

桩冠修复中不同形式箍效应的三维有限元分析

张新春¹, 米乃元¹, 王焱¹, 樊瑜波², 李彦¹, 蒋文涛²

(1. 中山医科大学光华口腔医院修复科, 广东 广州 510055; 2. 四川联合大学建筑学院, 四川 成都 610040)

摘要:【目的】研究桩冠修复中不同形式的箍效应的应力分布特点, 探讨箍效应的生物力学机制。【方法】运用 CT 扫描、图形数字化、Super SAP 有限元软件建立上颌中切牙烤瓷核桩冠三维有限元模型, 模拟临床箍效应的 3 种形式, 通过静态加载分析牙本质受力情况。【结果】①牙本质应力分布呈现出从颈部向根中部逐渐增高的趋势; ②不同的箍形式所产生的应力反应不同, 核颈环降低应力峰值的作用最大, 反转斜面的效果最小。【结论】在余留牙体高度较低时, 核颈环形式的箍效应大于冠包绕牙体的形式, 反转斜面形式无显著作用, 临床修复时应慎重选用。

关键词: 桩核技术; 牙应力分析; 限定因素分析

中图分类号: R783.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-257X(2000)04-0263-03

Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Various Forms of Ferrule Effect in Post Crown

ZHANG Xin-chun¹, MI Nai-yuan¹, WANG Yan¹, FAN Yu-bo², LI Yan¹, JIANG Wen-tao²

(1. Department of Prosthetic Dentistry, Guanghua Stomatological Hospital, Sun Yat-sen University of Medical Sciences, Guangzhou 510055, China; 2. College of Architecture, Sichuan United University, Chengdu 610040, China)

Abstract: 【Objective】 To investigate the stress distribution in various forms of ferrule effect in post crown, and to evaluate the biomechanics mechanism in post crown. 【Methods】 By CT scanning, graph digitizing and Super SAP software, the three-dimensional finite element entity grid model was built, which was a maxillary central incisor restored with post and PFM crown. By imitating three types of ferrule effect under static loading, the dentin stress was analyzed. 【Results】 ①The stress distribution had an increasing tendency from tooth cervical part to root middle part. ②The stress reactions were different with the different ferrule patterns. The core collar had the best effect on decreasing peak stress, but contrabevel had the worst effect. 【Conclusion】 When the altitude of residual tooth is lower, the ferrule effect maintained by core collar wrapping cervical dentine is greater than that maintained by crown wrapping, but contrabevel has no effect.

Key words: post and core technique; dental stress analysis; finite element analysis

近年越来越多的学者注意到桩冠修复中无髓牙的保护问题, 其中箍效应 (ferrule effect) 受到了较广泛的重视。箍 (ferrule) 本身定义为包绕物体防止劈裂的金属带状环或圈^[1], 箍效应即为由箍包绕所产生的抗力效应。箍通常有桩核边缘 (颈环) 包绕残余牙体壁、全冠边缘包绕牙体壁、反转斜面 (冠与核均包绕牙体) 等形式, 究竟在箍效应的产生上是某种形式起主导作用, 还是各种形式均有作用,

作用多大, 至今尚未有明确定论。本研究通过三维有限元方法, 分析、比较桩冠修复中不同设计形式的箍效应的力学分布特点, 为指导临床合理保护无髓牙、优化桩冠设计提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 模型制备

收稿日期: 2000-03-16

作者简介: 张新春 (1972-), 男, 安徽怀远人, 硕士, 住院医师。 Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

采用正常人离体上颌中切牙, 确定其中心点, 环氧树脂包埋形成 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ 的包埋块, 同时使牙长轴与包埋块底面垂直。采用三维螺旋 CT 对包埋块进行断层扫描, 断面与牙长轴垂直, 层间为 0.5 mm , 层厚为 0.5 mm (层间损失小, 可忽略不计), 共形成 45 个断面层。将各层断面图像经计算机扫描放大处理后输出, 在断面图形上按实际比例确定桩冠修复体各部分的位置结构, 选定各个断面的全部节点, 在数字化仪上进行数字化处理, 得出各节点的三维坐标, 并将各节点坐标输入计算机。

1.2 三维有限元网格模型的形成

采用 Super SAP 有限元软件(93 版), 通过 Auto CAD 造型及 SuperSurf 软件和 Calcomp Drawing Slate II 程序手工划分网格, 形成包括有烤瓷、Ni-Cr 合金底层冠、桩、核、牙胶、牙本质、牙周膜、牙槽骨等结构的三维实体网格模型, 其中桩径等于根径的 $1/3$, 根管末端保留 4 mm 的牙胶封闭, 颈环必须包绕至少 1 mm 厚的牙本质层^[2]。模型中节点数为 3 923 个, 单元数为 3 820 个, 其中八节点六面体单元为 2 900 个, 六节点五面体单元为 920 个。

1.3 模型假设条件及主要参数

模型中假设所有材料都为连续、均质、各向同性的线弹性体, 材料受力变形为小变形, 边界约束条件为牙槽骨外周固定约束^[3,4]。主要生物力学参数指标见表 1。

表 1 箍模型主要材料生物力学参数表
Table 1 The material biomechanical parameter of ferrule model

Materials	Elastic modulus (GPa)	Poisson ratio	Literature reference
Dentin	18.6	0.31	[3]
Alveolar bone	1.37	0.30	[3]
Periodontal ligament	0.0689	0.45	[3]
Gutta-percha	0.00069	0.45	[4]
Porcelain	69	0.28	[4]
Ni-Cr alloy	210	0.33	[5]
Meso-melting copper alloy	101	0.30	[5]

1.4 加载条件

加载部位^[3~5]为上颌中切牙切 $1/3$ 与中 $1/3$ 交界处, 加载方向为舌侧向唇侧加载, 与牙长轴呈

45° 交角, 加载方式为静态载荷, 大小为 100 N 。

1.5 模型分组

A 组, 假设余留牙体为 2 mm , 箍的形式为全冠边缘直接包绕牙体(图 1A); B 组, 假设余留牙体为 2 mm , 箍的形式为桩核颈环直接包绕牙体(图 1B); C 组, 假设余留牙体为 2 mm , 箍的形式为冠包绕 1 mm , 核包绕 1 mm (图 1C)。

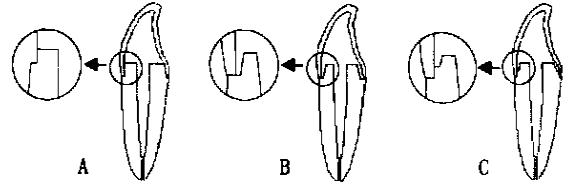


图 1 桩冠修复箍的 3 种形式

Fig. 1 Three forms of the ferrule in post crown

A: Crown wrapping dentine B: Core collar wrapping, C: Contrabevel

1.6 数据分析处理

本实验主要分析颈部、根中下部牙本质各节点的 Von Mises 应力及最大主应力, 由于 Von Mises 应力反映了材料内部各点的综合应力, 故重点分析 Von Mises 应力^[3,4]。数据采用 SPSS (9.0) 统计软件处理。

2 结果

在余留牙体高度较低的情况下, 每一组实验的数据均表明, 在高应力区的分布上, 三组没有显著差异, 高应力区主要集中在牙体颈部和桩周牙本质, 桩冠的应力分布呈现出从颈部向根中部应力逐渐增高的趋势, 颈部应力没有集中, 但根尖部应力不高。高应力值 δ 在颈部和根部总体表现为 $Von B < Von A < Von C (P < 0.05)$, B 组的应力峰值最低, A 组的 Von Mises 应力峰值较 B 组在颈部和根部分别升高 8.05% 和 13.72% , 最大主应力分别升高 11.71% 和 6.33% , 而 C 组的应力升高更多, 只是在根部其最大主应力峰值有部分降低(表 2)。

3 讨论

桩冠修复时当余留牙体高度较低时, 如何利用箍效应保护牙体需要进行探讨。在有限元分析中, Von Mises 应力反映了材料内部各点的综合应力, 最大主应力反应的是最大可能拉应力。本实验说

表2 3组模型牙本质应力比较

Table 3 Comparisons of dental stress among three models

(MPa)

Group	Neck δ_{Von}		Root δ_{Von}		Neck δ_{max}		Root δ_{max}	
	Average	Peak	Average	Peak	Average	Peak	Average	Peak
A	15.6±1.6	19.0	28.0±1.2	30.5	11.8±2.2	16.7	28.6±2.4	33.3
B	15.2±0.9	17.7	24.9±0.8	26.8	13.5±1.0	14.9	24.6±2.8	31.3
C	20.0±2.2	24.9	27.4±2.2	31.5	15.1±1.4	18.5	24.1±1.8	27.6

明最大主应力主要位于舌侧,而 Von Mises 应力高应力值主要集中在唇侧。这是由于上前牙在承受𬙹力时,主要是唇侧向力,因此最大拉应力出现在舌侧;由于桩整体上表现为受压,因此其综合应力主要集中在受压侧—唇侧。

3组的高应力区在分布上没有显著差异,这说明余留牙体较少时,桩冠的应力分布方式受桩核系统的影响较小。从高应力值上看,C组的应力值不论是 Von Mises 应力还是最大主应力在颈部都要高于另外两组($P < 0.05$),说明由于颈环的保护,加上桩位于根管中部的受力中性区,桩核受力时颈环可与牙颈部的余留牙体联合为一体,并将应力均匀化,使应力在不增高的情况下向根部转移,从而达到保护颈部牙体的目的^[6]。在根部 Von Mises 应力上B组与A、C组有区别,而在最大主应力上B、C组与A组有区别($P < 0.05$),说明在综合应力的分布上,颈环效果较好,这是由于侧向受力时,牙齿以根尖1/3为旋转中心,有颈环的标本其颈部结构抗力性较好,且由于箍的包绕作用,残余部分牙体可以得到更好的应力均匀分散。另外,由于桩核材料与烤瓷冠的弹性模量均高于牙本质,颈环与牙冠结合增加了冠修复体的边缘厚度和强度,有利于𬙹力的均匀传导与分布,而不会在边缘处产生应力集中,因此实验中可以观察到被箍所包绕的牙体应力值低于与桩核及冠组织面接触的牙体。

本实验C组代表的是反转斜面的包绕形式,它既有颈环的特点,又有冠边缘的包绕,曾被认为可能具有较好的作用,而实验结果证明C组的应力分布恰恰是最差的,这是由于在力学上,刚性材料容易吸收更多的力并将其传递到弱刚性材料上,刚性与弱刚性材料交界处往往形成应力集中。B组在

牙颈部各材料的分布较C组均匀,A组的材料分布也很均匀,所以二者的牙体应力不高。从结果来看,反转斜面会产生颈部应力集中,临床应用时应小心。

本实验模拟的是静态载荷,而正常口腔的咬合属于动态载荷,但目前由于缺乏相关基础数据,导致动态载荷实验很不完善,因此如何用动态载荷更好地模拟口腔实际情况将是今后进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] The Academy of Prosthodontics. The glossary of prosthodontic terms 6th edition[J]. J Prosthet Dent, 1994, 71(1): 41.
- [2] Libman W J, Nicholls J I. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns[J]. Int J Prosthodont, 1995, 8(2): 155.
- [3] Ho M H, Lee S Y, Chen H H, et al. Three-dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin[J]. J Prosthet Dent, 1994, 72(4): 367.
- [4] Yaman S D, Alacam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications[J]. J Endod, 1998, 24(2): 107.
- [5] 唐高妍, 文志红, 巢永烈, 等. 四种桩材料对牙本质应力分布影响的三维有限元分析[J]. 华西口腔医学杂志, 1998, 16(3): 259.
- [6] Morgano S M. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts[J]. J Prosthet Dent, 1996, 75(4): 375.

(编辑 黄小延)