

髓腔固位冠及桩核冠修复下颌第一磨牙大面积缺损的生物力学分析

赵楚翘¹ 徐一驰¹ 刘定坤² 杨军星¹ 魏子清² 唐林俊² 沈杰² 刘宇昆² 刘志辉^{1*}

(1. 吉林大学口腔医院 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学口腔医学系 吉林 长春 130021)

[摘要] 目的:利用有限元法对比分析髓腔固位冠及桩核冠对大面积缺损的下颌第一磨牙剩余牙体组织的应力大小及分布的影响。方法:应用 CT 扫描下颌第一磨牙后建立三维有限元模型并以完整牙齿作为对照组,模拟根管治疗过程后建立 3 种缺损的模型作为实验组:近远中壁缺损(A)组、颊壁近中壁缺损(B)组、颊壁及近远中壁缺损(C)组,分别采用髓腔固位冠及桩核冠修复。载荷 1 以 200N 的总载荷垂直向加载模拟正中咬合;载荷 2 以 200 N 的总载荷与牙长轴成 45°斜向加载模拟侧方咬合,应用 Abaqus 软件分析剩余牙体组织的 von Mises 应力和最大主应力的大小及分布情况。结果:髓腔固位冠修复后牙体组织所受应力高于桩核冠,甚至可高出 1 倍;髓腔固位冠修复后应力集中于髓室底,桩核冠修复后应力集中于远中根尖 1/3。结论:髓腔固位冠和桩核冠均是下颌第一磨牙大面积缺损可选择的修复方案,桩核冠对牙体组织具有更好的保护作用。

[关键词] 桩核冠 髓腔固位冠 抗折性能 有限元研究 生物力学分析

[文献标识码] A **[文章编号]** 1671—7651(2018)05—0513—05

[doi] 10.13701/j.cnki.kqxyj.2018.05.013

Biomechanical Analysis of Repairing Large Area Defects of Mandibular First Molar with Endocrown and Post-core Crown. ZHAO Chu-qiao¹, XU Yi-chi¹, LIU Ding-kun², YANG Jun-xing¹, WEI Zi-qing², TANG Lin-jun², SHEN Jie², LIU Yu-kun², LIU Zhi-hui^{1*}. 1. Stomatology Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China; 2. School of Stomatology, Jilin University, Changchun 130021, China.

[Abstract] **Objective:** To compare the stress magnitude and distribution of residual dentin in mandibular first molar restored with endocrown or post-core crown using three-dimension finite element methods. **Methods:** The three-dimensional finite element models of mandibular first molar were established after scanning by CT. A complete tooth was set as the control group. After simulating root canal therapy, three experimental group models with three kinds of defects were set as the experimental group: defect of mesial and distal proximal surface (group A); defect of buccal and mesial proximal surface (group B); defect of buccal, mesial, and distal proximal surface (group C). Then, endocrowns and post-core crowns were used to restore the defects. A load of 200N, simulating intercuspal occlusion, was applied vertically to the occlusal surface, and a load of 200 N simulating lateral occlusion was applied to the occlusal surface with a 45°angle to the long axis of the tooth. Von Mises stresses and max principal stresses were calculated by Abaqus software. **Results:** The stress of tooth tissue restored by endocrown was higher than that of post-core crown even more than 1 times. The stress of endocrown was concentrated in the pulp floor, and that of the post-core crown was concentrated in the distal apical 1/3. **Conclusion:** Endocrown and post-core

crown are both applicable for mandibular first molar with large area defect, however, the post-core crown has better protective effect for the tooth tissue.

[Key words] Post-core crown Endocrown Fracture resistance Finite element analysis Biomechanical analysis

基金项目 吉林省重点科技攻关项目(编号:20150204004YY)

吉林省医药健康产业发展引导资金项目(编号:201603028YY)

长春市“双十工程”项目(编号:16ss12)

吉林省医药产业发展引导资金项目(编号:20150311070YY)

吉林大学研究生创新基金资助项目(编号:2017065)

作者简介 赵楚翘(1992~),女,1992年3月,吉林公主岭人,硕士在读,主要从事口腔生物力学研究。

* 通讯作者 刘志辉, E-mail:liuzhihui1975@sina.com

下颌第一磨牙对于行使咀嚼功能及维持殆关系稳定具有重要作用,但因其萌出较早、解剖形态复杂,易成为牙髓病的好发牙位。根管治疗是牙髓病唯一有效的治疗方法,而根管治疗后的牙齿因牙体组织丧失、牙本质小管干燥、牙

周感受器敏感度降低等原因变得质脆易折^[1]。

近年来,随着“微创”理念的传播,牙体缺损修复趋于“嵌体化”,即应用保留更多牙体组织,依靠髓腔固位的髓腔固位冠进行修复。一些学者经过研究证明^[2,3],髓腔固位冠是可替代可能造成根折的桩核冠的修复方式。但也有学者认为^[4],髓腔固位冠临床应用时间尚短,技术敏感性高,其远期修复效果尚不确定,而桩核冠经过几十年的应用,效果可靠、患者满意度高。针对大面积缺损的情况,选用何种修复方式能更好地保护剩余牙体组织,长期稳定地行使咀嚼功能尚存在争议^[5]。有限元研究准确、高效,因此,应用这种方法对比分析髓腔固位冠和桩核冠对根管治疗后的下颌第一磨牙大面积缺损的牙体组织抗折性能的影响,从而为临床医生在修复方式选择时提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与设备 下颌第一磨牙形态完整的健康成人志愿者 1 名(吉林大学口腔医院患者,已获患者知情同意),CBCT(Carestream 公司,美国),Mimics 10.01(Materialise 公司,比利时),Geomagic studio 12.0(Raindrop Geomagic 公司,美国),CATIA V5R21(Dassault 公司,法国),HyperMesh 13.0(Altair 公司,美国),Abaqus 6.14(Dassault 公司,法国)。

1.2 实验分组及模型设计

1.2.1 对照组模型 对照组为完整牙及牙周组织,包括牙釉质、牙本质、牙髓、牙周膜(厚度为 0.2 mm),以及位于釉牙骨质界(CEJ)下 1.5 mm 包绕牙根的简化牙槽骨模型。

1.2.2 实验组模型 模拟根管治疗过程,得到治疗后殆面缺损模型,再结合临床较常见的缺损形式,构建不同程度缺损,分别为近远中壁缺损(A)、颊壁近中壁缺损(B)、颊壁及近远中壁缺损(C)。为实现研究大面积缺损的目的,本实验将缺损设计为极限性缺损,即缺损壁均缺损至 CEJ 上 2.0 mm,相当于缺损至龈缘。2 种修复体设计要求如下:髓腔固位冠厚度至少 1.5 mm,牙尖覆盖,预备体轴壁外展 5°,余留壁厚度均不少于 1.0 mm,垫底材料厚度约 0.5 mm。桩核冠组,冠修复体殆面厚度至少 1.5 mm,桩直径约为根直径的 1/3,根尖保留 4.0 mm 的牙胶封闭,预备体龈壁保留 1.0 mm 牙本质肩领,轴壁内聚 5°,肩台宽 1.0 mm。以上模型均点线角圆钝,保留厚 0.1 mm 的粘结剂层。

1.3 三维有限元模型的建立 应用 CBCT 扫描志

愿者牙列,扫描层厚为 180 μm,获得 553 张 CT 影像。在计算机上测得该志愿者左下颌第一磨牙,冠长 6.9 mm,根长 12.4 mm,符合王惠芸^[6]的统计标准。将获得数据以 DICOM 格式导入 Mimics 中,经阈值化处理、calculate3D 生成完整牙体、牙本质与牙髓、牙髓 3 个部件,以 STL 格式导入 Geomagic。对获得的点云数据进行修整,生成 NURBS 曲面,得到各部件表面特征,以 IGES 格式导入 CATIA 中,通过布尔运算、偏移曲面等操作得到牙及牙周组织模型作为对照组,并根据研究需要建立不同程度缺损及相应修复模型。将以上模型分别导入专业的有限元网格划分软件 Hyper Mesh 中,因牙齿解剖形态复杂,采用四节点四面体单元生成自由网格,所获节点及单元数见表 1。

表 1 有限元模型的节点及单元数

Table 1 Information of nodes and elements in the finite element models

模型		节点数	单元数
完整牙齿		118377	512636
髓腔固位冠修复	缺损 A	141568	561570
	缺损 B	156332	632437
	缺损 C	132266	523260
桩核冠修复	缺损 A	204580	797444
	缺损 B	196908	758424
	缺损 C	198342	766852

1.4 实验假设、边界条件、参数设定 假设模型中的组织和材料为连续、均质和各向同性的线弹性材料,受力变形符合小变形;所有的模型之间的接触关系都定义为绑定^[7],受力时模型各截面之间不发生相对滑动,各单元间有足够的稳定性;设定牙槽骨底面为完全约束。实验所用材料力学参数见表 2。

表 2 材料力学参数

Table 2 Mechanics parameters of materials

材料	弹性模量/GPa	泊松比
牙釉质 ^[8,9]	84.1	0.33
牙本质 ^[8,9]	18.6	0.31
牙髓 ^[10]	0.002	0.45
牙周膜 ^[11,12]	0.0689	0.45
牙槽骨 ^[9,11]	13.7	0.30
牙胶 ^[11,13]	0.00069	0.45
垫底 ^[9] (Flowable resin)	5.3	0.28
粘结剂 ^[9] (Multilink Automix)	5	0.29
陶瓷 ^[9] (IPS e. max CAD)	100	0.20
铸造纯钛桩核 ^[14]	110	0.3

1.5 载荷条件 参考 Dejak 等^[8]的加载方式,模拟临床正常咬合情况,对下颌第一磨牙施加静态载荷。

载荷 1 模拟正中咬合,采用均布载荷,加载部位为中央窝、近远中边缘嵴、近远中颊尖顶,总载荷为 200 N,方向为垂直向加载。载荷 2 模拟侧方运动,加载部位为近远中颊尖的颊斜面,总载荷约为 200 N,方向为与牙体长轴成 45°角的斜向加载。

1.6 应力分析及结果输出 应用 Abaqus 软件计算牙本质 von Mises 应力峰值和最大主应力峰值,并分析应力分布情况。

2 结果

2.1 2 种方式修复后牙本质应力峰值比较 与对照组相比,修复后牙本质的应力峰值有所下降。不同加载条件下,2 种方式修复下颌第一磨牙不同程度缺损后剩余牙本质 von Mises 应力峰值及最大主应力峰值见表 3。

2.2 2 种方式修复后牙本质应力分布趋势 垂直载荷下,修复后牙本质应力集中在根分叉区、牙颈部及远中根尖 1/3,分布趋势与天然牙相似,但斜向载荷下有明显不同。2 种载荷下,髓腔固位冠组的 von Mises 应力峰值均位于髓室底近中,桩核冠组均位

于远中根尖 1/3。垂直载荷下,髓腔固位冠与桩核冠最大主应力峰值均位于根分叉区。斜向载荷下,髓腔固位冠组最大主应力主要集中于远中根管中上段的颊侧,桩核冠组集中于远中根尖 1/3 与根中1/3 交界处(图 1、图 2)。

表 3 下颌第一磨牙的不同程度缺损经髓腔固位冠及桩核冠修复后的 von Mises 应力和最大主应力峰值

Table 3 The von Mises stress and maximum principal stress of different defect in mandibular first molar restored with endocrown and post-core crown MPa

缺损形式	修复方式	vonMises 应力		最大主应力	
		垂直载荷	斜向载荷	垂直载荷	斜向载荷
完整牙齿	—	13.78	28.83	5.70	12.67
缺损 A	髓腔固位冠	9.77	12.81	6.12	7.22
	桩核冠	7.33	10.52	4.29	7.44
缺损 B	髓腔固位冠	12.92	14.71	6.57	7.74
	桩核冠	6.40	9.58	4.15	7.70
缺损 C	髓腔固位冠	10.43	13.34	6.17	7.18
	桩核冠	6.04	9.49	4.37	7.48

注:—为未修复

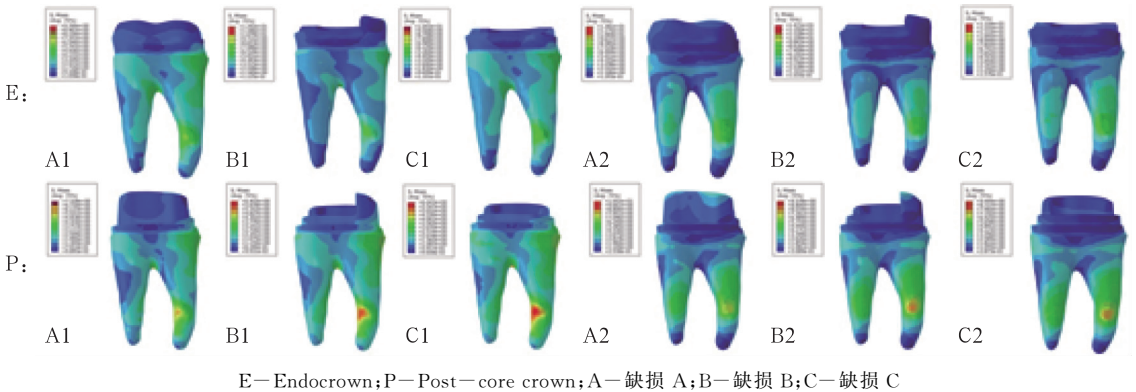


图 1 不同载荷下髓腔固位冠及桩核冠修复三种缺损后牙本质 von Mises 应力分布

Fig. 1 The distribution of von Mises stress in the remaining dentin of three kinds of defects restored with endocrown and post-core crown with simulating occlusion.

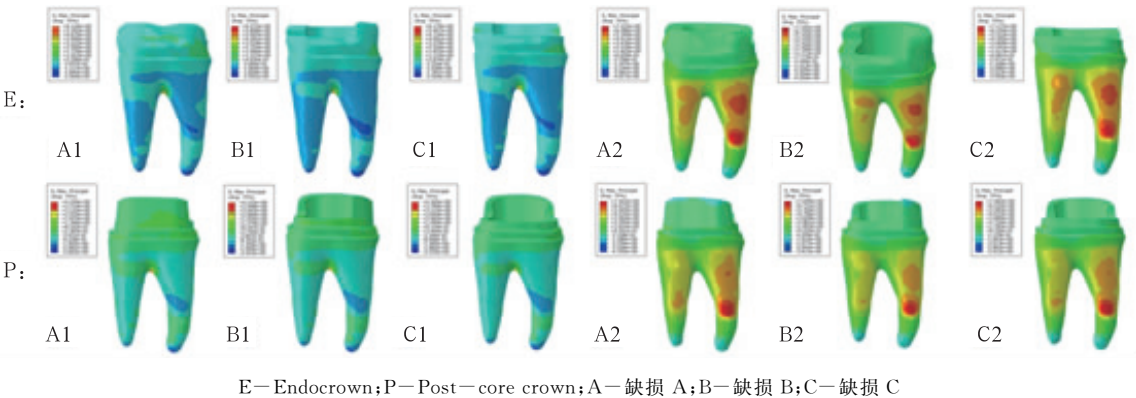


图 2 不同载荷下髓腔固位冠及桩核冠修复三种缺损后牙本质最大主应力分布

Fig. 2 The distribution of maximum principal stress in the remaining dentin of three kinds of defects restored with endocrown and post-core crown with simulating occlusion.

3 讨论

3.1 有限元模型的建立 本研究参考各种建模方法^[15,16],采用 CBCT 扫描天然牙、应用专业的有限元网格划分软件 Hyper Mesh 进行有限元模型的建立,最大限度地实现模型的相似性,所建立的模型解剖结构清晰、还原度高。同时,Geomagic 和 CATIA 的联合应用,极大地降低了建模的时间成本。在应力加载方面,参考志愿者的实际咬合接触位置,使实验结果更接近临床实际,为后续研究提供了一个准确、便捷、实用的三维有限元模型建立方法。

3.2 观察指标及结果分析 von Mises 应力反映材料内部某点各个方向上的综合应力,是有限元研究常用的参考指标。牙体组织为准脆性材料,抗压不抗拉^[17],最大主应力是反应材料内部拉应力的指标,因此,本实验选择 von Mises 应力和最大主应力作为观察指标。

正常载荷条件下,牙本质的抗拉强度为 33~40 MPa,抗压强度 250~480 MPa^[18,19]。本实验中,修复后牙本质 von Mises 应力峰值的最大值为 14.71 MPa,远低于牙本质的折裂强度,因此髓腔固位冠和桩核冠均可以作为下颌第一磨牙大面积缺损的修复方式。斜向载荷时牙本质应力高于垂直载荷时,这符合临床上常因侧向咬合力过大造成牙齿折裂的情况。应通过降低牙尖斜度、调磨对颌过锐牙尖等方式,减小侧向力对牙体组织的不利影响。

根据结果,2 种载荷下,牙本质应力分布与修复方式的选择有关,缺损形式对应力分布影响不大。除斜向载荷下 2 种修复方式的最大主应力峰值接近外,其他观察指标的值髓腔固位冠均高于桩核冠,甚至可高出 1 倍。因此,在后牙大面积缺损时,桩核冠修复似乎更有利于牙体组织的保护。另外,从应力分布趋势角度分析,髓腔固位冠修复后应力峰值位于髓室底,而桩核冠所受的应力沿桩传递至根尖区。一旦应力过大,桩核冠修复后的牙齿发生根折的风险势必高于髓腔固位冠。因此,在选择桩核冠修复时,桩道预备过程中应尽量保留根部健康牙本质。而对于颈部牙体组织较为健康,根管细且弯曲的患牙,髓腔固位冠修复也是一种可行的方案。

本研究的不足之处在于选择了现在研究多采用的静态恒定加载方式,不能完全模拟复杂的咀嚼运动。另外,有限元研究无法模拟咀嚼过程中食物温度、唾液冲刷对修复体的影响。因此,还需要更多的临床研究和体外实验对本研究的结果予以验证。

综上所述,桩核冠更适合大面积缺损后牙的修

复,但仍存在一定缺陷,在临床选择时应结合患牙实际情况,选择最为合理的修复方式。

致谢:本实验 CT 扫描工作由吉林大学口腔医院放射科协助完成,本实验模型建立工作由吉林大学生物力学实验室提供技术指导,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 陈智,陈彬文. 根管治疗后牙体修复的治疗方案选择[J]. 华西口腔医学杂志, 2015, 33(2): 115—120
- [2] 曾畅,樊明文,朱玲新,等. 铸瓷髓腔固位冠修复根管治疗后牙齿的临床效果评价[J]. 口腔医学研究, 2016, 32(1): 43—45
- [3] Biacchi GR, Basting RT. Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post—retained conventional crowns [J]. Oper Dent, 2012, 37(2): 130
- [4] Guo J, Wang Z, Li X, et al. A comparison of the fracture resistances of endodontically treated mandibular premolars restored with endocrowns and glass fiber post—core retained conventional crowns [J]. J Adv Prosthodont, 2016, 8(6): 489—493
- [5] 王慧媛,付强,张春光,等. 边缘形式对大面积缺损第一磨牙髓腔固位冠应力分布的影响[J]. 口腔医学研究, 2015, 31(11): 1121—1124
- [6] 王惠芸. 我国人牙的测量和统计[J]. 中华口腔医学杂志, 1959, 7(3): 147—153
- [7] Lü LW, Meng GW, Liu ZH. Finite element analysis of multi—piece post—crown restoration using different types of adhesives [J]. Int J Oral Sci, 2013, 5(3): 162—166
- [8] Dejak B, Motkowski A. 3D—Finite element analysis of molars restored with endocrowns and posts during masticatory simulation [J]. Dent Mater, 2013, 29(12): 309—317
- [9] Zhu J, Rong Q, Wang X, et al. Influence of remaining tooth structure and restorative material type on stress distribution in endodontically treated maxillary premolars: A finite element analysis [J]. J Prosthet Dent, 2016, 117(5): 646
- [10] Mustafa AA, Matinlinna JP, Saidin S, et al. The influence of experimental silane primers on dentin bond strength and morphology: A laboratory and finite element analysis study [J]. J Prosthet Dent, 2014, 112(6): 1498—1506
- [11] Lin CL, Chang YH, Hsieh SK, et al. Estimation of the failure risk of a maxillary premolar with different crack depths with endodontic treatment by computer—aided design/computer—aided manufacturing ceramic restorations [J]. J Endod, 2013, 39(3): 375—379
- [12] Singh SV, Bhat M, Gupta S, et al. Stress distribution of endodontically treated teeth with titanium alloy post and carbon fiber post with different alveolar bone height: A three—dimensional finite element analysis [J]. Eur J Dent, 2015, 9(3): 428—432
- [13] 郭靖,王潇宇,李学盛,等. 不同边缘设计的髓腔固位冠修复下颌前磨牙的应力分析[J]. 南方医科大学学报, 2016, 36(2): 200—204
- [14] 赵子林. 上颌第一前磨牙残存颊壁三种桩核冠修复的三维有

限元分析[D]. 山西医科大学, 2016

[15] 赵莉, 李丽君, 赵克, 等. 不同桩核系统修复上颌第一磨牙的有限元分析[J]. 上海口腔医学, 2013, 22(6) : 607—612

[16] 韩梦. 四种修复方法对不同程度缺损下颌第一磨牙应力的影响—三维有限元研究[D]. 郑州大学, 2015

[17] 张珑, 李芳萍, 杨柏松, 等. 不同材料嵌体修复邻殆(Ⅱ类)洞型的三维有限元研究[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2015 (2) : 201—205

[18] Cecchin D, Giaretta VS, Cadorn BG, et al. Effect of syn-

thetic and natural — derived novel endodontic irrigant solutions on mechanical properties of human dentin [J]. J Mater Sci Mater Med, 2017, 28(9) : 141

[19] 郑庄, 堵安庆, 赵要武, 等. 牙本质小管平行和垂直方向上的牙本质力学性能研究[J]. 口腔疾病防治, 2013, 21(4) : 214—216

[收稿日期: 2017—11—10] (本文编辑 李四群)

权威学术期刊《Angewandte Chemie International Edition》发表

我院头颈鳞癌治疗创新成果

近期, 我院张文峰教授、孙志军教授团队通过与武汉大学物理学院赵兴中教授、刘威教授及国世上教授团队合作, 在头颈鳞癌治疗领域获得重要创新成果。相关研究成果发表在材料化学权威学术期刊《Angewandte Chemie International Edition》, 论文题目为《Platelet — Facilitated Photothermal Therapy of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma》。武汉大学物理科学与技术学院饶浪博士和我院口腔颌面—头颈肿瘤外科卜琳琳医师为共同第一作者, 我院孙志军教授与武汉大学物理科学与技术学院刘威教授为本文的共同通讯作者。头颈鳞状细胞癌是头颈部最常见的恶性肿瘤之一, 治疗手段主要以手术为主, 辅以放疗和化疗。然而, 在过去的几十年头颈鳞癌的生存率并未有明显的提高, 患者生存质量不高。近年来, 仿生纳米技术的发展为肿瘤的治疗提供了新的思路。修饰后的纳米材料不仅具有肿瘤靶向性, 而且材料本身也可具有治疗肿瘤的作用。合作组创新性地利用血小板细胞负载金纳米棒, 靶向头颈鳞癌肿瘤组织, 同时结合金纳米棒的光热作用, 实现头颈肿瘤的精准治疗。实验结果显示, 构建的这种仿生纳米材料能够有效逃避免疫系统的清除, 抑制肿瘤的生长, 推动了头颈鳞癌的治疗, 具有一定的临床转化价值。

近几年来, 孙志军教授团队与刘威教授、国世上教授团队通过医工交叉合作, 利用红细胞膜、肿瘤细胞膜等构建的仿生纳米材料在肿瘤诊疗领域取得了多项原创性的成果。研究成果先后在《Advanced Functional Materials》、《Small》等杂志上发表。同时, 利用修饰后的纳米材料及微流控芯片技术在捕获循环肿瘤细胞(CTCs)上也取得一定的进展, 相关研究成果先后发表在《Nanoscale》、《ACS Applied Materials & Interfaces》等杂志。这些合作研究受到多项国家自然科学基金、国家重点研发计划、武汉大学交叉学科基金及拔尖人才项目资助。