临床研究 文章编号:0253-3626(2009)01-0342-04

不同载荷角度下后牙残根核桩冠修复后三维有限元应力分析

李苏伶,付 钢,王 璐
(重庆医科大学附属口腔医院修复科,重庆 400015)

【摘 要】目的:采用三维有限元方法,不同载荷角度对后牙残根桩核冠修复体牙本质应力大小及其分布的影响,探讨后牙残根桩核冠修复时合理的桩核设计。方法:采用 CT 扫描,Mimics 软件及 Abaqus 软件建立上颌第一磨牙桩核冠的三维有限元模型.其模型包括桩核,冠,牙根,牙周膜,牙槽骨,粘接剂,根据加载方向的不同,将上述上颌第一磨牙桩核冠的三维有限元模型分为相应的实验组。在模型咬牙合面选取三个载荷点,分别在不同加载角度条件下施加 80 N 的加载力值,计算各实验组中牙本质上的 Von mises 应力、最大主应力、剪切应力的应力峰值及其上应力分布方式。结果:在不同加载角度条件下,随着加载方向与牙长轴夹角度数的增大,牙本质上各项应力峰值和高应力区均增大。结论:在本实验研究条件下,不同加载方向,对后牙残根桩核冠修复体牙本质上的应力峰值和应力分布有较大影响。

【关键词】三维有限元;应力;桩核冠
【中国图书分类法分类号】R783.1 【文献标识码】A 【收稿日期】2008-01-15

The three-dimension finite element analysis of stress in posterior tooth residual root restored post-core crown of different loading direction

LI Su-ling, et al
(*Department of Prosthondontics, the Affiliated Stomatology Hospital, Chongqing Medical University*)

【Abstract】*Objective*: To analyze the stress magnitude and distribution of remaining dentin in posterior tooth residual root restored with post-core crown using three-dimension finite element method. And then to discuss the rational core design when repairing posterior tooth root post-core crown. *Methods*: The models of residual root of maxillary first molar restored with post-core crown were created by CT scanning, Mimics software and Abaqus software. Different number, length and material of post were used in the modeling. The post was cemented with zinc-phosphate cement. A load of 240 N was applied to the occlusal surface in four directions and tensile, shear, and von Mises stresses were calculated. *Results*: The maximum stress on remaining dentin increased markedly with increasing of loading angle. *Conclusion*: The loading angle have influence on magnitude and distribution of stress. The influence from loading angle is most apparent.

【Key words】Three-dimension finite element; Stress; Post-core crown

随着根管治疗有效而广泛地开展,使得后牙的各种残冠和残根通过桩核冠修复方式得以更多地有效保留。对于桩核冠修复体应力及其分布的研究一直是口腔修复力学研究的热点。在前牙的桩核冠应力学研究中,不同形态,不同长度,不同材料的桩核均对剩余牙本质上的应力大小和分布有影响[1-5]。而这些不同的应力大小和分布结果将直接影响前牙桩核修复体的抗折性和桩核的固位力,最终影响桩核冠修复体的效果和寿命。以往的研究多集中在对前牙桩核冠修复体的应力学研究上[6,7],而目前对后牙的桩核冠修复体的应力学研究甚少。后牙桩核的设计与牙本质应力关系如何?后牙桩核如何设计才能达到最合理的应力学结果?国内外均尚未见文献报道。本实验采用三维有限元方法,研究不同载荷角度对后牙残根桩核冠修复体牙本质应力大小及其分布的影响,探讨后牙残根桩核冠修复时合理的桩核设计。

1 材料和方法

1.1 牙弓形态

基本对称、牙列完整、咬牙合关系良好、牙冠解剖形态及

作者介绍:李苏伶(1977-),男,主治医师,硕士,研究方向:口腔生物力学。
通讯作者:付 刚,男,主治医师,E-mail: jwhxx@163.com。
基金项目:重庆医科大学校级课题基金(0200100454)。

牙根长度正常的人头颅标本 1 例，美国 GE 公司的 CT 机，PC 机，Mimics 软件，Abaqus 软件。

1.2 拍摄 CT 图片

将牙弓形态基本对称、牙列完整、咬牙合关系良好、牙冠解剖形态及牙根长度正常的人头颅标本放于 CT 机扫描平台上，并将其摆放为其上牙的牙长轴与 CT 扫描截面垂直的位置。CT 扫描的条件为 120 kV，100 Ma。自颅顶至下颌骨对头颅模型进行连续扫描。扫描的间距为 0.5 mm。

1.3 CT 图片的处理

在 PC 机上使用 Mimics 软件读取 CT 数据，根据灰度值的差异，在 Mimics 里通过阈值化操作，提取上颌第一磨牙牙齿结构的相关信息，并通过其 Calcalute 3D 功能得到精确的上颌第一磨牙的 3D 几何模型。

1.4 三维有限元模型的形成

（1）Abaqus 软件读取所建立上颌第一磨牙 3D 几何模型数据，然后按 Abaqus 的 CAD 进行牙体三维模型实体建模。在建好的上颌第一磨牙牙体三维模型上，以釉牙本质线为界将牙体分为牙冠和牙根两部份。在牙冠部运用 Abaqus 软件中布尔运算功能中的相减功能，按上颌第一磨牙牙冠外形减去约 2 mm 厚的外层牙体组织，而剩余的内层牙体组织即形成桩核的核体模型。同时在上颌第一磨牙釉牙本质交界处形成 1 mm 的肩台。而由上述布尔运算相减功能减去的 2 mm 厚的外层牙体组织即为三维模型中全冠的模型。

（2）桩核桩的生成：在上述上颌第一磨牙牙体牙根部的三维几何模型上，用直接生成模型体的方法生成腭根根桩模型体、近中颊根根桩模型体和远中颊根根桩模型体。分别取腭根根桩模型体的桩长为腭根根长的 2/3，桩径为腭根根径的 1/3，近、远中颊根根桩模型体的桩长为其各自根长的 1/2，桩径为其各自根径的 1/3（2/3PR & 1/2MDBR）。桩核材料选用金合金。

（3）牙周膜用 0.2 mm 厚的壳单元模拟，磷酸锌粘结剂用 0.1 mm 厚的壳单元模拟。

（4）划分单元获得网格模型：采用 ABAQUS 自动网格划分方式进行网格划分，在这种自由网格划分方式条件下，其单元的选择取决于所剖分实体的几何特征及行为特征。对上述上颌第一磨牙的牙体及桩核冠三维几何模型进行网格划分后，共生成 8 个有限元单元体，其单元数为 118 426，节点数为 20 594，均为四节点四面体单元。

1.5 载荷条件

加载部位位于牙冠牙合面中心区域的 3 个着力点上，每个加载点上的载荷大小为 80 N，3 个载荷点的载荷共计 240 N。加载角度（力的方向与牙长轴的夹角）分别为：0°、45°、60°、90°（见图 1）。

1.6 模型假设条件和主参数设置

1.6.1 模型的假设条件 模型中假设所有材料均为均质性，各向同性线性弹性体。

1.6.2 边界约束条件 牙槽骨固定约束。

1.6.3 主要参数指标 见表 1[8-10]

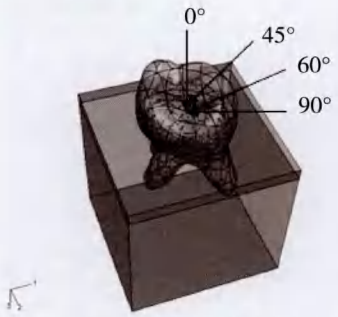


图 1 加载部位示意图

表 1 主要材料弹性模量表

材料	弹性模量（Gpa）	普瓦松比
牙本质[8]	18.600 0	0.31
韧带[8]	0.068 9	0.45
骨皮质[8]	13.700 0	0.30
骨小梁[8]	1.370 0	0.30
金属合金[9]	93.000 0	0.33
磷酸锌水门汀[8]	22.400 0	0.25
陶瓷[10]	69.000 0	0.28

2 结 果

不同载荷方向条件下的后牙残根桩核冠修复体牙本质上的的 Von mises 应力、最大主应力、剪切应力的应力峰值（MPa）见表 2。

不同载荷方向条件下的后牙残根桩核冠修复体粘接剂面上的剪切应力的应力峰值（MPa）。见表 3。

不同载荷方向条件下的后牙残根桩核冠修复体牙本质上的 Von mises 应力分布方式图。见图2~5。

3 讨 论

在三维有限元研究中，Von mises 应力反应的是材料内部各点的综合应力，而最大主应力反应的是材料内部各点的最大可拉伸应力。由于牙体组织为脆性材料，其抗压强度是抗拉强度的 5~6 倍，因而本实验选择了 Von mises 应力，最大主应力，作为结果的主要指标去评估桩核修复后的牙折风险。通常来看牙本质的抗拉强度为 50~100 MPa[10]，上颌第一磨牙的最大咬牙合力值而言其可以达到 480 N，若以我们本实验的计算结果为依据，那么可以推测

表 2　不同载荷方向对后牙残根桩核冠修复体牙本质应力的影响

负载情况	形状	材料	水门汀	负载角度°	应力峰值(MPa)	
					von mises 应力	最大应力
1	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	0	17.74	5.888
2	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	45	27.14	9.962
3	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	60	33.09	18.66
4	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	90	33.60	35.28

表 3　不同载荷方向对后牙残根桩核冠修复体粘接剂面上的剪切应力的影响

负载情况	形状	材料	水门汀	负载角度°	应力峰值(MPa)
					剪切力
1	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	0	5.592
2	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	45	8.473
3	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	60	13.951
4	桩核体	金属合金	磷酸锌水门汀	90	19.131

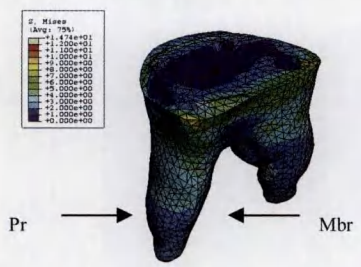


图 2　后牙残根桩核冠修复体牙本质上的 Von mises 应力分布方式图(0°)

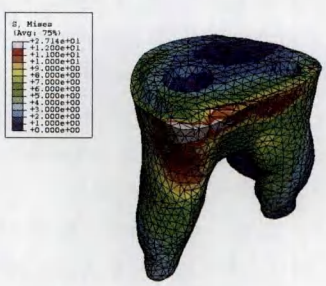


图 3　后牙残根桩核冠修复体牙本质上的 Von mises 应力分布方式图(45°)

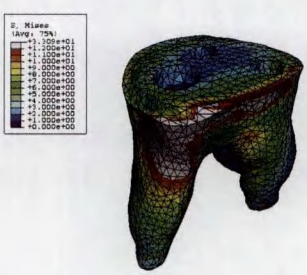


图 4　后牙残根桩核冠修复体牙本质上的 Von mises 应力分布方式图(60°)

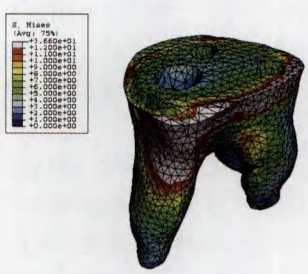


图 5　后牙残根桩核冠修复体牙本质上的 Von mises 应力分布方式图(90°)

出：当加载方向和牙长轴夹角大于 45° 时，在最大咬合力条件作用下，残根桩核冠修复体的牙本质是会发生折断的。在本实验条件，加载方向的变化对牙本质应力峰值及分布影响是很大。这是和 Yang HS[4]等在前牙研究的结果一致的。根据试验结果我们可以推测，在最大咬牙合力条件作用下，45° 、60° 、90° 这三组是有可能发生牙折的。同时斜向载荷也明显改变了牙根上的应力分布模式，不仅使得与加载方向相对应的牙根颈 1/3 上也出现了高应力区，而且使得高应力区的范围随着载荷倾斜角度的加大也明显加大，这也更加增大了牙折的可能性。而这样的结果和以往的研究结果是相吻合的[11]。本实验结果提示我们：在临床上采用桩核冠修复残根时，应该尽量减小牙尖斜度，以降低侧向牙合力对牙体组织应力和应力范围的影响，从而降低牙折风险，提高修复体使用寿命。

剪切应力主要位于桩的粘接剂和牙本质界面间，其可以导致牙-桩粘结界面的破坏，因而本实验选择剪切应力去评估桩粘接力被破坏的风险。牙本质粘接系统能为桩核提供的粘接强度为 15~30 MPa[12]，而 Johnson 和 Drummond [13,14]的研究表明磷酸锌粘接剂在 5~25 MPa 剪切应力条件下就将丧失固位力。同样若以我们的实验数据为根据，各实验组即使在正常咬牙合力作用条件下，其磷酸锌粘接剂所提供的粘接力均会遭到破坏，进而导致桩核的松动和脱落。且这种破坏程度随着载荷角度的加大而变得越发明显。因此提示：临床上在选择桩核材料的粘接剂时不应该选取磷酸锌粘接剂。而应该选取粘结性能更好的牙本质树脂粘结剂。

在本实验的研究条件下，通过对结果的整体分析我们可以得出以下结论：加载方向不仅对后牙残根桩核冠修复体牙本质上的应力峰值及分布有很大影响，而且对粘接剂面上的应力峰值也有很大影响。因此，临床上应尽量减少桩核冠修复体的水平受力。

参 考 文 献

[1] Reinhardt R A, Krejci R F, Pao Y C, et al. Dentin stresses in post-reconstructed teeth with diminishing bone support[J]. Dent Res, 1983, 62(9): 1002-1008.

[2] Ko C C, Chu C S, Chung K H, et al. Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth[J]. Prosthet Dent, 1992, 68(3): 421-427.

[3] Ukon S, Moroi H, Okimoto K, et al. Influence of different elastic moduli of dowel and core on stress distribution in root[J]. Dent Mater, 2000, 19(1): 50-64.

[4] Yang H S, Lang L A, Molina A, et al. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations[J]. Prosthet Dent, 2001, 85(6): 558-567.

[5] Albuquerque R C, Polleto L T, Fontana R H, et al. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts[J]. Oral Rehabil, 2003, 30(9): 936-943.

[6] Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth[J]. Prosthet Dent, 2005, 94(4): 321-329.

[7] Nakamura T, Ohyama T, Waki T, et al. Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material[J]. Dent Mater, 2006, 25(1): 145-150.

[8] Holmes D C, Diaz-Arnold A M, Leary J M. Influence of post dimension on stress distribution in dentin[J]. Prosthet Dent, 1996, 75(2): 140-147.

[9] Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, et al. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post[J]. Biomaterials, 2002, 23(13): 2667-2682.

[10] Kinney J H, Marshall S J, Marshall G W. The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature[J]. Crit Rev Oral Biol Med, 2003, 14(1): 13-29.

[11] Toksavul S, Zor M, Toman M, et al. Analysis of dentinal stress distribution of maxillary central incisors subjected to various post-and-core applications[J]. Oper Dent, 2006, 31(1): 89-96.

[12] Asmussen E, Peutzfeldt A. The influence of relative humidity on the effect of dentin bonding systems[J]. Adhes Dent, 2001, 3(2): 123-127.

[13] Johnson J K, Sakumura J S. Dowel form and tensile force [J]. Prosthet Dent, 1978, 40(6): 645-649.

[14] Drummond J L, Toepke T R King T J. Thermal and cyclic loading of endodontic posts[J]. Eur J Oral Sci, 1999, 107(3): 220-224.

（责任编辑：关蕴良）

读者·作者·编者

关于论文写作中的作者署名

我国著作权法公布以来，已得到社会各界的广泛重视，作为医学科技期刊必须不折不扣的执行著作权法。为此将本刊对作者署名的有关要求重申如下。

一、作者署名的意义和应具备的条件

1、署名的意义：(1)标明论文的责任人，文责自负。(2)医学论文是医学科技成果的总结和记录，是作者辛勤劳动的成果和创造智慧的结晶，也是作者对医学事业做出的贡献，并以此获得社会的尊重和承认的客观指标，是应得的荣誉，也是论文版权归作者的一个申明。(3)作者署名便于编辑、读者与作者联系，沟通信息，互相探讨，共同提高。作者姓名在文题下按序排列，排序应在投稿时确定，在排版过程中不应再做更改；作者单位名称及邮政编码位于作者名下方。

2、作者应具备下列条件：(1)参与选题和设计，或参与治疗的分析和解释者。(2)起草或修改论文中关键性理论或其它主要内容者。(3)能对编辑部的修改意见进行核修，在学术界进行答辩，并最终同意该文发表者。以上 3 条均需具备方可作为文章的作者。仅参与获得资金或收集资料者不能列为作者，仅对科研小组进行一般管理者应列入致谢部分。对文章中的各主要结论，均必须至少有 1 位作者负责。在每篇文章的作者中需要确定 1 位能对该论文全面负责的通信作者。通信作者应在投稿时确定，若在来稿中未特殊标明，则视第一作者为通信作者。第一作者与通信作者不是同一人时，应在论文首页脚注通信作者姓名、性别、职称和电子邮箱。作者中如有外籍作者，应附本人亲笔签名同意在本刊发表的函件。

本刊编辑部