

桩影响前牙烤瓷冠修复后牙本质应力分布的三维有限元分析

唐高妍 文志红 巢永烈 樊瑜波

摘要 采用三维有限元法分析桩对上颌中切牙金属烤瓷冠修复后牙本质应力分布的影响。选择一标准的上颌中切牙,经包埋、螺旋CT扫描、图形数字化,采用 Super SAP 有限元分析软件在微机上建立三维有限元模型,模拟了牙槽骨、牙周膜、牙本质、桩、金属烤瓷冠的金属帽状冠及烤瓷层等结构,与临床实际结构类似。分别分析 SDA-II 型中熔合金桩修复前后,牙本质应力分布情况。结果表明:金属桩可改变牙本质原有的应力分布模式,使桩与牙本质交界区应力值增大;但与此同时又降低了牙本质应力峰值, Von mises 应力降低 13.98%,最大主应力降低 7.05%。即从力学角度提示:合理桩修复可防止牙体断裂。

关键词 牙应力分析 金属烤瓷冠 核桩修复 三维有限元法 牙本质

对于桩修复,传统的观点均认为:无髓牙在采用金属烤瓷冠(PFM)修复前应进行根管治疗及相应的桩修复,以利于根段牙本质应力的合理分布,防止冠修复后的牙体折断。但是70年代以来的研究结论却与此观点相悖,表现在两个方面^{1~6}:桩对牙本质应力分布的改善并不明显;桩修复不善可导致牙根纵折。本实验采用 Super SAP 有限元分析软件,在微机上建立三维有限元模型,分析桩对上颌中切牙烤瓷桩冠修复后牙本质应力分布的影响,从力学角度探讨桩修复的意义。

1 材料和方法

1.1 建模前的准备

选择1颗接近标准的上颌中切牙⁷,确定其中心点,采用透明复合树脂包埋形成一个4cm×4cm×8cm的包埋块,同时使牙长轴与包埋块底面垂直。采用螺旋CT(美国)进行断层扫描,断面与牙长轴垂直,层间为0.5mm,层厚为0.5mm(层间损失小,可忽略不计),共形成44个断面图,扫描仪(Microtek Scanmaker E6扫描仪)扫描牙根各断面,并分别取根径的1/3作为桩径,计算机放大处理后输出。选择各个断面的主要节点,在数字化仪(Sunmagraphics III型,美国)上进行数字化处理,并将各节点坐标输入计算机。

1.2 三维有限元网格的形成及模拟咬合力加载

采用 Super SAP (93版)软件,通过 Auto CAD 造型及 Super Surf 软件和 Hypergen 自动生成网格功能形成包括有烤瓷、Ni-Cr 合金底层冠、桩、牙本质、牙周膜、骨硬板等结构的三维实体网格模型,节点数为2773,单元数为12532,均为四节点四面体单元。模拟临床正常咬合加载,加载的部

位为切1/3与中1/3交界处,方向与牙长轴呈45°交角,载荷为100N⁷。分别分析 SDA-II 型中熔合金桩修复前后牙本质内 Von mises 应力、最大主应力及最小主应力的应力峰值和分布规律。

1.3 模型假设条件及主要参数

此模型中假设所有材料均为均匀各向同性的线弹性体。边界约束条件为牙外周槽骨固定约束,主要参数及参考文献见表1。

表1 主要材料弹性模量

材料	弹性模量 (GPa)	泊松比	参考文献
牙本质	18.6	0.31	1]
牙周膜	0.0689	0.45	1]
骨皮质	13.7	0.30	1]
骨松质	1.37	0.30	1]
复合树脂	8.3	0.28	1]
牙胶尖	0.00069	0.45	1]
铸造 Ni-Cr 合金	210	0.33	8]
SDA-II 型中熔合金	101	0.30	9]
烤瓷	69.0	0.28	5]

2 结果

2.1 牙本质内 Von mises 应力及最大主应力分布规律

作者单位: 610041 华西医科大学口腔医学院(唐高妍,文志红,巢永烈), 四川联合大学土木力学系生物力学所(樊瑜波)

SDA-II型中熔合金桩修复前后,牙本质内 Von m ises 应力及最大主应力分布规律见图 1~ 4。
Von m ises 应力分布规律:桩修复前,高应力区主要分布于牙颈部及根上 1/3 唇舌方向牙本质内,且愈近根表面,应力值愈高;桩修复后,高应力区由牙颈部唇舌方向根的表面扩展至桩与牙本质交界界面。

最大主应力分布规律:桩修复前,高应力主要分布于舌侧颈部牙根外表面;桩修复后,高应力区由舌侧颈部牙根外表面扩大至桩与牙本质交界的舌侧牙本质界面上。

2.2 桩修复对牙本质应力峰值的影响

桩修复对牙本质应力峰值的影响结果见表 2。

表 2 桩修复前后牙本质应力峰值(单位:MPa)

修复方式	Von m ises 应力(降低率)	最大主应力(降低率)	最小主应力(降低率)
桩修复前	27.9	29.8	- 35.2
SDA-II型中熔合金桩	24.0 (13.98%)	27.7 (7.05%)	- 31.1 (11.65%)

注:降低率= (桩修复后应力峰值- 桩修复前应力峰值)/桩修复前应力峰值 × 100%

结果显示:弹性模量较高的中熔合金桩可降低牙本质的 Von m ises 应力、最大主应力、最小主应力的应力峰值。牙本质的抗压强度为 270~ 300 MPa, 抗拉强度为 40~ 50 MPa¹⁰, 桩修复前后,牙本质的最小主应力均明显小于其抗压强度,而牙本质最大主应力却与抗拉强度接近。

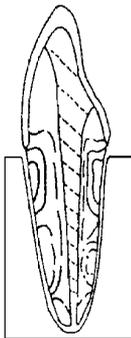


图 1 桩修复前牙本质内 Von m ises 应力分布

— 10.0~ 50.0 MPa, - - 5.0~ 10.0 MPa,
- · - 1.0~ 5.0 MPa, 0.1~ 1.0 MPa,
* * * < 0 MPa, 下同

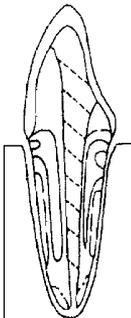


图 2 桩修复后牙本质内 Von m ises 应力分布

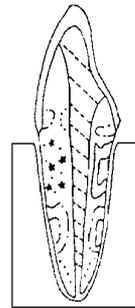


图 3 桩修复前牙本质内最大主应力分布

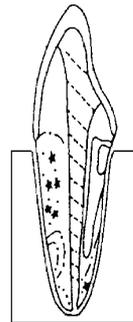


图 4 桩修复后牙本质内最大主应力分布

3 讨 论

桩修复争议的焦点是桩是否对牙体传递分散力有影响,下文针对此争议,基于本实验结果展开讨论。

3.1 SDA-II型中熔合金桩对牙本质应力分布的影响

由于牙体为脆性材料,牙本质的抗压强度是抗拉强度的 6~ 7 倍。而牙本质的 Von m ises 应力反映材料内部一点的综合应力,最大主应力反映材料

内部一点的最大可能拉应力, 最小主应力反映材料内部一点的最大可能压应力。由表 2 可见, 桩修复前后, 牙本质最小主应力峰值均只有其抗压强度的 1/10~ 1/9, 而最大主应力峰值却与其抗拉强度相差不到 1/2, 所以研究桩对牙本质 Von m ises 应力、最大主应力分布的影响更有意义。

分析图 1~ 4, 金属烤瓷冠与桩联合修复可改变单纯金属烤瓷冠修复后牙本质应力分布模式。Von m ises 应力分布规律: 桩修复前, 高应力区主要分布于牙颈部及根上 1/3 唇舌方向牙本质内, 且愈近根表面, 应力值愈高; 桩修复后, 高应力区由牙颈部唇舌方向根的表面扩展至桩与牙本质交界界面。最大主应力分布规律: 桩修复前, 高应力区主要分布于舌侧颈部牙根表面; 桩修复后, 高应力区由舌侧颈部牙根表面扩大至桩与牙本质交界的舌侧界面上。所以, SDA - II 合金桩并不降低牙本质整体应力水平, 同时会在桩与牙本质交界处形成应力集中。

3.2 桩修复与应力峰值

尽管 SDA - II 型中熔合金桩从整体水平并不具有降低分散牙本质应力作用, 但是从表 2 可见: 桩修复前, 牙本质最小主应力、最大主应力峰值均小于牙本质的抗压强度及抗拉强度。即一般力情况下, 牙本质发生折裂的可能性较小; 桩修复后, 牙本质 Von m ises 应力峰值降低 13.98%, 最大主应力峰值降低 7.01%, 最小主应力峰值降低 11.65%。由于牙体发生折裂更多是由于受到过大的冲击载荷, 尤其是前牙的水平折裂, 所以一定程度应力峰值的降低对于防止牙体折裂则更有意义, 即桩具有一定程度保护牙体的作用。

3.3 桩修复后牙体颈部的应力集中现象

图 1~ 4 显示: 无论是否采用桩修复, 牙颈部均为应力集中区, 这与天然牙所固有的颈部存在应力

集中现象的应力分布规律一致¹¹, 由于本实验均采用金属烤瓷冠修复, 而烤瓷和 Ni-Cr 合金弹性模量均较高, 尤其是 Ni-Cr 合金弹性模量是牙本质的 10 倍, 所以也可能是金属烤瓷冠对牙体受力后应力分布的影响使颈部应力集中现象更为明显。

4 参考文献

- 1 Ho MH, Lee SY, Chen HH, et al Three-dimensional finite analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent*, 1994, 72: 367
- 2 Ko CC, Chu CS, Chung KH, et al Effects of post on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent*, 1992, 68: 421
- 3 Morfis AS. Vertical roots fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1990, 69: 631
- 4 Hunter AL, Feiglin B, Williams JF. Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*, 1989, 62: 166
- 5 Assif D, Oren E, Marshak BL. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent*, 1989, 61: 535
- 6 Johnny GC, Monty RR, Akin JE. A comparison of intracanal stresses in a post restored tooth utilizing the finite element method. *J Endodont*, 1992, 18: 540
- 7 王惠芸. 我国人牙的测量与统计. *中华口腔科杂志*, 1959, 7: 149
- 8 刘玉华, 尹亚梅, 宋世卿. 桩核修复体组织面设计的有限元分析. *中华口腔医学杂志*, 1996, 31: 56
- 9 巢永烈, 杨永丰, 赵云凤. 天然牙-末端种植牙固定桥的受载分析. *华西口腔医学杂志*, 1995, 13: 6
- 10 赵云凤主编. *口腔生物力学*. 北京: 北京医科大学·中国协和医科大学联合出版社, 1996: 43, 44
- 11 杨进, 徐樱华. 楔状缺损的生物力学探讨. *中华口腔医学杂志*, 1992, 27: 109

(1997- 11- 13 收稿)

(下转第 286 页)

牙周袋消失,咀嚼功能恢复。

良: 患牙松动小于或等于 I °,3 月~ 半年内有轻度牙周炎症,牙周袋 2~ 3 mm,经治疗可好转。X 线片见 HA 颗粒与牙槽骨及牙齿根面结合较致密,大部分咀嚼功能恢复。

失败: 牙弓夹板松动脱落,HA 颗粒脱落,牙周萎缩,牙周袋未消失,牙周炎症中度以上,牙齿 II 松动,X 线片见牙槽骨吸收较治疗前无较大改观。

3 结 果

经 2 年疗效观察,结果显示: 优良共 46 例,成功率为 92%,其中优 43 例,良 3 例,失败 4 例,失败率 8% (表 1)。

表 1 牙弓夹板固定和 HA 颗粒植入 2 年疗效

部位	例数	优 (%)	良 (%)	失败 (%)
421 124	14	12 (86)	2 (14)	0
421 124	9	8 (89)	0	1 (11)
765 567	16	14 (88)	1 (6)	1 (6)
765 567	11	9 (82)	0	2 (18)

4 讨 论

本文采用牙弓夹板固定和牙周翻瓣术后 HA 颗粒植入修复牙槽骨吸收,具有缩短治疗时间,修复牙槽骨,较快恢复咀嚼功能等优点,且 HA 颗粒具有良好的生物相容性,促进骨组织生长愈合,较单纯结扎固定的牙槽骨修复时间短。牙弓夹板固定简便易操作,可使患牙 力分散。因此,牙弓夹板和牙周翻瓣术后 HA 颗粒植入能达到消除 创伤,减轻 力,尽快修复破坏牙槽骨,保留患牙的目的,对于牙周炎伴 创伤患牙具有一定疗效。

本文 4 例失败原因,其中 2 例因粘接剂粘固不牢致牙弓夹板脱落;1 例 HA 颗粒填塞不实并病例选择不当,患者复诊不及时造成术后感染所致;1 例患牙龈下刮治不彻底,局部炎症未完全消除而失败。

5 参 考 文 献

1 张 雄 磨槽、钢丝栓结、光固化树脂夹板固定重度牙周炎松动牙的疗效观察 华西口腔医学杂志, 1997, 15: 138
(1998- 02- 26 收稿)

(上接第 258 页)

Analysis of Post on Dentinal Stress of Maxillary Central Incisor Restored with PFM Crown with Three-dimensional Finite Element Method

Tang Gaoyan, Wen Zhihong, Cao Yonglie

College of Stomatology, West China University of Medical Sciences

Fan Yubo

Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, Sichuan Union University

Abstract

The purpose of the study was to know how the posts affected the dentinal stress distribution of maxillary central incisor restored with porcelain fused to metal crown (PFM) by using the three-dimension finite element method. A selected standard maxillary incisor was embedded with resin, sectioned transversely with spiral CT, and photographs made of these cross sections were digitized. Finally a three-dimension finite element model which consisted of alveolar bone, periodontal membrane, dentin, SDA-II alloy post and PFM similar to the clinical structure was constructed by use of Super SAP (93rd edition) on a personal computer, and then the dentinal stress distribution were analyzed before and after post installation. The results showed that when subjected to masticatory loading, the post restoration changed the pattern of dentinal stress distribution with increasing the area of high stress distribution in dentin, but decreased the peak stress of dentin (Von mises stress was reduced 13.9%, maximum principle stress was reduced 7.05%). Such mechanical analysis results suggest that rational post restoration prevents teeth from fracture.

Key words: dental stress analysis porcelain fused to metal crown post and core technique three-dimensional finite element method dentin