

· 论著 ·

不同开髓方法下上中切牙贴面修复的三维有限元分析*

刘子嫣* 杨春桃 王倩 徐丽 林杭

泉州医学高等专科学校 (福建 泉州 362000)

【摘要】目的 应用三维有限元分析法分析上颌中切牙在不同开髓方法下贴面修复对牙体组织应力分布的影响。**方法** 建构上颌中切牙进行三维实体模型, 依据开髓方式的与贴面修复方式的不同分别建立四组实验模型, A组为传统开髓对接型瓷贴面, B组为传统开髓包绕型瓷贴面, C组为微创开髓对接型瓷贴面, D组为微创开髓包绕型瓷贴面。加载力为静态力, 施力方向和牙体长轴相交呈45°, 设定载荷大小为100N, 于腭侧中1/3和切1/3相交处施力, 分析指标是von Mises应力、最大主应力。**结果** (1)应力峰值: 通过von Mises应力和最大主应力的数据呈现, 传统开髓对接型(A组)呈现出最高的应力峰值, 微创开髓对接型(C组)呈现出最低的应力峰值。(2)应力分布: 相比A组, C组的应力分布情况优于A组, 应力向根尖更广区域分散; 相比B组, D组的应力分布情况优于B组, 应力向根尖更广区域分散; 对比最大主应力与von Mises应力的应力峰值数据, A组峰值数值高于B组; D组峰值数值稍高于C组; A组和B组在应力分布情况上差异不明显; C组和D组在应力分布情况上差异不明显。**结论** 从生物力学角度考虑上颌中切牙开髓建议使用微创方式; 传统开髓后建议选取包绕型贴面; 微创开髓后两终贴面均可选择。

【关键词】 传统开髓; 微创开髓; 三维有限元; 贴面

【中图分类号】 R783.3

【文献标识码】 A

【基金项目】 泉州医学高等专科学校校级课题(XJK1925B)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2023.06.012

Three-Dimensional Finite Element Analysis of Upper and Middle Incisor Veneer Restoration Under Different Pulp Opening Methods*

LIU Zi-yan*, YANG Chun-tao, WANG Qian, XU Li, LIN Hang.

Quanzhou Medical College, Quanzhou 362000, Fujian Province, China

Abstract: Objective To analyze the effect of veneer restoration on the stress distribution of maxillary central incisor with different endodontics access methods by three-dimensional finite element method. **Methods** A three-dimensional corporeal model of maxillary central incisor was built. Four groups of experimental models were established according to the discrepant methods of endodontics and veneer repair. Group A was the traditional pulp open butt porcelain veneer, group B was the traditional pulp open butt porcelain veneer, group C was the minimally invasive pulp open butt porcelain veneer, and group D was the minimally invasive pulp open butt porcelain veneer. The loading force was static force, and the direction of force application intersects with the tooth axis at a 45°. The load was set as 100N, and the force was applied at the intersection of the middle 1/3 of the palatal side and the cut 1/3. The analysis indexes were von Mises stress and maximum main stress. **Results** (1) the maximum value stress of traditional open type pulp docking (group A) von Mises stress and the maximum main stress assumes the highest stress peak, minimally invasive open type pulp docking (group C) von Mises stress and maximum principal stress presents the minimum stress peak value. (2) Distribution of stress: match group C against group A, the stress distribution of group C is better than group A, and the stress disperses towards a wider area in the tooth root. Match group D against group B, the group D's stress distribution was better than that of group B, and the stress dispersed to a wider area in the tooth root. The maximum value stress of group A in the maximum main stress and von Mises stress were more than those of group B. The maximum main stress and von Mises maximum value stress of group D were slightly higher than those of group C. The difference of stress distribution between group A and group B is not obvious. The difference of stress distribution between group C and group D is not obvious. **Conclusion** It is recommended to use minimally invasive methods to open the tooth canal of maxillary central incisor teeth. After traditional pulp opening, it is recommended to choose the bag type veneer; Both final veneers can be selected after minimally invasive pulp opening.

Keywords: Traditional Endodontics; Minimally Invasive Endodontics; Three-Dimensional Finite Element; Veneer

上颌中切牙是外伤高发的牙位, 外伤后易出现牙髓或根尖周炎症, 临床需要进行根管治疗。在根管治疗过程中, 正确的开髓对根管治疗成功有着重大意义。根管治疗后牙齿的远期效果受到剩余牙体组织的影响^[1], 为获得开髓便利形, 临床上传统开髓方法在牙颈部的牙齿磨除量是比较多的。通过进一步修正传统开髓方式, 能够更精准地把握开髓的范围和牙齿的磨除情况, 更准确的施行微创治疗^[2-3], 尽可能的保留健康牙体组织, 以提升根管治疗后患牙远期保存率。

根管治疗后的患牙, 为了更好的恢复解剖形态、行使咀嚼功能及保护剩余脆弱的牙体组织, 临床对于后牙常规根据缺损情况进行全冠修复或嵌体修复, 对于前牙美学区域, 临床上在修复患牙的同时需考虑如何更好的进行美学修复来恢复美观。前牙临床上常使用的美学修复方式为全瓷冠修复和瓷贴面修复, 已有学者对微创开髓后全冠修复的牙体组织应力分布进行有限元分析^[4]。但对于一些前牙牙冠相对完整的牙齿, 贴面由于磨除牙体组织少成为更为微创的选择, 尚未有学者研究。三维有限元分析法是进行口腔医学研究, 对于牙体组织进行生物力学分析的一项重要技术

^[5], 目前已经得到广泛使用。有限元分析方法建立的三维有限元模型模型接近真实天然牙组织结构, 能够有效的分析牙体受力情况。本文以上颌中切牙为例, 在不同开髓方式及贴面修复的条件下, 进行三维有限元分析, 为临床的开髓及修复方式提供参考。

1 资料和方法

1.1 三维有限元模型的建立 实验样本选择一颗完整的上颌中切牙。CBCT扫描离体的上颌中切牙后获得影像数据, 通过Creo软件的设计, 参照真实牙体结构对上颌中切牙进行三维模型重建, 结构包括牙釉质、牙本质、牙周膜及牙槽骨, 其中牙槽骨最高点位于距离釉牙骨质界根向2mm处^[6], 具体组成如图1。

1.2 模型分组 传统开髓对接型瓷贴面(A组): 开髓孔位于舌面窝, 髓腔与根管连续相接, 舌面观为圆三角形^[7-8], 根管治疗后对接型瓷贴面修复。传统开髓包绕型瓷贴面(B组): 行传统开髓, 根管治疗后对包绕型瓷贴面修复。微创开髓对接型瓷贴面(C组): 根管方向决定开髓点, 开髓点位于根管腔中心线与牙面的交点, 即为开髓定点及开髓方向, 采用直径1.5mm的微创车针进入髓腔形

【第一作者】刘子嫣, 女, 研究生, 主要研究方向: 口腔医学。E-mail: 949331474@qq.com

【通讯作者】刘子嫣

成直线通路^[9]。根管根尖段预备同传统开髓方式，根管治疗后对接型瓷贴面修复。微创开髓包饶型瓷贴面(D)组：行微创开髓，根管治疗后包饶型瓷贴面修复。

对接型瓷贴面边缘位于牙槽嵴冠向2.5mm，唇面颈三分之一厚度0.3mm，唇面切三分二厚度0.5mm，切端磨除2mm，粘结

剂层厚度为50 μ m。包饶型瓷贴面边缘位于牙槽嵴冠向2.5mm，唇面颈三分之一厚度0.3mm，唇面切三分二厚度0.5mm，切端磨除2mm，粘结剂层厚度为50 μ m，舌侧部分包饶1mm。上颌中切牙传统开髓及微创开髓的示意图如图2所示，四组贴面修复后模型分组如图3所示。

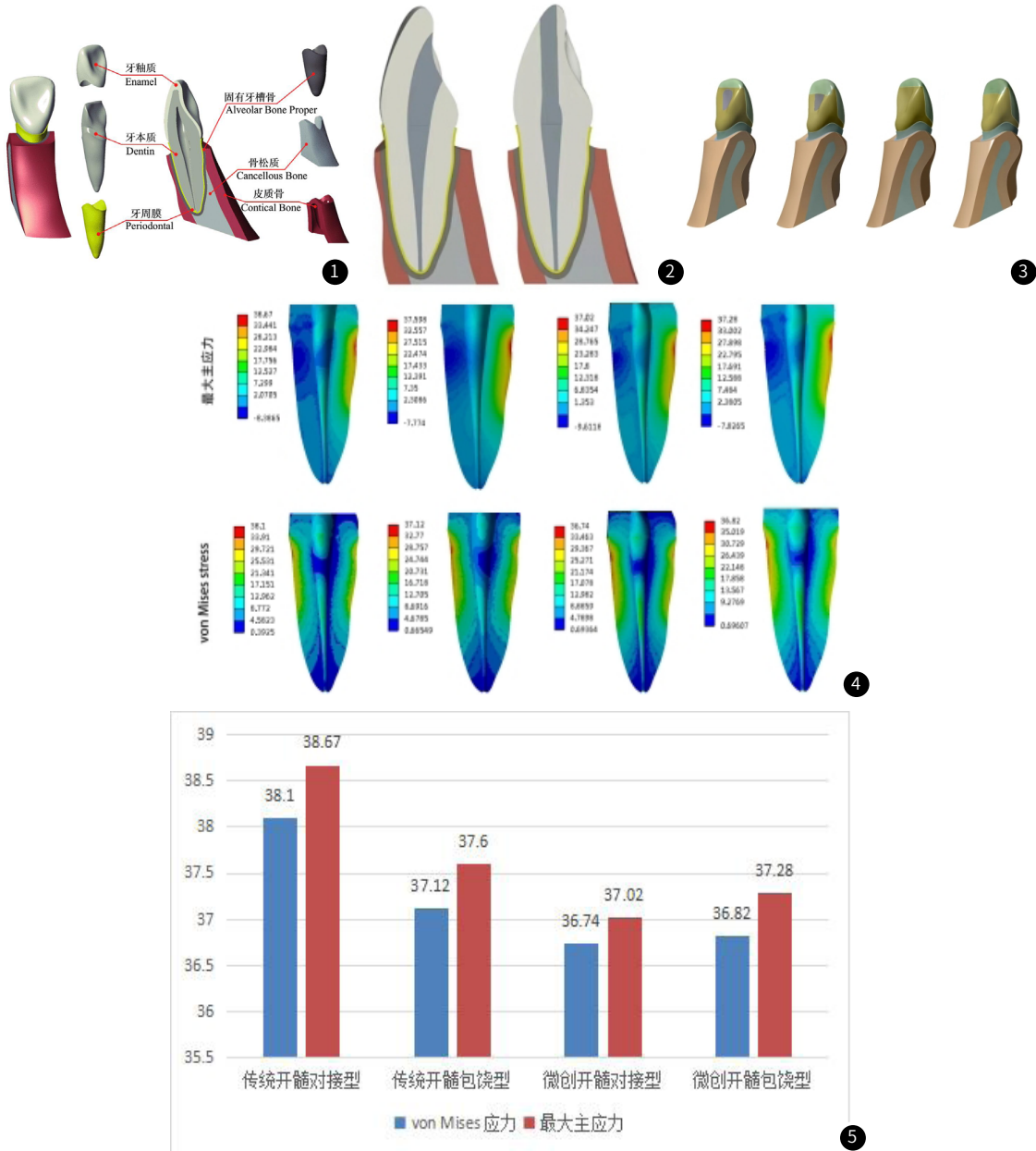


图1 上颌中切牙模型示意图; 图2 传统开髓与微创开髓示意图; 图3 模型分组 (左至右依次为A、B、C、D组模型); 图4 各组模型的von Mises 应力、最大主应力的牙齿应力分布情况; (左至右依次为A、B、C、D组模型); 图5 各组模型的von Mises和最大主应力 应力的应力峰值。

1.3 网格划分 四组三维重建模型分别进行网格划分，其中构建的牙槽骨部分，因实验需要研究的是牙体组织的应力分布情况，将牙釉质、牙本质等需研究结构进行网格划分，不再对牙槽骨部分进行网格划分。网格数及节点数如表1。

1.4 实验设定 实验中各个结构均假设为连续、均质，同时各方向性质相同的线弹性材料。实验中各个组织结构认定为固定接触，边界以固有牙槽骨的外固定约束为设定。力学参数见表2^[6,10,11]。

1.5 加载条件及分析指标 加载力为静态力，施力方向和牙体长轴相交呈45°，设定载荷大小为100N，于腭侧中 1/3 和切 1/3 相交处施力^[12]。实验数据分析指标是von Mises应力、最大主应力。

2 结果

图4显示了A组、B组、C组、D组四组牙体应力分布情况的，

以von Mises应力和最大主应力为观测指标。图5显示了A组、B组、C组、D组四组牙体的应力峰值，以von Mises应力和最大主应力为观测指标。

从图4及图5中得出：(1)应力峰值：传统开髓对接型(A组)的von Mises 应力和最大主应力的应力峰值均表现为最大，微创开髓对接型(C组)的von Mises 应力和最大主应力的应力峰值均表现为最低。(2)应力分布：相比A组，C组的应力分布与 A 组相比更为均匀，应力分散至根尖更多区域；相比B组，D组的应力分布与 B 组相比更为均匀，应力分散至根尖更多区域；A组在最大主应力与von Mises应力的应力峰值高于B组；D组的最大主应力与von Mises应力的应力峰值稍高于C组；A组和B组在应力分布情况上差异不明显；C组和D组在应力分布情况上差异不明显。

表1 四组三维模型的节点数及网格数

模型	节点数	网格数
A组	859833	569781
B组	868858	574519
C组	869398	576010
D组	879567	581630

表2 实验材料参数

结构名称	弹性模量/GPa	泊松比 μ
牙本质	18.6	0.31
牙釉质	84.1	0.33
牙周膜	0.069	0.45
固有牙槽骨	13.7	0.3
松质骨	1.37	0.3
皮质骨	13.7	0.3
牙胶尖	0.00069	0.45
光固化复合树脂	8.3	0.28
全瓷贴面	95	0.25
水门汀	8.3	0.35

3 讨论

开髓作为根管治疗操作过程中的首要的操作,建立便于后续根管治疗的直线通路对后续的治疗流程有着重大影响^[13]。Lang等^[14]研究表明在开髓的洞型方面应尽可能微创,以减少磨除不必要的牙冠部牙体组织。Panivisai P等^[15]研究说明磨除牙体组织太多可能增加牙体弯曲形变的危险,随之而来的是增大了牙齿折断的潜在风险。国内外学者为了保留更多的牙体组织,同时能够获取直线的开髓路径,对上颌中切牙采取以根管方向为引导,最终确定唇侧或切端进入髓腔的方法^[16-17]。

Gutmann等^[2]表明为获得更好的牙齿远期保存,口内治疗中牙齿保持是重要原则,论述了牙髓微创治疗的定义和方式。微创开髓是一种通过辅助措施的精确开髓方式,能够保留更多的牙体组织,避免了传统方式的髓室顶需要完全去除,同时保留了根管口处颈周牙本质。Al Amri MD等^[18]研究表明,传统的开髓方法为了获得更好的直线通路,去除颈周牙本质,降低了牙体抗折段能力,加大了根管治疗后牙体折裂的风险。等研究表明,Santos Pantaleon D等^[19]牙齿的远期预留时间和牙体的抵抗折断能力与牙体组织的剩余量有着密切关系^[18]。出于美观的需求,前牙根管治疗后常需进行美学修复,将微创治疗贯彻始终,可以选择贴面修复的方式来恢复前牙区的美观。

实验中对比微创开髓对接组(C组)和传统开髓对接组(A组),观察最大主应力以及von Mises应力这两个分析指标,C组的应力峰值都低于A组。对比微创开髓包绕组(D组)和传统开髓包绕组(B组),其中von Mises应力及最大主应力这两个观测指标显示,D组应力峰值都低于B组,微创开髓方式在牙颈部区域降低了应力最大值,应力集中情况得到了很好的改善。同时通过对比牙根处的应力分布,可以得到相比A组,C组的应力分布与A组相比更为均匀,应力分散至根尖更多区域;而相比B组,D组的应力分布与B组相比更为均匀,应力分散至根尖更多区域,微创开髓较传统开髓能够改善应力分布情况,更好的改善牙颈部的应力集中。以上结果表明,我们在上颌中切牙根管治疗开髓步骤中,建议采用微创开髓的方式,保留更多的健康牙体组织,提升牙体的抗折性。

通过分析A组和B组两组的最大主应力与von Mises应力数据,A组在应力峰值高于B组,在A组和B组的应力分布状态改变

上未显示出明显差异。传统开髓方式下包绕型贴面相较于对接型贴面能减低应力值,力量不直接作用于充填材料,减少了充填楔子状外形带来的楔效应,同时能将载荷均匀地分散^[20]。通过分析C组和D组两组的最大主应力与von Mises应力数据,D组的应力峰值稍高于C组,D组和C组的应力分布状态差异不明显。微创开髓方式下,两者贴面修复后的应力改善大致相等,C组牙体磨除量略低于D组,应力最大值略低于D组,贴面修复本身为微创方式,牙体磨除量很少,集中在牙冠部,对于牙根部应力分布影响较少。传统开髓后建议选取包绕型贴面,降低颈部的应力,而微创开髓后选择对接型贴面和包绕型贴面均可。

本实验研究结果仅限于上颌中切牙,暂不能确定对于其他牙位的开髓有参考意义。口腔内部牙齿在行使功能时,为动态状态,本实验的加载力量为静态力量,相较动态力量,不断变化的载荷方向和大小都会有不同的应力状态,和静态载荷的应力分布有一定区别。

参考文献

- [1] Gluskin AH, Peters CI, Peters OA. Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms [J]. British Dental Journal, 2014, 216 (6): 347-353.
- [2] Gutmann J L. Minimally invasive dentistry (Endodontics) [J]. Journal of Conservative Dentistry, 2013, 16 (4): 282-283.
- [3] 蒋宏伟. 微创牙髓治疗的理论与实践 [J]. 中华口腔医学杂志, 2016, 51 (8): 460-464.
- [4] 胡爱云, 林玉婷. 前牙瓷贴面修复术后护理宣教对远期效果影响的调查 [J]. 罕少疾病杂志, 2015 (02): 42-44.
- [5] Trivedi S. Finite element analysis: a boon to dentistry [J]. Oral Biol Craniofac Res, 2014, 4 (3): 200-203.
- [6] Apicella D, Aversa R, Tatullo M, et al. Direct restoration modalities of fractured central maxillary incisors: A multi-levels validated finite elements analysis with in vivo strain measurements [J]. Dental Materials, 2015, 31 (12): 289-305.
- [7] Cohen S, Burns R. Cohen's pathways of the pulp [M]. 11th edition. St. Louis Missouri: Elsevier, 2011.
- [8] Ingle J I, Slavkin H C. Ingles Endodontics [M]. Hamilton: BC Decker Inc, 2008.
- [9] Krastl G, Zehnder M S, Connert T, et al. Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology [J]. Dental Traumatology, 2015, 32 (3): 240-246.
- [10] 甄敏, 胡文杰, 荣起国, 等. 上颌中切牙冠折行冠延长术并桩核冠修复的三维有限元分析 [J]. 北京大学学报(医学版), 2015, 47 (6): 1015-1021.
- [11] 高小杰. 循环温度与咬合力作用下不同厚度瓷贴面三维有限元分析 [D]. 山东大学, 2018.
- [12] Dejak B, Motkowski A. Finite element analysis of strength and adhesion of cast posts compared to glass fiber-reinforced composite resin posts in anterior teeth [J]. Journal of Prosthetic Dentistry, 2011, 105 (2): 115-126.
- [13] Yahata Y, Masuda Y, Konabayashi T. Comparison of apical centring ability between incisor-shifted access and traditional access for maxillary anterior teeth. [J]. Aust Endod J, 2017, 43 (3): 123-128.
- [14] Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, et al. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root [J]. Journal of Dental Research, 2006, 85 (4): 364-368.
- [15] Panitvisai P, Messer H H. Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures [J]. Journal of Endodontics, 1995, 2 (21): 57-61.
- [16] McCabe P S. Avoiding perforations in endodontics [J]. Journal of the Irish Dental Association, 2006, 52 (3): 139-148.
- [17] 卢国华, 姚峰. 唇颊侧开髓法根管治疗465例临床分析 [J]. 中华全科医学, 2007, 5 (5): 433-433.
- [18] Al Amri MD, Al-Johany S, Sherfudhin H, et al. Fracture resistance of endodontically treated mandibular first molars with conservative access cavity and different restorative techniques: an in vitro study. [J]. 2016. 42 (3): 124-131.
- [19] Santos Pantaleon D, Morrow BR, Cagna DR, et al. Influence of remaining coronal tooth structure on fracture resistance and failure mode of restored endodontically treated maxillary incisors. [J]. J Prosthet Dent, 2018, 119 (3): 390-396.
- [20] 侯波. 不同材料嵌体修复MOD洞型对牙体组织应力分布影响的三维有限元分析 [D]. 西安: 第四军医大学, 2008.

(收稿日期: 2022-12-24)

(校对编辑: 姚丽娜)