侧向载荷下应力分布云图

3 讨论

应力中断通过优化设计以调整修复体𬌗力传导方式从而减小末端基牙受到的扭力,促进基牙和缺牙区牙槽嵴健康的重要方式。目前临床常用的应力中断有回力卡环[5]与分裂基托[10]等设计形式。本研究中,通过中断舌侧辅助固位臂和远中基托的连接处来设计分裂基托,并结合近中连接体设计和制作了一种应力中断式附着体义齿,以期改变功能负荷中传统修复体承受𬌗力的应力传递途径,引导𬌗力沿基牙长轴传导,以减少传统弹性附着体义齿修复时基牙承担的不利转矩,增加义齿稳定性,同时减小缺牙区牙槽嵴的负荷,维护和促进基牙及缺牙区牙槽嵴组织的健康。

为进一步分析应力中断式附着体义齿在功能负荷下的应力传导方式,本研究构建了标准尺寸下的应力中断式附着体义齿的三维有限元模型。附着体是建模结构中最复杂的一部分,不同于传统的软件绘制附着体几何模型的建模方式[11]。本研究结合CBCT、三维激光扫描及逆向工程技术,通过对修复体的基牙和牙槽嵴黏膜、附着体阳性部件和阴性部件及分裂基托义齿进行分段扫描,采集高精度和完整性数据建立缺牙区和附着体的数字化模型,充分保证了三维有限元模型的精确性和几何相似性,具有各部分结构完整、提取方便等优点,利于单独和组合后的三维有限元力学分析和观察。

应力载荷分析表明:本研究中应力中断设计可以较好地阻断功能性载荷下𬌗力由远中义齿基托向基牙的直接传导,改变了传统弹性附着体义齿的应力传递方式,理论上减少了基牙的扭力。缺牙区人工牙承担的𬌗力除由缺牙区牙槽嵴黏膜承担外,更多的𬌗力可以通过近中连接体传递至基牙并沿长轴方向传导,同时减轻缺牙区牙槽嵴的负担。由于近中基牙的存在和双基牙的联合支持,避免了不利转矩作用于基牙所产生的侧向扭力,尤其是在侧向加载时更加显著,这有助于维护和促进基牙的健康。

本研究中附着体义齿的基托支架采用具有高弹性极限的高性能齿科铸造合金Vitallium 2000 plus制作。该合金为高钴铬钼合金,其中钴约占60%,铬占28%~32%,钼占5%~7%,锰低于0.75%,硅低于0.6%。与传统钴铬合金比较,高钴铬钼合金具有更高的延展系数和维氏硬度,临床上使用时支架变形较小,适用于复杂牙列缺损的分裂基托设计[12]。本研究观察到,近中连接体是缺牙区基托向基牙传递应力的主要途径,因此,近中连接体与舌侧固位臂联结处应力最为集中,采用高钴铬钼合金有助于减少应力中断式附着体义齿基托折断的可能性。

本研究设计的应力中断式附着体义齿可以有效地改变功能载荷下单侧游离端义齿基托向基牙传递的应力方向,实现应力中断效应,从应力传导方式的角度为改善常规弹性附着体义齿的应力分布奠定了基础。但在不同载荷条件下,应力中断式附着体义齿与常规弹性附着体义齿在各部分结构的应力分布差异仍有待于进一步研究。

参考文献:

[1] Chikunov I, Doan P, Vahidi F. Implant-retained partial overdenture with resilient attachments[J]. J Prosthodont, 2008, 17(2): 141-148. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2007.00261.x

[2] Wang H Y, Zhang Y M, Yao D, *et al*. Effects of rigid and nonrigid extracoronal attachments on supporting tissues in extension base partial removable dental prostheses: a nonlinear finite element study[J]. J Prosthet Dent, 2011, 105(5): 338-346. DOI: 10.1016/S0022-3913(11)60066-8

[3] Heckmann S M, Winter W, Meyer M, *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.

[4] Costa M M, da Silva M A, Oliveira S A, *et al*. Photoelastic study of the support structures of distal-extension removable partial dentures[J]. J Prosthodont, 2009, 18(7): 589 – 595. DOI: 10.1111/j.1532-849X.2009.00492.x

[5] Aoda K, Shimamura I, Tahara Y, *et al*. Retainer design for unilateral extension base partial removable dental prosthesis by three-dimensional finite element analysis [J]. J Prosthodont Res, 2010, 54(2): 84 – 91. DOI: 10.1016/j.jpor.2009.11.005

[6] Ebadian B, Mosharraf R, Khodaeian N. Effect of cantilever length on stress distribution around implants in mandibular overdentures supported by two and three implants[J]. Eur J Dent, 2016, 10(3): 333 – 340. DOI: 10.4103/1305-7456.184152

[7] Ś epanović M, Tihacek-Šojić L, Tasić M, *et al*. Finite element analysis in defining the optimal shape and safety factor of retentive clasp arms of a removable partial denture [J]. Vojnosanit Pregl, 2013, 70(11): 999 – 1005.

[8] Zarrati S, Bahrami M, Heidari F, *et al*. Three Dimensional Finite Element Analysis of Distal Abutment Stresses of Removable Partial Dentures with Different Retainer Designs [J]. J Dent (Tehran), 2015, 12(6): 389 – 397.

[9] Wang Y, Shi L L, Duan D L, *et al*. Tribological properties of Zr61Ti2Cu25Al12 bulk metallic glass under simulated physiological conditions[J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2014, 37: 292 – 304. DOI: 10.1016/j.msec.2014.01.016

[10] 李国强, 朱静, 戴文安. Vitallium2000plus 铸造支架分裂基托设计对基牙和缺牙区粘膜受力影响的三维有限元分析[J]. 中国美容医学, 2012, 21(6): 988 – 990.

[11] Kanbara R, Nakamura Y, Ochiai K T, *et al*. Three-dimensional finite element stress analysis: the technique and methodology of non-linear property simulation and soft tissue loading behavior for different partial denture designs[J]. Dent Mater J, 2012, 31(2): 297 – 308.

[12] Henriques B, Soares D, Silva F S. Microstructure, hardness, corrosion resistance and porcelain shear bond strength comparison between cast and hot pressed CoCrMo alloy for metal-ceramic dental restorations[J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2012, 12: 83 – 92. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2012.03.015

(**收稿**:2016-09-20;**修回**:2016-10-09)

(编辑 张 维)