

[文章编号] 1000-1182(2008)04-0387-04

组合式可摘局部义齿支持组织的应力分布

魏 敏, 王 敏, 林映荷, 罗 云

(四川大学华西口腔医院 修复科, 四川 成都 610041)

[摘要] 目的 应用三维有限元的方法, 分析在不同方向载荷下组合式可摘局部义齿基牙及其支持组织的应力变化, 从生物力学的角度为其在临床应用奠定理论基础。方法 CT扫描1例双侧上颌第二前磨牙和第一磨牙缺失, 基牙均为Ⅱ度松动的患者, 建立组合式可摘局部义齿的三维有限元模型。通过在人工牙施加不同方向载荷来分析基牙及其支持组织的应力变化。结果 不同方向载荷下, 基牙牙周膜在应力分布中变化不大, 无统计学差异($P>0.05$), 对基牙牙槽骨并没有产生明显的拉伸或压缩的作用; 而基托下支持组织承受了大部分载荷, 并且随着载荷的变化应力分布有明显差异。结论 从生物力学角度证明组合式可摘局部义齿在行使功能时, 利用上下两层支架的特殊设计可以分别承担义齿的固位和承力两大功能, 既保护了基牙的健康, 又达到良好的修复效果, 对牙周病伴牙列缺损的病例是一种理想的修复设计方案。

[关键词] 组合式可摘局部义齿; 三维有限元; 应力

[中图分类号] R783.5 **[文献标识码]** A

Stress distribution on periodontium of separated removable partial denture assembly WEI Min, WANG Min, LIN Ying-he, LUO Yun. (Dept. of Prosthodontics, West China College of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

[Abstract] Objective The objects of the present study were to construct a computer model and to evaluate the load and stress of denture by means of three dimensional finite element analysis in order to provide evidence for clinic application. Methods The study utilized CT to scan the maxilla of a healthy man to receive the primal data, and then used Materialise Mimics 9.1 to establish a series of two-definite images artificially and automatically. The three dimensional finite element model of partial maxilla, including teeth, bone and softy tissue, could be constructed in Pro/Engineer WF 2.0 software by using related commands. The separated removable partial denture assembly was finally set up according to the denture design in Pro/Engineer WF 2.0. After converting data into Ansys Workbench 9.0, the command of meshing was fulfilled. Applying different loads on artificial teeth, the data about the stress on the periodontium, abutment and supporting tissue were obtained. Results Statistical comparisons showed that the stresses of periodontal membranes had no significant differences, but the periodontium under saddle changed greatly under different loads. Conclusion This study shows that the separated removable partial denture assembly can undertake the retention and load respectively due to special design. It is the two layers of bases that can protect the healthy of abutments. This design may be applicable for the restoration of the tooth with poor periodontium around abutments.

[Key words] separated removable partial denture assembly; three dimensional finite element; stress

牙周病伴牙列缺损是临床常见的复杂病症, 传统可摘局部义齿修复效果往往不理想, 有时会加速牙槽嵴吸收, 甚至引起基牙脱落导致修复失败。组合式可摘局部义齿是一种特殊设计的可摘义齿, 由双层基托组成。底层基托与口腔牙槽嵴、黏膜紧密接触, 附有人工牙, 起着义齿的承力作用。上层基

托设计有各种类型的卡环, 与各基牙直接接触, 起固位、卡抱作用, 维持义齿的稳定。上下两层基托靠凹槽相嵌连接, 为了就位方便, 凹槽两侧内壁之间向殆方敞开约 2° ~ 5° 。该义齿在行使功能时, 通过下层基托的轻微下沉起到应力分离作用, 从而使上下层基托分别承担义齿的承力和固位功能, 能较好地保护基牙健康, 特别是牙周条件差、有Ⅱ~Ⅲ度松动的基牙。本研究采用三维有限元法对组合式可摘局部义齿支持组织进行应力分析, 从口腔生物力学的角度为其临床推广奠定一定的理论基础。

[收稿日期] 2008-03-11; [修回日期] 2008-06-23

[基金项目] 四川省应用研究计划基金资助项目(05JY029-023-2)

[作者简介] 魏 敏(1977-), 女, 甘肃人, 主治医师, 博士

[通讯作者] 王 敏, Tel: 028-85501486

1 材料和方法

1.1 模型建立

选择1例 65 56缺失,前后基牙均为 度松动,牙槽骨吸收 度,已作过牙周治疗,且身体健康的成年患者作志愿者。用Siemens Sensation 16型螺旋CT(Siemens公司,德国,参数为120 kV、100 mA)对志愿者的头部进行横断超薄扫描,取得原始数据。使用CT数据重建模拟软件Materialise Mimics 9.1读取扫描数据并进行分析和模拟,通过修改得到比较接近实际形状的不同组织的二维图像。在Pro/Engineer WF 2.0中读取各组织在每一层上的轮廓曲线及坐标,生成部分上颌骨实体模型线框图。通过一系列相关命令建立组合式可摘局部义齿的实体模型。在Ansys Workbench 9.0软件界面内,对实体模型进行网格划分,成为可用于计算分析的三维有限元模型(图1~4)。划分完成后的组合式可摘局部义齿模型共有节点85 421个,组成43 890个单元,均为四面体单元。



图 1 组合式可摘局部义齿上层支架
Fig 1 Upper layer of separated removable partial denture assembly

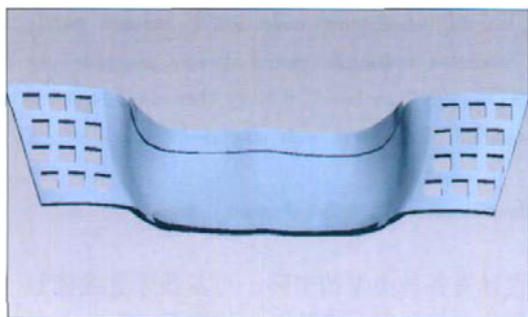


图 2 组合式可摘局部义齿下层支架
Fig 2 Lower layer of separated removable partial denture assembly

1.2 参数以及实验假设

本研究采用的牙周膜弹性模量为68.9 MPa,泊松比为0.45^[1-2];黏膜弹性模量为3.0 MPa,泊松比为0.45^[3]。假设模型和组织材料为连续、均质和各向同性的线弹性材料^[4],受力时模型各截面均不产生相互滑动,各单元之间既不相互重叠,也无裂隙存在。本研究的重点区域是基牙牙周组织及鞍基下支

持组织,故只对上颌骨腭顶处进行约束固定。

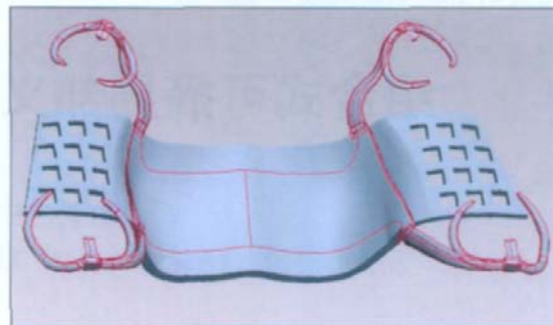


图 3 组合式可摘局部义齿上下支架嵌合
Fig 3 Fixture of separated removable partial denture assembly

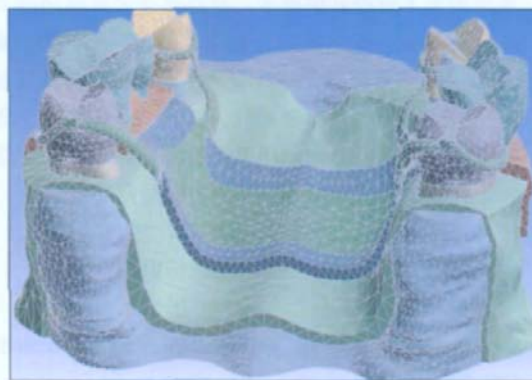


图 4 网格划分后的组合式可摘局部义齿
Fig 4 Separated removable partial denture assembly model after meshing

分别在模型义齿人工牙殆面加载3种方向的载荷^[5]。1)垂直载荷:加载于组合式可摘局部义齿人工牙,其中上颌第二前磨牙为180 N,上颌第一磨牙为240 N,加载方向均为垂直方向,与牙体长轴平行;2)斜向载荷:加载于义齿人工牙,其中上颌第二前磨牙为90 N,上颌第一磨牙为120 N,加载方向均为斜向且与牙体长轴呈30°,由A区向B区单向加载;3)水平载荷:加载于义齿人工牙,其中上颌第二前磨牙为51.3 N,上颌第一磨牙为68.4 N,加载方向均为水平方向,由A区向B区单向加载。

1.3 应力分析方法

本实验主要分析基牙以及鞍基下软硬支持组织的应力分布,所以根据材料力学复杂应力状态下材料的强度理论,分别采用第一和第四强度理论来分析它们的应力分布。第一强度理论即最大拉应力理论,适用于分析不同方向载荷下基牙和鞍基下牙槽骨Von mises应力分布;第四强度理论即形状改变能密度理论,适用于分析不同方向载荷下基牙牙周膜、鞍基下黏膜Von mises应力分布^[6]。

应用第一强度理论分析时,在构件内任一点可以取1个,而且一定能取出1个特殊的单元体,其3个相互垂直的面上都无切应力,这种切应力等于0的截面称为主平面。主平面上的法应力称为主应

力。这种特殊的单元体称为主单元体。主单元体上的3个主应力按代数值大小排列为： σ_1 σ_2 σ_3 ，当3个主应力中有2个都不等于0的情况下可以称该点的应力状态为二向应力状态或平面应力状态。对于法应力，规定拉伸为正，压缩为负。

1.4 统计学分析

采用SPSS 13.0统计软件对三维有限元加载后的模型选点取值得到的结果数据进行双因素方差分析。应用Student- Newman- Keuls法对每2组间均数进行比较。由于各组之间方差均小于3，所以不作方差齐性检验。

2 结果

2.1 不同方向载荷下基牙牙周膜、鞍基下黏膜Von mises应力分布

3种方向载荷下基牙牙周膜Von mises应力分布见表1~3。经双因素方差分析，结果显示左侧第一前磨牙和第二磨牙2个基牙的根颈部在不同方向载荷下应力值的差异无统计学意义($P>0.05$)，根中、根尖部在3种方向载荷下的应力值的差异也无统计学意义($P>0.05$)；右侧两个基牙的根颈、根中、根尖部在不同方向载荷下的应力值的差异也无统计学意义($P>0.05$)。

表 1 垂直加载下基牙牙周膜的Von mises应力分布 ($\times 10^{-2}$ MPa)

Tab 1 Von mises stress distributions of the periodontal membranes of abutments while enduring the vertical load\$ $\times 10^{-2}$ MPa)

部位	牙位	第一前磨牙				第二磨牙			
		近中	远中	颊侧	舌侧	近中	远中	颊侧	舌侧
根颈	左侧	5.030	5.992	7.201*	5.013	4.784	3.957	3.143	3.524
	右侧	5.145	5.794	6.954*	5.254	4.633	3.896	3.473	3.645
根中	左侧	3.538	5.761	5.845	5.032	3.058	3.153	3.271	2.707
	右侧	3.415	5.565	5.914	4.947	3.138	3.074	3.841	2.403 [#]
根尖	左侧	4.520	3.611	3.929	4.541	3.883	3.169	3.726	2.581 [#]
	右侧	4.813	3.901	3.814	4.350	4.015	3.210	3.513	2.467

注：*同侧最大值，[#]同侧最小值

表 4 不同方向载荷下鞍基下黏膜的Von mises应力分布 (MPa)

Tab 4 Von mises stress distributions of the edentulous mucosa area while enduring the oblique, horizontal or vertical load\$ MPa)

方向	部位	第二前磨牙					第一磨牙				
		近中	中央	远中	颊侧	舌侧	近中	中央	远中	颊侧	舌侧
垂直载荷	左侧	0.374	0.516	0.403	0.476	0.258	0.357	0.538	0.291	0.346	0.416
	右侧	0.317	0.583	0.397	0.433	0.255	0.364	0.531	0.325	0.395	0.370
斜向载荷	左侧	0.182	0.504	0.407	0.286	0.129	0.403	0.462	0.313	0.520	0.134
	右侧	0.042	0.045	0.035	0.068	0.031	0.040	0.038	0.079	0.058	0.030
水平载荷	左侧	0.303	0.438	0.445	0.570	0.202	0.409	0.531	0.470	0.664	0.316
	右侧	0.141	0.259	0.320	0.422	0.120	0.351	0.326	0.320	0.367	0.217

表 2 斜向加载下基牙牙周膜的Von mises应力分布 ($\times 10^{-2}$ MPa)

Tab 2 Von mises stress distributions of the periodontal membranes of abutments while enduring the oblique load\$ $\times 10^{-2}$ MPa)

部位	牙位	第一前磨牙				第二磨牙			
		近中	远中	颊侧	舌侧	近中	远中	颊侧	舌侧
根颈	左侧	5.647	4.955	7.371*	6.288	4.256	3.447	4.809	3.434
	右侧	5.321	4.536	5.935*	5.654	4.365	3.678	4.614	4.013
根中	左侧	3.486	3.501	5.862	4.909	3.039	3.230	2.367 [#]	3.018
	右侧	3.191	3.064	4.638	4.763	3.033	3.654	2.013 [#]	3.335
根尖	左侧	4.653	3.780	4.585	3.995	3.154	3.251	3.872	3.168
	右侧	4.864	3.385	4.136	4.126	3.015	3.743	3.156	3.493

注：*同侧最大值，[#]同侧最小值

表 3 水平载荷下基牙牙周膜的Von mises应力分布 ($\times 10^{-2}$ MPa)

Tab 3 Von mises stress distributions of the periodontal membranes of abutments while enduring the horizontal load\$ $\times 10^{-2}$ MPa)

部位	牙位	第一前磨牙				第二磨牙			
		近中	远中	颊侧	舌侧	近中	远中	颊侧	舌侧
根颈	左侧	5.918	4.669	6.359	6.463*	4.148	3.158	3.082	3.578
	右侧	4.968	4.139	6.758*	5.139	3.983	3.432	3.489	3.497
根中	左侧	3.980	3.011	6.103	4.234	3.883	2.169 [#]	2.726	3.181
	右侧	4.161	3.112	6.359	4.691	3.416	2.346 [#]	2.631	3.126
根尖	左侧	4.520	3.611	3.929	4.541	3.883	3.169	3.726	2.581
	右侧	4.069	3.923	3.652	3.129	3.764	3.643	3.765	2.961

注：*同侧最大值，[#]同侧最小值

不同方向载荷下鞍基下黏膜的Von mises应力分布见表4。由表4可见，不同方向载荷下两侧鞍基下黏膜应力分布在0.03~0.70 MPa内；垂直向两侧应力分布较均匀，数值为0.2~0.6 MPa，而非垂直载荷变化明显，斜向载荷两侧应力分布为0.03~0.60 MPa，水平载荷下两侧应力分布为0.1~0.8 MPa。基牙牙周膜应力分布范围基本一致，为0.02~0.08 MPa；在不同方向载荷下，两侧最大Von mises应力值多分布在第一前磨牙颈部颊侧，两侧最小Von mises应力值多分布在第二磨牙的根中部(表1~3)。

2.2 不同方向载荷下基牙和鞍基下牙槽骨应力分布
不同方向载荷下左侧基牙和鞍基下牙槽骨应力分布见表5、6。由表5、6可见，两种应力在基牙牙槽骨分布的范围大致一致，最大拉应力分布在0.01~

0.70 MPa，最大压应力分布在- 0.01~ 0.90 MPa；鞍基下牙槽骨最大拉应力分布在1~10 MPa，最大压应力分布在- 0.8~ 15.0 MPa。

表 5 左侧基牙牙槽骨应力分布 (MPa)
Tab 5 Stress distributions of alveolar bone around the left abutment (MPa)

应力	牙位	垂直载荷		斜向载荷		水平载荷	
		数值	部位	数值	部位	数值	部位
1max	第一前磨牙	0.685	颈部偏舌	0.468	根中偏颊	0.128	颈部偏舌
	第二磨牙	0.445	颈部偏舌	0.232	间隔偏颊	0.124	颈部偏颊
1min	第一前磨牙	0.054	根尖偏舌	0.015	根尖偏舌	0.035	根中偏舌
	第二磨牙	0.039	根尖偏舌	0.013	根尖偏远中	0.023	根中偏颊
3max	第一前磨牙	- 0.859	根尖偏颊	- 0.469	根尖偏颊	- 0.268	根中偏颊
	第二磨牙	- 0.553	根尖偏颊	- 0.396	根尖偏颊	- 0.183	根尖偏颊
3min	第一前磨牙	- 0.075	颈部偏近中	- 0.015	颈部偏舌	- 0.020	颈部偏舌
	第二磨牙	- 0.030	颈部偏舌	- 0.015	间隔近中	- 0.028	颈部偏颊

表 6 左侧鞍基下牙槽骨应力分布 (MPa)
Tab 6 Stress distributions of alveolar bone around the edentulous area (MPa)

应力	垂直载荷		斜向载荷		水平载荷	
	数值	部位	数值	部位	数值	部位
1max	6.556	第一磨牙颊	9.644	第一磨牙远中	6.028	第一磨牙远中
1min	1.355	第二前磨牙舌	1.422	第二前磨牙舌	2.837	第二前磨牙中央
3max	- 14.215	第二前磨牙舌	- 12.559	第二前磨牙舌	- 9.168	第二前磨牙舌
3min	- 1.552	第二前磨牙颊	- 1.847	第二前磨牙颊	- 0.838	第二前磨牙颊

3 讨论

3.1 基牙及其鞍基下软硬支持组织应力分析比较
3.1.1 软组织应力分析比较 垂直载荷下鞍基下黏膜两侧相应部位应力分布较均匀，但斜向载荷左侧是右侧相应部位应力值的4~11倍，水平载荷左侧是右侧相应部位应力值的1~2倍。造成这种现象的原因在于，本实验水平和斜向载荷的实施是由右向左单向加载，左侧除了受到本身的侧向载荷外，还要承担一部分来自通过支架传递的右侧载荷，所以在非垂直向载荷下两侧相应部位的应力数值差别较大；但是两侧基牙在不同方向载荷下分布基本一致，不同载荷下最大Von mises值和最小Von mises值相差很小。缺牙区黏膜的Von mises应力值远远高于基牙牙周膜的应力值，而基牙在不同方向载荷下相同部位的应力分布无统计学差异(P>0.05)。
3.1.2 硬组织应力分析比较 基牙牙槽骨所承受的最大拉应力值和最大压应力值约为鞍基下牙槽骨的7%和6%。基牙牙槽骨在不同方向载荷下最大拉应

力 1max和最大压应力 3max总体分布趋势基本一致；1max大多分布在牙槽嵴顶处，3max大多分布在根尖区域内，而且它们的绝对值相差不大。
3.2 组合式可摘局部义齿的设计特点及应用
组合式可摘局部义齿是将支架分部设计和制作，上下两层支架通过凹槽相互嵌合。凹槽内壁向殆方有2°~5°的敞开。本实验设计的上下支架嵌合处被包围在支架的左右和前后侧，互相有制锁作用，正是这个制锁产生的约束提供了固位。当下层支架轻微下沉时，上下层支架会产生相对位移。已有资料表明基托下软组织压缩量为0.3~0.7 mm^[7]，所以它们之间的相对位移最大不会超过0.7 mm，只有当相对位移超过上层支架的厚度时，二者才会发生分离。本实验设计的上下层支架总厚度为1.5~2.0 mm，上层厚度为1.0~1.5 mm，支架厚度保证了在受力时不会脱离相互锁结关系；由于凹槽内壁有2°~5°的敞开，所以上层支架在下层支架下沉时会与凹槽内壁有一

($P<0.05$), 说明这样的错误方式很难通过儿童自身的学习调整至正确发音, 需要加强这部分患儿的训练。

[参考文献]

- [1] Hua Z, Dodd B. The phonological acquisition of Putonghua (modern standard Chinese)[J]. J Child Lang, 2000, 27(1): 3-42.
- [2] Gierut JA. Treatment efficacy: Functional phonological disorders in children[J]. J Speech Lang Hear Res, 1998, 41(1): S85-S100.
- [3] 赵亚茹, 郝春燕. 对2316名小学生言语障碍的调查[J]. 中国公共卫生, 1997, 13(2): 104.
ZHAO Ya-ru, XI Chun-yan. Survey of speech disorders among 2316 primary school students[J]. Chin J Public Health, 1997, 13(2): 104.
- [4] 赵亚茹, 刘悦. 儿童功能性构音障碍的矫治及影响因素分析[J]. 中国实用儿科杂志, 1999, 14(6): 345-346.
ZHAO Ya-ru, LIU Yue. Analysis of therapeutic effect and related factors in children's functional dysarthria[J]. Chin J Practical Pediatrics, 1999, 14(6): 345-346.
- [5] 张晓彦, 王翠萍. 语言病理学[J]. 听力学及言语疾病杂志, 1995, 3(1): 46-48.
ZHANG Xiao-yan, WANG Cui-ping. Speech-language pathology[J]. J Audiology Speech Pathology, 1995, 3(1): 46-48.
- [6] Lahey M. Linguistic and cultural diversity: Further problems for

determining who shall be called language disordered[J]. J Speech Hear Res, 1992, 35(3): 638-639.

- [7] 李巍, 祝华, Barabara Dodd, 等. 说普通话儿童的语音习得[J]. 心理学报, 2000, 32(2): 170-176.
LI Wei, ZHU Hua, Barabara Dodd, et al. Phonological acquisition of Putonghua-speaking children[J]. Acta Psychologica Sinica, 2000, 32(2): 170-176.
- [8] 王国民, 费斐, 蒋莉萍, 等. 异常语音的临床分类和治疗[J]. 华西口腔医学杂志, 2002, 20(2): 112-114.
WANG Guo-min, FEI Fei, JIANG Li-ping, et al. Clinical classification and therapy of articulation disorders[J]. West China J Stomatol, 2002, 20(2): 112-114.
- [9] 赵云静, 孙洪伟, 赵亚茹. 功能性构音障碍儿童构音特点分析及言语矫治[J]. 中国康复, 2006, 21(2): 93-95.
ZHAO Yun-jing, SUN Hong-wei, ZHAO Ya-ru. Analysis of articulation errors and speech therapy in children with functional articulation disorders[J]. Chin J Rehabilitation, 2006, 21(2): 93-95.
- [10] 毛世桢, 马红英. 构音障碍儿童的辅音声母偏误分析[J]. 中国特殊教育, 2005, 63(9): 40-44.
MAO Shi-zhen, MA Hong-ying. The analysis of consonant errors in children with articulation disorder[J]. Chin J Special Education, 2005, 63(9): 40-44.

(本文编辑 吴爱华)

(上接第390页)

定的水平距离, 这个距离的最大值为相对位移的最大值0.7 mm与凹槽敞开度的正弦值, 不超过0.06 mm, 并不会影响支架的稳定性。这些特点保证了义齿在行使功能时既不会产生左右滑动, 又不会发生上下分离, 将义齿的承力和固位功能很好地分开, 恢复咀嚼功能的同时不会对基牙造成损伤。由于鞍基下的支持组织承担了主要负荷, 一般采用组合式可摘局部义齿所覆盖牙槽嵴黏膜的被压缩性越小越好, 既可以分担和分散殆力, 又能减轻基牙负担。在进行这种义齿修复时, 基牙牙周组织被破坏吸收者必须经牙周综合治疗, 炎症被控制后, 方能进行修复。

[参考文献]

- [1] 张富强, 杨宠莹, 薛森, 等. 圆锥型套筒冠义齿用于基牙伴牙周病修复的应力分析[J]. 上海口腔医学, 1998, 7(1): 4-6.
ZHANG Fu-qiang, YANG Chong-ying, XUE Miao, et al. Stress analysis of conical telescope denture using on the prosthodontic treatment for basic teeth combined periodontal diseases[J]. Shanghai J Stomatol, 1998, 7(1): 4-6.

- [2] Reinhardt RA, Pao YC, Krejci RF. Periodontal ligament stresses in the initiation of occlusal traumatism[J]. J Periodontal Res, 1984, 19(3): 238-246.
- [3] Kydd WL, Mandley J. The stiffness of palatal mucoperiosteum[J]. J Prosthet Dent, 1967, 18(2): 116-121.
- [4] Ogata K, Watanabe N. Longitudinal study on torque transmitted from denture base to an abutment tooth of lower distal-extension removable partial dentures with conus crown telescopic system[J]. J Oral Rehabil, 1993, 20(3): 341-348.
- [5] 皮昕. 口腔解剖生理学[M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 209.
PI Xin. Oral anatomy and physiology[M]. 4th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2000: 209.
- [6] Nash WA. 材料力学[M]. 张志岗, 译. 4版. 北京: 科学出版社, 2002: 314-343.
Nash WA. Schaum's outlines of theory and problems of strength of materials[M]. Translated by ZHANG Zhi-gang. 4th ed. Beijing: Science Press, 2002: 314-343.
- [7] 徐君伍. 口腔修复理论与临床[M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 1999: 440-441.
XU Jun-wu. Prosthodontics[M]. 4th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 1999: 440-441.

(本文编辑 吴爱华)