

# 不同桩核材料对桩冠箍效应影响的三维有限元分析

张新春<sup>1</sup>, 王 焱<sup>1</sup>, 李 彦<sup>1</sup>, 米乃元<sup>1</sup>, 樊瑜波<sup>2</sup>, 蒋文涛<sup>2</sup>

(1. 中山大学光华口腔医学院·附属口腔医院修复科, 广东 广州 510060;

2. 四川大学建筑学院生物力学研究所, 四川 成都 610040)

**摘要:**【目的】研究桩冠修复中不同桩核材料对箍效应的应力分布影响, 探讨箍效应的生物力学机制。【方法】建立正常上颌中切牙烤瓷核桩冠箍效应的三维有限元模型, 模拟四种桩核材料(A组:铜合金, B组:金合金, C组:镍铬合金, D组:钛合金)的修复形式, 通过静态加载分析牙本质受力情况。【结果】4种不同弹性模量的桩核材料, 其 Von Mises 应力峰值在颈部分别为铜合金 17.6 MPa, 金合金 17.6 MPa, 镍铬合金 23.8 MPa, 钛合金 17.6 MPa, 镍铬合金组应力最高; 在根部各组分别为 26.8 MPa, 22.9 MPa, 39.3 MPa, 26.9 MPa, 金合金组应力最小, 镍铬合金组最高, 均有显著性差异( $P < 0.05$ )。【结论】箍效应受桩核材料弹性模量的影响。高弹性模量的桩核材料, 减弱了箍效应并使颈部及桩周牙本质应力过高。

**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:** 1672-3554(2005)02-0164-04

## Three-Dimensional Finite Element Analysis of Various Elastic Modulus of Post-Core on Ferrule Effect in Post Crown

ZHANG Xin-chun<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, MI Nai-yuan<sup>1</sup>, FAN Yu-bo<sup>2</sup>, JIANG Wen-tao<sup>2</sup>

(Guanghua College of Stomatology, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510060, China;

2. College of Architecture, Sichuan University, Chengdu 610040, China)

**Abstract:** 【Objective】To investigate the effect of various post and core materials on stress distribution of ferrule effect in post crown, and to evaluate the biomechanics mechanism of ferrule effect in post crown. 【Methods】A model of maxillary central incisor restored with post and porcelain-fused-to-metal (PFM) crown was built by three-dimensional finite element methods (3D-FEM). By imitating four post-core materials (Cu alloy, Au alloy, Ni-Cr alloy, Ti alloy), the dentin stress of ferrule effect under static loading was analyzed by 3D-FEM. 【Results】When different post-core materials with various elastic moduli were used, the peak ferrule stress values in cervical and radical region were significantly different ( $P < 0.05$ ). The peak values of Von Mises stress in different models were: 17.6 MPa for Cu alloy, 17.6 MPa for Au alloy, 23.8 MPa for Ni-Cr alloy (the highest), 17.6 MPa for Ti alloy in cervical region; 26.8 MPa for Cu alloy, 22.9 Mpa for Au alloy (the lowest), 39.3 MPa for Ni-Cr alloy (the highest), 26.9 MPa for Ti alloy in the root; respectively. 【Conclusion】The ferrule effect is influenced by elastic modulus of post and core materials. The post with higher elastic modules weakens the ferrule effect virtually, and results in higher stress around post.

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

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2005, 26(2): 164-167]

近年来, 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。箍效应为由箍包绕所产生的抗力效应<sup>[1]</sup>。目前, 临床上应用的桩核

材料有许多种, 在材料强度的选择上有多种材料及多种观点, 如何选择最佳至今尚未统一; 而不同弹性模量的桩核材料对箍效应的影响以及对桩冠修复预后的影响作用仍值得进一步探讨。本研究

收稿日期: 2004-03-08

作者简介: 张新春(1972-), 男, 安徽怀远人, 硕士, 讲师, 主要从事口腔修复学研究。E-mail: zhangxc@pub.guangzhou.gd.cn

通过三维有限元方法,分析、比较不同弹性模量桩核材料对桩冠箍效应的生物力学影响,为临床优化桩冠设计提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 三维有限元模型的制备与形成

采用 1 颗正常人离体上颌中切牙,测量指标为:长 22.4 mm,冠长 11.2 mm,根长 11.2 mm。确定其中心点,环氧树脂包埋形成一 4 cm×4 cm×8 cm 的包埋块。采用三维螺旋 CT 对包埋块进行断层扫描,层间为 0.5 mm,层厚为 0.5 mm,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。

采用 Super SAP 有限元软件,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,箍的形式为核颈环包绕残余牙体壁。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<sup>[2]</sup>。

### 1.2 模型假设条件及参数、实验加载条件

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。主要材料生物力学参数指标见表 1。实验中加载部位为上颌中切牙

切 1/3 与中 1/3 交界处,加载方向为舌侧加载,与牙长轴呈 45°交角,加载方式为静态载荷,载荷量为 100 N<sup>[3,4]</sup>。

### 1.3 模型分组

各组假设余留牙体为 2 mm,箍的形式为核包绕,A 组桩核材料为铜基中熔合金,B 组为铸造金合金,C 组为镍铬合金,D 组为钛合金;桩冠及核包绕示意图见图 1。

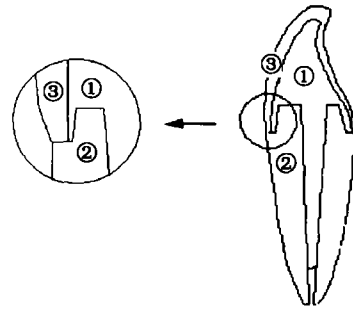


图 1 桩冠修复箍的形式

Fig.1 The ferrule form in post crown (core collar wrapping dentine)

① post and core; ② dentine; ③ PFM crown

### 1.4 数据分析处理

在力学上,Von Mises 应力反映材料内部各点的综合应力,最大主应力反映材料内部各点的最大可能拉应力,最小主应力反映材料内部各点最大可能压应力,国内外学者多采用 Von Mises 应力作为评价应力水平的主要指标。由于牙体通常情况下承受拉力的能力较差,故本实验主要分析牙颈部、根中下部牙本质各节点的 Von Mises 应力 ( $\sigma_{\text{von}}$ ) 及最大主应力 ( $\sigma_{\text{max}}$ ),其中重点分析 Von Mises 应力(每组 15 个节点)。数据采用 SPSS 统计软件进行 Student-Newman-Keuls  $q$  检验。

## 2 结 果

箍效应受桩核材料弹性模量影响。桩核材料的弹性模量不同,所产生的高应力值在颈部和根部都有显著性差异,在颈部高应力值表现为  $\sigma_{\text{vonA,B,D}} < \sigma_{\text{vonC}}$  ( $P < 0.05$ ),在根部为  $\sigma_{\text{vonB}} < \sigma_{\text{vonA,D}} < \sigma_{\text{vonC}}$  ( $P < 0.05$ ),各组应力最高峰值均以 C 组 Ni-Cr 合金组为最高。高弹性模量的桩核材料,减弱了箍效应并使颈部及桩周牙本质应力过高。弹性模量是牙本质 4 倍的铸造金合金,其桩核周围牙本质应力分布最为均匀,结果见表 2。

表 1 主要材料生物力学参数表

Table 1 The biomechanical parameter of materials

Materials	Elastic modulus (GPa)	Poisson ratio	Literature reference
Dentin	18.6	0.31	4
Alveolar bone	1.37	0.30	2
Periodontal ligament	0.068 9	0.45	5
Gutta-percha	0.000 69	0.45	2
Porcelain	69	0.28	2
Ni-Cr alloy	210	0.33	5
Meso-melting Cu alloy	101	0.30	4
Au alloy	77	0.33	5
Ti alloy	120	0.33	5

表 2 不同桩核材料组牙本质应力比较

Table 2 Comparison of dentin stress among four models of different post materials ( $\bar{x} \pm s$ , MPa)

Group	Neck $\sigma_{\text{ven}}$		Root $\sigma_{\text{ven}}$		Neck $\sigma_{\text{max}}$		Root $\sigma_{\text{max}}$	
	Average	Peak	Average	Peak	Average	Peak	Average	Peak
A	15.2±0.9	17.7	24.9±0.9	26.8	13.5±0.9	14.9	24.6±2.8	31.3
B	14.4±1.6	17.6	21.4±0.6 <sup>2)</sup>	22.9	12.3±0.8 <sup>2)</sup>	13.4	21.5±1.9 <sup>2)</sup>	26.1
C	20.6±1.5 <sup>1)</sup>	23.8	36.7±1.5	39.3	19.0±2.0	23.0	39.2±5.8	52.5
D	15.2±0.9	17.6	25.0±0.9	26.9	13.8±0.9	15.2	25.7±3.1	32.9
F	76.60		635.57		80.18		67.11	
P	0.000		0.000		0.000		0.000	

1) Compared with group A, B, D,  $P < 0.05$ ; 2) Compared with group C,  $P < 0.05$

### 3 讨论

#### 3.1 金属桩的应用

桩冠修复时选用何种弹性模量的核桩材料直接关系着修复后应力的分布。一般认为,高弹性模量的桩可以承受较高的载荷,但修复后高应力区范围扩大<sup>[6]</sup>,应力分布模式会改变;而低弹性模量的桩承受载荷能力较低,但高应力区范围缩窄,不会改变应力分布模式<sup>[7]</sup>。应用全冠修复以后,可以使应力重新分布在桩—核—牙本质中,使桩核材料的力学特征变得不明显<sup>[6]</sup>。有实验证实,金属铸造桩的适合性及修复后牙体强度都较成品桩好,对于给定材料的全冠,牙体应力分布将主要依靠桩核材料而定<sup>[8]</sup>。当采用铸造桩核时,每一种桩核材料的弹性模量均远高于牙本质弹性模量,这些因素均会对箍效应产生一定的影响。由于牙体为脆性材料,抗拉能力较差,在承受过大冲击时常易发生折裂,而一定程度的应力峰值降低,对于防止牙体折裂同样有着重要的实际意义,因此在考虑整体受力情况时,还应密切关注牙本质受力时的最高峰应力值。

本实验选用 4 种常规牙科材料——金合金、铜基中熔合金、镍铬合金、钛合金进行比较,可以发现随着材料弹性模量的升高,在余留牙体高度一定的情况下,其应力值呈明显升高。在应力分布上,金合金桩周牙本质应力水平最低,高应力弥散范围较小,由于钛合金与中熔合金弹性模量近似,实验条件假设它们为线弹性材料,因此它们的应力值无明显区别。本实验所见镍铬合金组(C组),其颈部应力较中熔合金、钛合金桩有明显升高,两种应力升幅在 33%~35%和 30%~51%,而根部应

力升高更明显,升幅分别高达 43%~46%和 52%~59%,这与 Yaman 等<sup>[4]</sup>,Purton 等<sup>[9]</sup> 学者的研究结果有一定差异,其原因可能是后者采用不锈钢与钛合金作桩,而用银汞或树脂做核,核材料弹性模量较低,约等于或低于牙本质,受力时核材料缓冲了部分应力而使传递到桩周的应力减少(这也是天然牙颈部应力集中且较高的原因所在);而本实验桩核同时采用高弹性模量的材料,由于刚度过大,牙根受力时不能与桩同步发生弯曲变形,因此在桩核组织面及桩周会产生较高应力,并且由于余留牙体很少,桩冠受力时高应力区向根部移动,因此根部应力峰值也会升高。从结果可知根部镍铬合金桩产生的最大主应力高达 52.47 MPa,这已经与牙本质的抗拉强度齐平,虽然其综合应力最大主应力小一些,表示牙体通过周围牙槽骨的固定可承受此力量,但临床上仍应注意,当余留牙体甚少时,应谨慎使用高弹性模量的桩核材料。

#### 3.2 复合桩的研究

目前临床应用的桩核材料弹性模量都较高,从本实验结果看,理想的桩核构成应该是根尖部分弹性模量稍低(如金合金)而颈部弹性模量略高(如中熔合金),这样在余留牙体很少时桩核系统可通过取得箍效应而获得满意的应力分布。所以有学者提出复合梯度桩的概念,即把不同弹性模量的桩组合在一起,使之既能提供足够强度,又不会引致应力过于集中,更有利于保护余留牙体组织。这种方案具有一定的科学性和可行性,如果应用成功,将会给临床桩冠修复注入新的内容。近年随着材料技术和纳米技术的发展,纤维增强复合树脂桩得到不断改进和发展,而以往的含碳纤维/树脂复合材料虽然具有高强度、高模量、耐腐蚀等优点,但由于碳纤维潜在的毒性和黑色不美观等

限制了其在口腔中的应用。纤维增强复合树脂桩是由聚合体基质和纤维增强物组成的高分子复合材料,具有较多优点:①强度高;②颜色和弹性模量与牙体组织接近,美观性好,有利于保护牙根;③粘接性好,可直接作核;④耐腐蚀、耐疲劳等,它的组成符合梯度桩的特点,但其应用受到材料机械性能、强度,结合界面,尺寸稳定性以及生物相容性等的影响<sup>[10]</sup>。对于复合材料中纤维含量及其与强度的关系,纤维含量对结合界面、技术工艺、体积稳定性、生物相容性等的影响,目前还需更深入的研究,因而纤维复合桩的广泛应用受到限制,但由于它的优良性能和材料特点,随着纳米技术的发展,进一步研究的深入,纤维桩必将有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] The Academy of Prosthodontics. The glossary of prosthodontic terms, 6th edition [J]. J Prosthet Dent, 1994, 71(1): 41-113.
- [2] 张新春,米乃元,王焱,等.桩冠修复中不同形式箍效应的三维有限元分析[J].中山医科大学学报,2000,21(4): 263-5.
- [3] Heydecke G, Butz F, Hussein A, *et al.* Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems[J]. J Prosthet Dent, 2002, 87(4): 438-45.
- [4] Yaman SD, 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): 107-11.
- [5] Yaman SD, Alacam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a vertically condensed maxillary central incisor root canal[J]. J Endod, 1995, 21(3): 321-5.
- [6] Fraga RC, Chaves BT, Mello GS, *et al.* Fracture resistance of endodontically treated roots after restoration[J]. J Oral Rehabil, 1998, 25(8): 809-13.
- [7] Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An *in vitro* study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems[J]. J Prosthet Dent, 1999, 81(3): 262-9.
- [8] Bolhuis HPB, De Gee AJ, Feilzer AJ, *et al.* Fracture strength of different core build-up designs [J]. Am J Dent, 2001, 14(5): 286-90.
- [9] Purton DG, Chandler NP, Love RM. Rigidity and retention of root canal posts[J]. Br Dent J, 1998, 184(6): 294-6.
- [10] Purton DG, Chandler NP, Qualtrough AJ. Effect of thermocycling on the retention of glass-fiber root canal posts[J]. Quintessence Int, 2003, 34(5): 366-9.
- [6] Newhouse PA, Sunderland T. Intravenous nicotine in Alzheimer's disease: a pilot study [J]. Psychopharmacology(Berl),1988, 95(2): 171-5.
- [7] Marin P, Maus M, Desagher S. Nicotine protects cultured striatal neurones against N-methyl-D-aspartate receptor-mediated neurotoxicity[J]. Neuroreport, 1994, 5(15): 1977-80.
- [8] Minana MD, Montoliu C, Liansola M, *et al.* Nicotine prevents glutamate-induced proteolysis of the microtubule-associated protein MAP-2 and glutamate neurotoxicity in primary cultures of cerebellar neurons [J]. Neuropharmacology, 1998, 37(7): 847-57.
- [9] Akaike A, Tamura Y, Yokota T. Nicotine-induced protection of cultured cortical neurons against N-methyl-D-aspartate receptor-mediated glutamate cytotoxicity[J]. Brain Res, 1994, 644(2): 181-7.
- [10] Jonnala RR, Buccafusco JJ. Relationship between the increased cell surface alpha7 nicotinic receptor expression and neuroprotection induced by several nicotinic receptor agonists[J]. J Neurosci Res, 2001, 66(4): 565-72.
- [11] Shimohama S, Akaike A, Kimura J. Nicotine-induced protection against glutamate cytotoxicity. Nicotinic cholinergic receptor-mediated inhibition of nitric oxide formation[J]. Ann N Y Acad Sci, 1996, 777: 356-61.
- [12] 王勇,朱小南,余剑平,等.烟碱对大鼠海马脑片 $\beta_1$ -肾上腺素能受体的影响[J].中山大学学报(医学科学版), 2003,24(2):136-9.
- [13] Jeyarasasingam G, Tompkins L, Quik M. Stimulation of non- $\alpha_7$  nicotinic receptors partially protects dopaminergic neurons from 1-methyl-4-phenylpyridinium-induced toxicity in culture[J]. Neuroscience, 2002, 109(2): 275-85.

(编辑 刘清海)

(编辑 张教瑞)

(上接第 163 页 from page 163)

1998, 71(6): 2439-46.