

DOI:10.3724/SP.J.1008.2010.01149

· 短篇论著 ·

漏斗状根管不同桩冠修复的生物力学研究

3D finite element analysis of teeth with flared root canals restored by post-and-core crown

高建勇¹, 郑元俐², 朱强¹, 汪大林^{1*}

1. 第二军医大学长海医院口腔科, 上海 200433

2. 上海市第九人民医院口腔修复科, 上海 200011

[摘要] **目的** 比较不同桩核材料及漏斗深度对桩核冠修复漏斗状根管残根后的应力分布差异, 寻找对残留牙体组织较少残根的最佳修复方法。**方法** 建立桩冠修复上颌中切牙漏斗状根管残根三维有限元模型, 设定漏斗状根管漏斗深度为 0、2、4、6 mm。成品桩为碳纤维桩, 铸造桩采用镍铬合金材料, 以 Von Mises 应力、最大主应力为分析指标。**结果** 桩冠系统修复漏斗状根管的残根后根部 Von Mises 应力高应力区分布在唇舌侧, 随漏斗的深度增加, 高应力区范围逐渐扩大。与碳纤维桩相比, 铸造桩修复后 Von Mises 应力分布不均匀, 各深度组的高应力分布区较同深度碳纤维桩组明显增大, 应力集中明显, 根尖及漏斗底处出现了应力集中。随漏斗深度增加, 碳纤维桩根牙本质 Von Mises 应力峰值增加了 3.101 MPa, 增幅为 10.3%, 最大主应力峰值增加了 2.958 MPa, 增幅为 11.7%; 铸造桩 Von Mises 应力峰值增加了 6.157 MPa, 增幅为 22.6%, 最大主应力峰值增加了 5.486 MPa, 增幅为 19.7%。**结论** 漏斗深度及修复材料是影响根牙本质应力的重要因素。桩核冠修复漏斗状根管的残根设计时应尽量保存根唇舌向牙体组织, 以增加牙根抗力, 同时在桩核冠修复设计时应降低所受咬合力。在修复漏斗状根管的残根时, 尤其是深漏斗状根管的残根时, 推荐使用碳纤维桩。

[关键词] 桩核技术; 有限元分析; 漏斗状根管; 碳纤维桩; 铸造桩

[中图分类号] R 782.12

[文献标志码] B

[文章编号] 0258-879X(2010)10-1149-03

漏斗状根管是指经过龋病治疗、牙折、去髓、根管预备、反复拆桩等措施, 导致牙齿结构缺失, 颈 1/3 根管敞开呈漏斗状, 其根管壁通常较薄, 抗折性降低(图 1)。临床治疗常使用 2 种具有不同设计特点的桩核系统修复漏斗状根管的残根: 一是根据根管形态制作的铸造桩核系统, 二是预成桩系统。桩核冠的固位力与根管预备后的形态、黏固剂以及根表面形态有关^[1]。近年来, 伴随修复材料与黏接技术的进步, 保存具有漏斗状根管、以往多被拔除的牙根已成为可能, 这对于修复学具有重要的临床意义。本研究以上颌中切牙为观察对象, 采用三维有限元方法, 比较不同桩核材料及漏斗深度对桩核冠修复漏斗状根管残根后应力分布的差异, 为临床选择能够减少修复后根折发生的桩核系统提供理论依据。

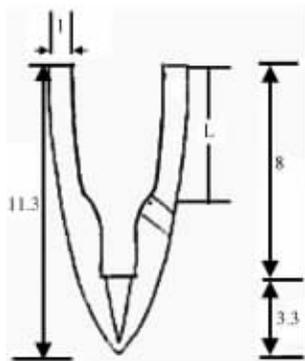


图 1 漏斗状根管示意图(单位:mm)

1 材料和方法

1.1 桩冠修复上颌中切牙残根三维有限元模型的建立 选择 1 名身体健康男性志愿者, 要求牙列完整, 咬合关系正常, 无明显牙周疾患, 上颌中切牙无龋坏、牙体缺损及明显磨损。上颌中切牙形态符合王慧芸^[2]中国人牙体测量数据报告标准。

使用美国 PQ6000 螺旋 CT 扫描机获取志愿者上中切牙二维形态数据。Matlab 编程读取转换数据并存储为 Ansys 可直接识别的命令格式。Matlab 软件形成的三维点云图用 Pro/E 软件读取, 即建立牙根、牙冠的三维实体模型。根据临床实际情况, 将牙根实体模型半径均匀扩大 0.2 mm, 再通过布尔运算减去牙根原三维实体大小, 即得到牙周膜模块; 将牙根均匀缩小 2/3, 即建立桩的三维实体模块。利用 Pro/E 软件的曲面造型功能和布尔加减运算, 建立了包含不同形态桩核、牙根、黏固剂、饰瓷、金属基底、牙胶尖、松质骨和密质骨的各个三维模型组件。最后将建立的各三维实体模块导入 Pro/E 中进行拟和组装, 然后导入 Ansys Workbench 环境中形成三维实体模型, 进行实体模型的自动化分单元。单元采用 10 节点四面体和 20 节点六面体单元进行划分, 在桩-根牙本质界面细划(图 2), 划分模型单元数为 82 310~84 284 和节点数为 138 302~143 353。

1.2 载荷条件 模拟临床正常咬合情况, 在牙冠舌侧切端 1/3、中 1/3 处与牙体长轴成 45° 加载, 静态载荷、面加载, 载荷大小为 100 N^[3]。

[收稿日期] 2010-05-12 **[接受日期]** 2010-08-27

[作者简介] 高建勇, 住院医师, E-mail: yanshaowang@126.com

* 通讯作者(Corresponding author). Tel: 021-81873585, E-mail: Wang/dentoll@yahoo.com.cn

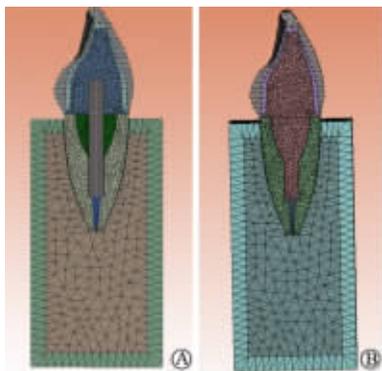


图2 碳纤维桩(A)和铸造桩(B)修复漏斗状根管三维有限元根剖面单元图

1.3 主要应力分析指标 Von Mises 应力(σ_{mises})又称等效应力,反映了材料内部(某)一点不同方向的综合受力情况。最大主应力(σ_1),又称第一主应力,是3个主应力中代数值最大的应力,反映材料内部某一点不同方向中的最大拉应力。

1.4 实验方法及材料参数 设定漏斗状根管(图1)漏斗深度(L)分别为0、2、4、6 mm。成品桩为碳纤维桩系统,铸造桩为镍铬合金材料。将不同桩核材料及牙体组织的参数代入模型,比较不同材料和不同漏斗深度对桩冠修复后根牙本质应力分布的差异。材料参数^[4-6]见表1。

表1 材料特性参数

材料	弹性模量 σ /GPa	泊松比
牙本质	18.6	0.31
镍铬合金	210	0.33
饰瓷	80	0.30
密质骨	13.7	0.30
松质骨	1.37	0.30
牙胶尖	0.000 69	0.45
牙周膜	0.068 9	0.45
树脂	1.2	0.25
玻璃离子	4	0.35
碳纤维	21	0.31
复合树脂	8.3	0.28

2 结果

2.1 碳纤维桩修复后不同漏斗深度根牙本质 Von Mises、最大主应力的应力分布云图 从图3A1~A4可见,碳纤维桩修复后根部 Von Mises 应力高应力区分布在唇舌侧,越接近牙根表面应力值越高,唇舌侧靠近牙冠的部分有明显的应力集中现象,唇侧>舌侧,与文献^[7]报道一致;随着漏斗深度增加,高应力区范围逐渐扩大,从根颈部1/3处沿着漏斗薄壁向下扩散,直到根中1/3与尖1/3的交界处,并且唇侧外表面高应力区的扩张范围大于舌侧外表面高应力扩张的范围;在各深度组,桩尖周围没有明显的应力集中现象。从图3B1~B4可见,碳纤维桩各深度组中,最大主应力的高应力区均分布在舌侧,且舌侧根表面出现应力集中;随着漏斗深度增加,高应力区分布范围逐渐增大扩散至根上1/3与根中1/3交界处;桩尖处、各深度组根唇侧应力分布均匀无应力集中。

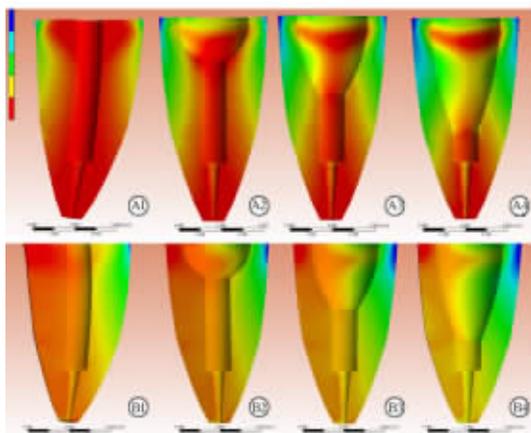


图3 碳纤维桩修复后不同漏斗深度根牙本质 Von Mises(A)、最大主应力(B)的应力分布云图

A1-A4, B1-B4 漏斗深度分别为0、2、4、6 mm。色标从蓝色→红色表示应力值增大

2.2 铸造桩修复后不同漏斗深度根牙本质 Von Mises、最大主应力的应力分布云图 从图4A1~A4可见,在铸造桩修复后 Von Mises 应力分布不均匀,各深度组的高应力分布区较同深度碳纤维桩组明显增大,应力集中非常明显,高应力区分布在唇舌侧,唇侧>舌侧;随着漏斗深度增加,唇侧分布范围沿着漏斗薄壁向下扩散至根尖1/3处,特别是在深度为6 mm时,应力分布极不均衡,高应力集中区几乎分布在所有残根的薄壁唇舌侧,且越靠近牙根表面应力值越大;在铸造桩所有深度组中,根尖及漏斗底处出现了应力集中。从图4B1~B4可见,铸造桩各深度组最大主应力区范围随着深度的增加而增大,在深度0 mm组,高应力集中区分布在根舌侧颈1/3范围内,在深度6 mm组高应力区分布在根舌侧颈部到根尖1/3范围内;同等深度铸造桩较碳纤维桩应力集中区范围明显增大,且根唇侧应力分布不均匀,但无明显应力集中。

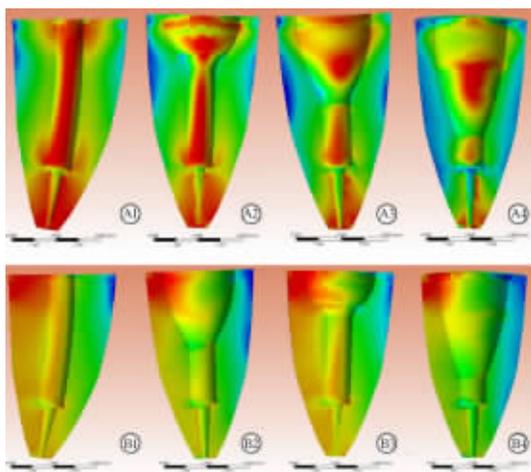


图4 铸造桩修复后不同漏斗深度根牙本质 Von Mises(A)、最大主应力(B)的应力分布云图

A1-A4, B1-B4 漏斗深度分别为0、2、4、6 mm。色标从蓝色→红色表示应力值增大

2.3 不同桩核系统修复不同深度漏斗状根管残根后根部牙本质 Von Mises 峰值及最大主应力峰值变化趋势 由表2

可见,随着漏斗深度的增加,碳纤维桩根牙本质 Von Mises 应力峰值由 27.075 MPa 增大到 30.176 MPa,增加了 3.101 MPa,增幅为 10.3%;最大主应力峰值由 22.389 MPa 增大到 25.347 MPa,增加了 2.958 MPa,增幅为 11.7%。铸造桩修复后根牙本质 Von Mises 应力峰值由 21.111 MPa 增大到 27.268 MPa,增加了 6.157 MPa,增幅为 22.6%;最大主应力峰值由 22.298 MPa 增大到 27.784 MPa,增加了 5.486 MPa,增幅为 19.7%。在碳纤维桩和铸造桩系统深度 L=6 mm 时,应力变化幅度均较大。

表 2 不同桩核材料修复不同深度漏斗状根管残根后应力峰值

漏斗深度 L/mm	碳纤维桩修复后 根牙本质 σ /MPa		铸造桩修复后 根牙本质 σ /MPa	
	Von Mises	最大主应力	Von Mises	最大主应力
0	27.075	22.389	21.111	22.298
2	27.727	22.979	23.448	23.981
4	28.931	23.868	24.112	24.893
6	30.176	25.347	27.268	27.784

3 讨论

漏斗状根管特殊的结构特点给临床桩冠修复带来了困难,这类修复失败有 2 个主要原因,一是因桩钉缺乏足够的固位力而脱位,二是桩冠修复后牙根折裂^[8]。为了使残留牙体组织较少的漏斗状根管修复牙能长期发挥功能,正确的修复方法应该避免残存牙体组织过度的应力集中,以防止根折发生^[9]。有研究证实,选择与牙本质弹性模量接近的纤维桩直接修复薄弱根管,有利于保护牙根^[10]。具有高弹性模量镍铬合金制作完成的金属铸造桩核受力时产生的挠曲量小,在修复体与牙体界面之间产生的拉应力也相对减少,表现出较高的抗折强度^[11]。

本研究结果发现桩冠系统修复漏斗状根管的残根后根部 Von Mises 应力高应力区分布在唇舌侧,越接近牙根表面应力值越高,随着漏斗深度增加,碳纤维桩高应力区范围逐渐扩大,向根尖方向扩展至根中 1/3 与尖 1/3 的交界处,并且唇侧外表面高应力区的扩张范围大于舌侧外表面高应力扩张的范围;在各深度组、桩尖周围没有明显的应力集中现象;与碳纤维桩相比,铸造桩修复后 Von Mises 应力分布不均匀,各深度组高应力分布区较同等深度碳纤维桩组明显增大,应力集中明显,随着漏斗深度增加高应力区扩散至根尖 1/3 处,在铸造桩修复的所有深度组中,根尖及漏斗底处出现了应力集中。桩冠系统修复漏斗状根管的残根后根部最大主应力的高应力区均分布在舌侧,在舌侧根表面出现应力集中,随着漏斗深度的增加,高应力区分布范围逐渐增大,同等深度铸造桩较碳纤维桩应力集中区范围明显增大,且根唇侧应力分布较之不均匀,但无明显应力集中。结果提示,在去除根面继发龋坏组织及拆除不良桩修复体时,应从近远中方向进入,尽量保存牙体组织,尤其是保留唇舌侧牙体组织,增加残根抗力。

从桩冠系统修复不同深度漏斗状根管的残根后根部 Von Mises 峰值及最大主应力峰值变化趋势分析可以看到:

随着漏斗深度的增加,碳纤维桩根牙本质 Von Mises 应力峰值增加了 3.101 MPa,增幅为 10.3%,最大主应力峰值增加了 2.958 MPa,增幅为 11.7%;铸造桩 Von Mises 应力峰值增加了 6.157 MPa,增幅为 22.6%,最大主应力峰值增加了 5.486 MPa,增幅为 19.7%。铸造桩和碳纤维桩深度为 6 mm 时,应力变化幅度均较大。结果表明,在铸造桩修复漏斗状根管的残根时,随漏斗深度增加,根牙本质 Von Mises 应力及最大主应力峰值增加幅度明显大于碳纤维桩组,高应力集中区远大于同等深度碳纤维桩组,且分布不均匀,在根尖区及漏斗底唇舌侧出现应力集中。因此,在修复漏斗状根管的残根时,建议使用碳纤维桩系统修复。

经本实验,我们认为:(1)漏斗深度增加降低了牙根抗力,使高应力区范围增大,应力集中。(2)不同桩核系统修复不同深度漏斗状根管的残根后高应力区分布在根颈 1/3 到根尖 1/3 唇舌侧牙本质上,因此在桩核冠修复漏斗状根管的残根设计时应尽量保存根唇舌向牙体组织,以增加牙根抗力,同时在桩核冠修复设计时应降低所受咬合力。(3)在铸造桩根管预备时,要注意漏斗底部光滑圆钝以避免应力集中。(4)在修复漏斗状根管的残根时,尤其是深漏斗状根管的残根时,推荐使用碳纤维桩系统修复。

[参考文献]

- [1] Torbjörner A, Karlsson S, Odman P A. Survival rate and failure characteristics for two post designs[J]. J Prosthet Dent, 1995, 73:439-444.
- [2] 王惠芸. 我国人牙的测量和统计[J]. 中华口腔医学杂志, 1959, 7:147-153.
- [3] Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub J R. Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems[J]. J Prosthet Dent, 2002, 87:438-445.
- [4] Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor [J]. Dent Mater, 2005, 21:709-715.
- [5] Proos K A, Swain M V, Ironside J, Steven G P. Finite element analysis studies of an all-ceramic crown on a first premolar[J]. Int J Prosthodont, 2002, 15:404-412.
- [6] Eskitaşcıoğlu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis)[J]. J Endodon, 2002, 28:629-633.
- [7] Li L L, Wang Z Y, Bai Z C, Mao Y, Gao B, Xin H T, et al. Three-dimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts[J]. Chin Med J(Engl), 2006, 119:305-311.
- [8] Morgano S M, Milot P. Chincial success of cast metal posts and cores[J]. J Prosthet Dent, 1993, 70:11-16.
- [9] 胡书海, 長田贵幸, 割田研司, 川和忠治. 不同材质桩核修复漏斗状残根的抗疲劳强度[J]. 中华口腔医学杂志, 2005, 40:287-290.
- [10] Maccari P C, Cosme D C, Oshima H M, Burnett L H Jr, Shinkai R S. Fracture strength of endodontically treated teeth with flared root canals and restored with different post systems[J]. J Esthet Restor Dent, 2007, 19:30-36.
- [11] Hu Y H, Pang L C, Hsu C C, Lau Y H. Fracture resistance of endodontically treated anterior teeth restored with four post-and-core systems [J]. Quintessence Int, 2003, 34:349-353.