

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2019.08.008

· 临床研究 ·

上颌第一前磨牙非龋性牙颈部病变的缺损形态、修复材料及咬合方式对应力的影响

曹婷婷¹, 葛春慧², 张红艳²

1. 合肥市口腔医院 安徽医科大学合肥口腔临床学院, 安徽 合肥(230001); 2. 安徽医科大学附属口腔医院牙体牙髓科, 安徽 合肥(230032)

【摘要】 目的 研究上颌第一前磨牙非龋性牙颈部疾病(non-carious cervical lesions, NCCLs)在不同的缺损形态、修复材料及载荷方向的应力分布,分析不同条件对NCCLs修复治疗效果的影响。**方法** 选择1例健康成人的口腔CBCT,建立上颌第一前磨牙牙颈部缺损的三维有限元模型。据洞底形态分为锐角、钝角两个大组;每组缺损处分别模拟健康牙体及3种修复材料(玻璃离子水门汀、Z350树脂、Bulk树脂);分别采用4种负荷(正常殆垂直负荷、正常殆侧向负荷、创伤殆垂直负荷、创伤殆侧向负荷),受力大小100 N,分析修复体应力分布。**结果** 不同洞型的情况下,锐角组修复材料应力较集中,应力比钝角组增高;不同修复材料的情况下,在锐角洞底中,玻璃离子较2种树脂材料应力稍低,不同修复材料差异不大;比较不同受力方式,创伤殆状态下修复体材料最大应力值高于正常殆,并且侧向负荷比垂直方向负荷对牙颈部缺损处的应力更加集中。**结论** 上颌第一前磨牙NCCLs修复体的应力随着洞底形态和受力方式的变化而影响,模拟锐利的洞底形态和创伤受力方式均产生NCCLs缺损处修复材料的应力集中,因此修复前锐角洞底应尽量调磨成钝角洞底,修复后及时调整患牙的咬合,有利于减少应力集中。

【关键词】 非龋性牙颈部病变; 三维有限元; 应力分析; 树脂充填; 咬合; 创伤殆

【中图分类号】 R781.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2019)08-0515-07

【引用著录格式】 曹婷婷,葛春慧,张红艳.上颌第一前磨牙非龋性牙颈部病变的缺损形态、修复材料及咬合方式对应力的影响[J].口腔疾病防治,2019,27(8):515-521.

Influence of the shape, materials and occlusal mode of the maxillary first premolars on stress in noncarious cervical lesions CAO Tingting¹, GE Chunhui², ZHANG Hongyan². 1. Hefei Stomatological Hospital, Hefei Dental Clinical College, Anhui Medical University, Hefei 230001, China; 2. Department of Endodontics, Stomatologic Hospital & College, Anhui Medical University, Hefei 230032, China

Corresponding author: Zhang Hongyan, Email:toothyan@126.com, Tel: 86-18019984310

【Abstract】 Objective To study the stress distribution in noncarious cervical lesions (NCCLs) of maxillary first premolars under the conditions of different defect shapes, restorative materials and loading directions and to analyze the effect of different conditions on the treatment of NCCLs. **Methods** Three-dimensional finite element models of cervical defects of the maxillary first premolar were established by oral CBCT in a healthy adult. According to the shape of the cavity bottom, the cavity was divided into two groups: acute angle and obtuse angle. In addition to healthy dental controls, defects in each group were simulated and virtually treated with three kinds of restorative materials (glass ionomer cement, Z350 resin and bulk resin) as research objects. Four kinds of loads (normal occlusal vertical load, normal occlusal lateral load, traumatic occlusal vertical and lateral load) were applied. The lateral load of occlusion was 100 N, and the stress distribution in the prosthesis was analyzed. **Results** Under the condition with different cavity types that the NCCL near the pulp line was sharp, the stress in the wedge-shaped defect repair material was concentrated and signifi-

【收稿日期】 2018-12-11; **【修回日期】** 2019-01-27

【基金项目】 安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2017A166)

【作者简介】 曹婷婷,住院医师,硕士,Email: ct1992@qq.com

【通信作者】 张红艳,副主任医师,硕士,Email: toothyan@126.com, Tel: 86-18019984310

cantly higher than that in the other obtuse groups. Under the condition with different repair materials, in the bottom of the acute cavity, the glass ionomer cement showed less stress than the two kinds of resin. The maximum stress in the prosthetic material in the traumatic occlusion state was significantly higher than that in the normal occlusion state, and the lateral load was more concentrated than the vertical load on the neck defect. **Conclusion** The stress in maxillary first premolar NCCLs is affected by the shape of the cavity and the loading direction. A simulated acute cavity morphology and traumatic force mode produced concentrated stress in the material used to repair the NCCL. Before restoration, the bottom of an acute cavity should be adjusted to an obtuse angle. After treatment, the bite of the affected tooth adjusts over time to reduce traumatic occlusion, which is beneficial for improving the service life of the filling material.

【Key words】 non-carious cervical lesions; three-dimensional finite element; stress analysis; resin repairing; occlusal; traumatic occlusal

J Prev Treat Stomatol Dis, 2019, 27(8): 515-521.

非龋性牙颈部病变(non-carious cervical lesions, NCCLs)在临床上一般称为楔状缺损,其主要病因为应力、生物腐蚀和磨损引起的釉牙骨质界牙齿结构的丧失。咬合负荷的变化可以促进釉牙骨质界上的不同应力和应变模式,颈部区域的牙齿结构更容易磨损,因为牙釉质在这个部位非常薄弱,牙骨质和牙本质不耐磨^[1]。据报道,高达60%的患者出现这种牙体缺损,最常见于前磨牙^[2-3]。NCCLs临床上通常采用充填修复,但NCCLs的多因素病因导致管理方案的变化和不确定性^[4]。影响NCCLs的应力分布的因素有洞形、修复技术、咬合负荷方向。然而,单纯的缺损形态恢复并不是病因治疗^[5]。临床上常见NCCLs洞底线角锐利,操作中是否需要修整为圆钝的洞底形态,不同的洞形对NCCLs治疗产生不同影响,过于锐利的线角导致应力集中使充填体使用寿命减少。修复时最常用于修补颈部缺损的牙釉质和牙本质的材料有复合树脂^[6]、玻璃离子^[7]、流动树脂^[8];现有研究发现大块树脂充填(Bulk树脂)也可恢复较好的外形,具有良好的边缘界面和牙本质的内部适应性^[9],但不同的修复材料在NCCLs充填治疗时,是否会因为所受应力不同导致脱落?因此,本研究根据3个因素:洞形、修复技术和咬合负荷,评估在不同咬合力状态下上颌第一前磨牙NCCLs在修整不同外形及使用不同修复材料时的应力分布情况,给NCCLs的治疗提供参考。

1 资料和方法

1.1 样本选择

选择安徽医科大学附属口腔医院就诊的成人CBCT 1例,CBCT中截选出1个上颌第一前磨牙为研究样本,样本牙符合以下标准:符合正常前磨牙

冠根长宽高比例^[10],牙面无龋坏,牙根发育完成,根尖孔闭合且根管壁厚度未见异常,根管内及根尖周未见其他病损。

1.2 建立三维有限元模型

扫描CBCT格式为TIFF,导出iges格式文件,分别在Mimics和Geomagic软件中进行建模(将牙体组织分成牙釉质、牙本质、牙髓、牙周膜及牙槽骨)。将模型输出到处理分析软件(ANSYS 17.0, Ansys Workbench 12.0.1, Canonsburg, PA, USA)。设定牙颈部缺损大小:高宽深分别为2.5 mm, 5 mm, 2 mm,在缺损的基础上分别设置缺损近髓处线角为锐角(锐角60°),钝角(圆弧形120°),模拟缺损大小对应修复材料(图1)。在该软件中执行以下步骤:预处理(机械属性的定义,体积,连接类型,每个结构的网格和边界条件),处理(数据计算)和后处理(按应力分布标准分析结果)。

1.3 模型分组

根据洞底形态分为锐角、钝角两大组。每组模拟修复材料分别采用4种负荷(1:正常殆垂直负荷,2:正常殆侧向负荷,3:创伤殆垂直负荷,4:创伤殆侧向负荷),受力大小100N。具体分组:健康牙体(锐角A1~A4、钝角a1~a4)、玻璃离子(锐角B1~B4、钝角b1~b4)、Z350树脂(锐角C1~C4、钝角c1~c4)及Bulk树脂(锐角D1~D4、钝角d1~d4),共32组。

1.4 实验假设、边界条件和参数设定

实验中各部件均假设为连续、均质及各向同性线性弹性材料^[11]。材料的聚合收缩在本实验中忽略不计。边界条件包括使用载荷应用开发位移、限制模型:模型被限制在皮质骨和骨小梁的基部和侧面以避免移位(图2)。参数设定:将模型100 N的加载力^[12]应用于先前在计算机辅助设计

软件中定义的特定位置^[11],①正常殆垂直负荷时,力加载于近远中窝沟、舌尖的颊斜面,与牙体长轴平行;②正常殆侧向负荷时,力加载于舌尖的颊斜面与牙长轴呈30°;③创伤殆垂直负荷时,力加载

于颊尖的舌斜面,与牙长轴平行;④创伤殆侧向负荷时,力加载于颊尖的舌斜面与牙长轴呈30°(图3)。使用等效应力标准(von Mises)进行应力分布分析,实验材料力学参数见表1。

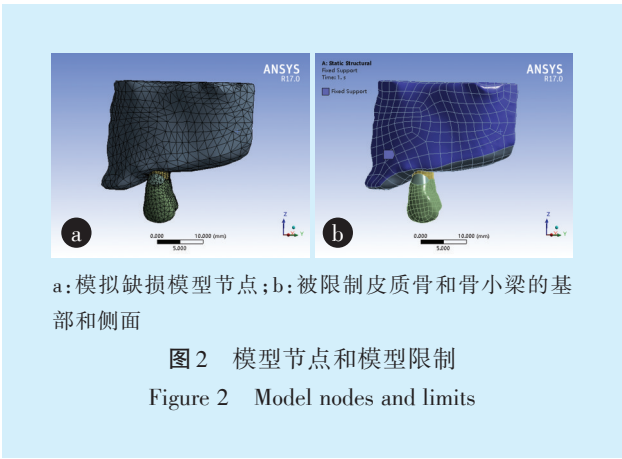
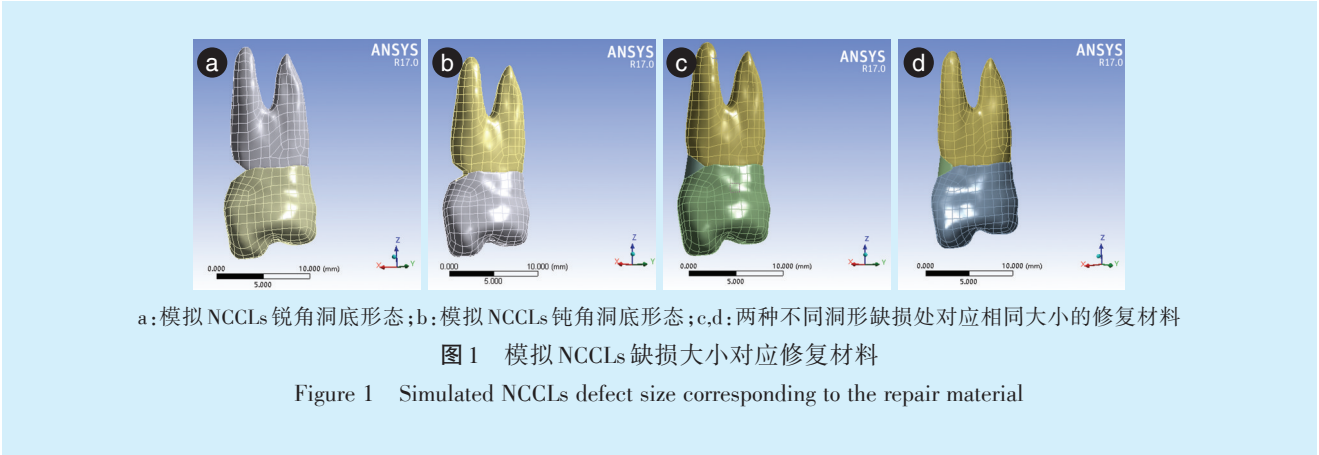
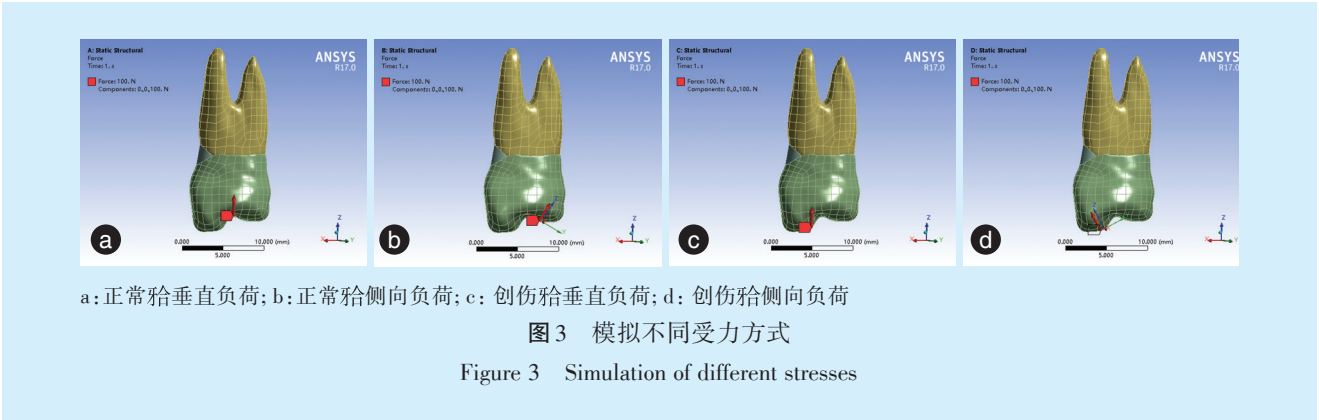


表1 材料的力学参数

Table 1 Mechanics parameters of materials

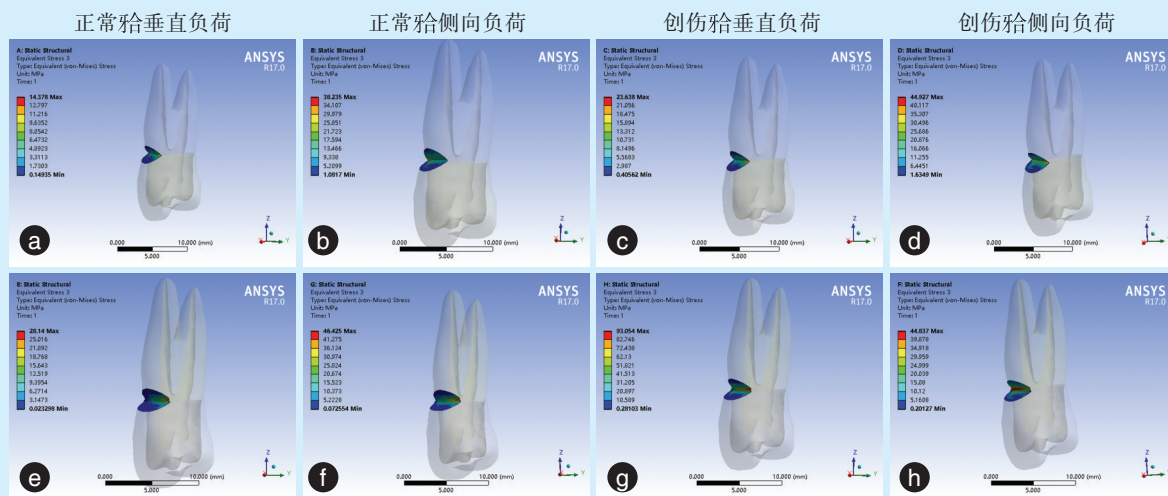
	弹性模量/GPa	泊松比
牙体组织	釉质 ^[13]	84.1
	牙本质 ^[14]	18.6
	牙周膜 ^[14]	6.89×10^{-2}
	牙髓 ^[15]	2.07×10^{-3}
	皮质骨 ^[16]	13.7
	松质骨 ^[16]	1.37
修复材料	玻璃离子 ^[17]	10.8
	Z350 ^[18]	13.45
	Bulk 树脂 ^[18]	13.46



2 结果

有限元模拟缺损模型节点数、单元数:正常牙体(38 958, 22 051),缺损修复(38 789, 21 889)。模拟不同洞型,不同受力时,无论洞底形态为锐角或钝角,应力集中区均集中在洞底处(图4)。图5和图6显示了模拟不同洞形 NCCL 的所有

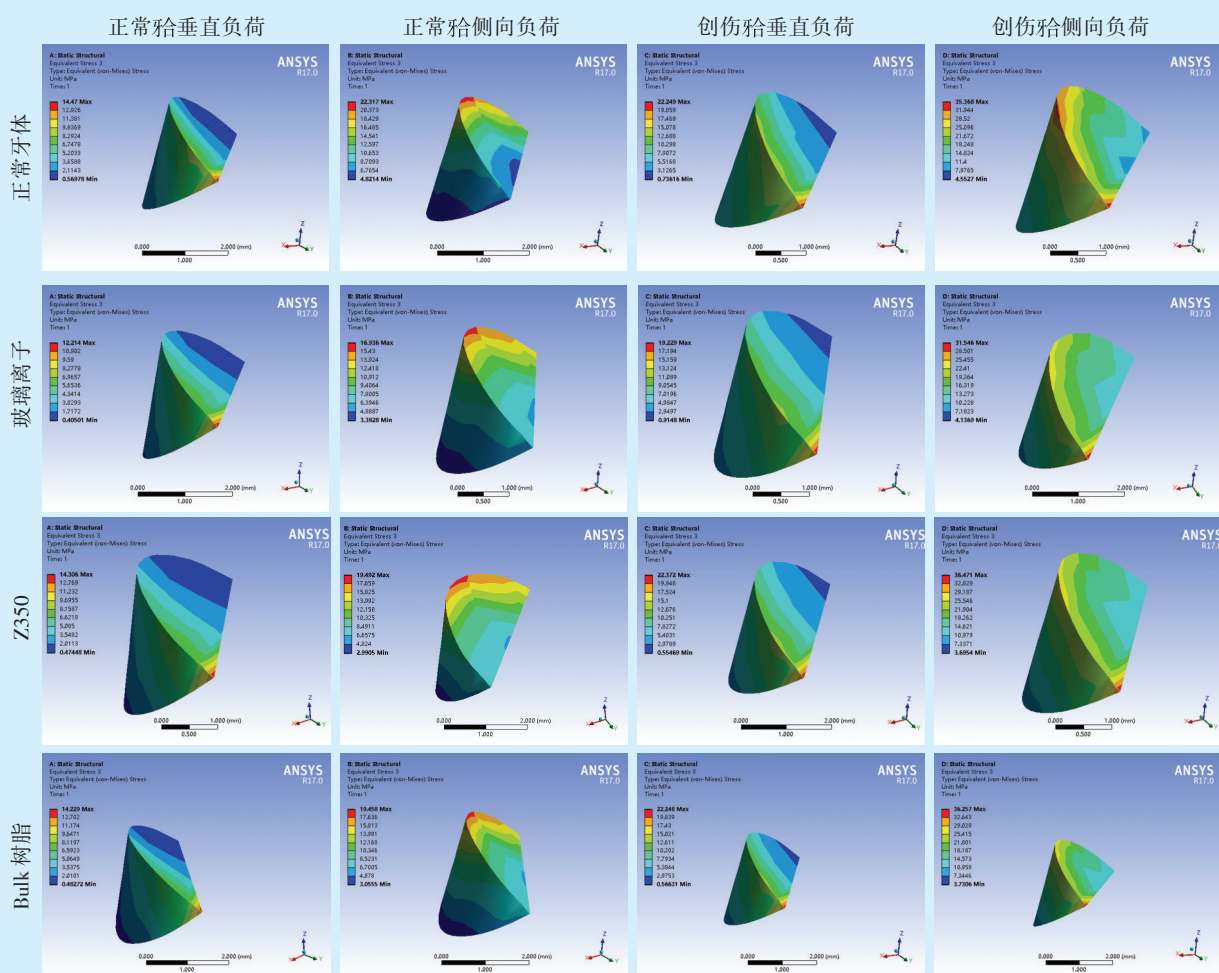
修复材料的应力分布。分析缺损处不同修复材料的应力集中区域,发现在侧向负荷时应力集中区在缺损近龈缘处和洞底两侧边缘;相同洞形修复材料条件下,正常殆负荷应力均低于创伤殆负荷;MPS 值(MPa)和最大应力见表2、表3。比较两种不同洞底形态的 NCCLs 修复材料受



模拟 NCCLs, a~d 为锐角洞形 4 种载荷的 von Mises 应力分布; e~h 为钝角洞形 4 种载荷的 von Mises 应力分布

图 4 模拟 2 种 NCCLs 洞形并施加不同负荷

Figure 4 Simulation of two NCCL cavity types and different applied loads



锐角洞形的不同修复材料在不同受力方式时的应力图显示, 相同材料应力集中部位一致, 玻璃离子组应力峰值最低为 12.214; 受力方向不同时, 侧向负荷时应力集中区在缺损近龈缘处和洞底两侧边缘, 创伤殆应力峰值: 19.229 ~ 36.471

图 5 锐角洞底 von Mises 应力分布

Figure 5 von Mises stress distribution at the bottom of an acute cavity

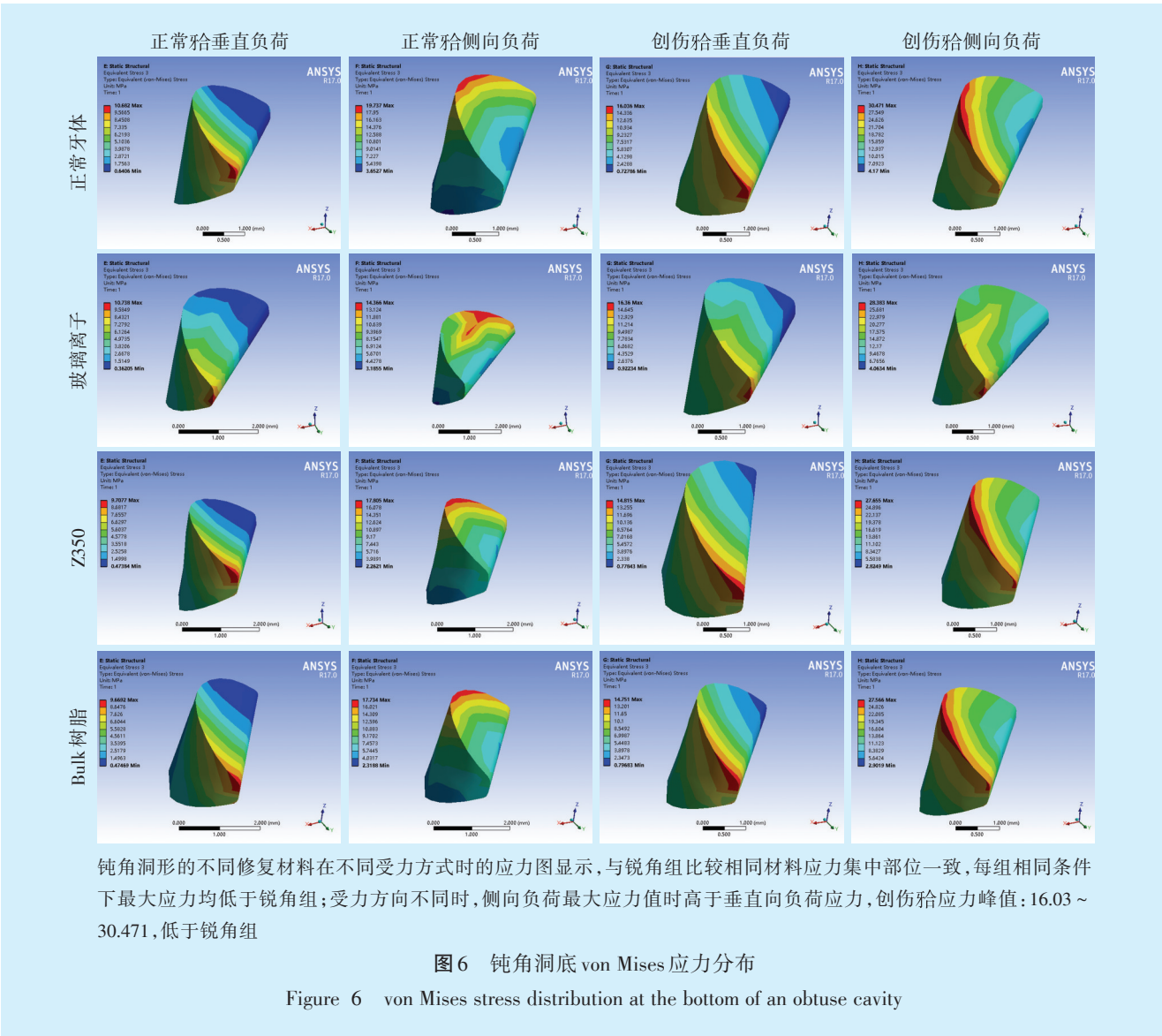


表2 锐角洞形不同修复材料在4种不同受力条件时的最大应力

Table 2 Maximum stress of repair materials in an acute cavity under four different stress conditions Mpa

	正常殆 垂直	正常殆 侧向	创伤殆 垂直	创伤殆 侧向
正常牙体	14.470	22.317	23.249	35.368
玻璃离子	12.214	16.936	19.229	31.546
Z350	14.306	19.492	22.372	36.471
Bulk树脂	14.229	19.458	22.248	36.257

力:钝角洞底的NCCLs修复材料应力小于锐角洞底的NCCLs修复材料。比较正常牙体组织与3种不同的修复材料受力:正常牙体组织与Z350和Bulk树脂的最大应力值接近,玻璃离子组最大应力值略低于其余3组。比较不同的受力方式:创伤殆负荷的应力均高于正常殆负荷,侧向负荷的最

表3 钝角洞形不同修复材料在4种不同受力条件时的最大应力

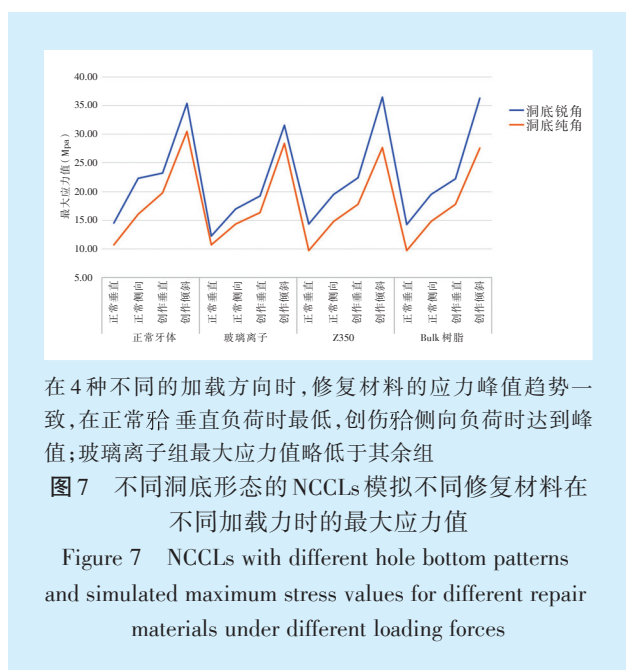
Table 3 Maximum stress of repair materials in an obtuse cavity under four different stress conditions Mpa

	正常殆 垂直	正常殆 侧向	创伤殆 垂直	创伤殆 侧向
正常牙体	10.682	19.737	16.036	30.471
玻璃离子	10.738	14.366	16.360	28.383
Z350	9.708	14.815	17.805	27.655
Bulk树脂	9.669	14.751	17.734	27.566

大应力高于垂直负荷的最大应力(图7)。

3 讨论

牙颈部硬组织丧失被归类为NCCLs,这是一种病理过程,其特征是在釉牙骨质界附近失去牙齿硬组织。牙体组织的丧失可能与多个因素相关,



例如压力(咬合紊乱和咬合创伤)、摩擦(磨损:牙刷/牙膏磨损)和生物腐蚀(化学,生物化学和电化学降解:外源性和内源性酸)^[19]。楔状缺损一般分为3种形态:三角型、碟型和月型,前两类洞壁交角均小于90°,第三类大于90°,研究发现大部分楔状缺损为前两类^[1]。本文设计模型时,两组洞壁交角均小于90°,也就是三角型和碟型,占楔状缺损形态分类的77.43%,因此选择这两类纳入本研究中。研究表明,NCCLs与咬合应力有相关性^[20],不同的咬合负荷条件可导致颈部区域应力分布模式的变化^[21]。应力集中和疲劳过程可能导致脆性结构(如牙釉质)^[22]的破裂,同时容易在充填材料与牙界面处产生间隙导致修复失败^[23]。有研究通过应变仪试验,对楔状缺损模型进行了循环加载,模拟了非生理的咬合接触,从而导致了修复体较明显的变形^[24]。牙齿生物力学行为改变的相关因素主要是颈部区域的牙体结构缺损。在修复牙齿结构的缺损时,观察牙齿组织和修复材料的力学性能是很重要的。理想的材料应能恢复受损结构的生物力学行为,从而形成类似健康牙体组织的机械结构^[25]。

本实验研究发现,在不同洞底形态的情况下,修整为钝角的缺损底部可以减少应力的集中,减少因应力集中导致的修复体变形以及牙体和修复之间的位移,更加有利于修复体的存留,提高修复体的使用寿命。不同类型的修复材料在受力方面未见明显差异,但正常牙体组织与Z350和Bulk树脂

脂的应力最大值接近,玻璃离子组应力最大值略低于其余3组,可能原因与玻璃离子的弹性模量低于正常牙体组织有关,树脂材料的弹性模量更接近于正常牙体组织。但在临床选择时应兼顾材料其他性能包括材料溶解性,聚合收缩,美观及可操作性等,选择较合适的充填材料。考虑美观因素可以选择颜色美观,抛光性能佳的复合树脂类修复材料,老年人NCCLs常伴牙龈退缩及根面龋损,使用玻璃离子类作为修复材料可以一定程度减少根面继发龋,且操作便利。比较正常殆与创伤殆,与创伤殆相关的NCCLs的存在导致了颈部区域的高应力集中,并且充填修复后发现,创伤殆对牙体和修复材料均有较高的应力,不利于修复材料的存留。咬合是影响牙齿生物力学行为的主要因素。具有不同弹性模量,不同咬合负荷类型和循环负荷存在的不同修复材料改变了受NCCLs影响的上颌前磨牙的生物力学行为。尽管使用直接技术修复NCCLs很容易,但是酸性降解和磨损等^[26]因素也会影响直接修复材料。咬合应力^[27]达到一定积累时,可能导致NCCLs中直接修复程序的低存活率。NCCLs的治疗包括咬合分析和调整,修补缺损的牙体组织,指导患者口腔习惯。

本实验采用静态受力负荷,只能在一定程度上模拟了牙的受力情况,模拟复杂的口腔环境与咬合过程较难,对前牙区的动态荷载分析可以通过直线性的运动分析,但后牙区动态荷载分析较难,受力的运动轨迹较复杂。且实验只研究在应力与不同弹性模量的修复材料之间的关系,对修复材料的其他物理化学性能未纳入研究。而且材料的疲劳问题及口腔内温度环境变化也会对实验产生一定影响。因此,考虑到此类不足,后期的研究还需将不同洞型、不同修复材料修复上颌前磨牙楔状缺损治疗的实际效果与体内外实验进行对照。

参考文献

- [1] Walter C, Kress E, Götz H, et al. The anatomy of non-carious cervical lesions[J]. Clin Oral Investig, 2014, 18(1): 139-146.
- [2] Kolak V, Pešić D, Melih I, Epidemiological investigation of non-carious cervical lesions and possible etiological factors [J]. J Clin Exp Dent, 2018, 10(7): 648-656.
- [3] Lai ZY, Zhi QH, Zhou Y, et al. Prevalence of non-carious cervical lesions and associated risk indicators in middle-aged and elderly populations in Southern China [J]. Chin J of Dent Res, 2015, 11(1): 41-50.

- [4] Duangthip D, Man A, Poon PH, et al. Occlusal stress is involved in the formation of non-carious cervical lesions. A systematic review of abfraction[J]. *Am J Dent*, 2017, 30(4): 212-220.
- [5] Michael JA, Townsend GC, Greenwood LF, et al. Abfraction: separating fact from fiction[J]. *Aust Dent J*, 2009, 54(1): 2-8.
- [6] Society Of Cariology And Endodontology CS. Guidelines for direct adhesive composite restoration[J]. *Chin J Dent Res*, 2015, 18(4): 217-220.
- [7] Nikolaos-Stefanos K, Maria A. Glass ionomer cements for the restoration of non-carious cervical lesions in the geriatric patient[J]. *J Funct Biomater*, 2018, 42(9): 2-9.
- [8] Szesz A, Parreiras S, Martini E, et al. Effect of flowable composites on the clinical performance of non-carious cervical lesions: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Dent*, 2017, 65(10): 11-21.
- [9] Agarwal RS, Hiremath H, Agarwal J, et al. Evaluation of cervical marginal and internal adaptation using newer bulk fill composites: an in vitro study [J]. *J Conserv Dent*, 2015, 18(1): 56-61.
- [10] 皮昕. 口腔解剖生理学[M]. 6版. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 40-41.
- [11] Dal Piva AMO, Tribst JPM, Borges ALS, et al. CAD-FEA modeling and analysis of different full crown monolithic restorations[J]. *Dent Mater*, 2018, 34(9): 1342-1350.
- [12] Guimarães JC, Guimarães Soella G, Brandão Durand L, et al. Stress amplifications in dental non-carious cervical lesions [J]. *J Biomech*, 2014, 47(2): 410-416.
- [13] Miura J, Maeda Y, Nakai H, et al. Multiscale analysis of stress distribution in teeth under applied forces [J]. *Dent Mater*, 2009, 25(1): 67-73.
- [14] Soares CJ, Raposo LH, Soares PV, et al. Effect of different cements on the biomechanical behavior of teeth restored with cast dowel - and - cores - in vitro and FEA analysis[J]. *J Prosthodont*, 2010, 19(2): 130-137.
- [15] Soares PV, Souza LV, Veríssimo C, et al. Effect of root morphology on biomechanical behaviour of premolars associated with abfraction lesions and different loading types[J]. *J Oral Rehabil*, 2014, 41(2): 108-114.
- [16] 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.
- [17] Ichim I, Schmidlin PR, Kieser JA, et al. Mechanical evaluation of cervical glass - ionomer restorations: 3D finite element study[J]. *J Dent*, 2007, 35(1): 28-35.
- [18] Correia AMO, Tribst JPM, Matos FS, et al. Polymerization shrinkage stresses in different restorative techniques for non-carious cervical lesions [J]. *J Dent*, 2018, 9(76): 68-74.
- [19] Shellis RP, Addy M. The interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear [J]. *Monogr Oral Sci*, 2014, 25(1): 32-45.
- [20] Duangthip D, Man A, Poon PH, et al. Occlusal stress is involved in the formation of non-carious cervical lesions. A systematic review of abfraction[J]. *Am J Dent*, 2017, 30(4): 212-220.
- [21] Benazzi S, Grosse IR, Gruppioni G, et al. Comparison of occlusal loading conditions in a lower second premolar using three-dimensional finite element analysis[J]. *Clin Oral Investig*, 2013, 18(2): 369-375.
- [22] Wetselaar P, Lobbezoo F. The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions[J]. *J Oral Rehabil*, 2016, 43(1): 69-80.
- [23] Reyes E, Hildebolt C, Langenwalter E, et al. Abfractions and attachment loss in teeth with premature contacts in centric relation: clinical observations[J]. *J Periodontol*, 2009, 80(12): 1955-1962.
- [24] Machado AC, Soares CJ, Reis BR, et al. Stressstrain analysis of premolars with noncarious cervical lesions: influence of restorative material, loading direction and mechanical fatigue[J]. *Oper Dent*, 2017, 42(3): 253-265.
- [25] Soares PV, Santos-Filho P, Soares CJ, et al. Non-carious cervical lesions: influence of morphology and load type on biomechanical behaviour of maxillary incisors[J]. *Aust Dent J*, 2013, 58(3): 306-314.
- [26] Da Silva E, de Sá Rodrigues, CUF, Dias D, et al. Effect of tooth brushing-mouth-rinse-cycling on surface roughness and topography of nanofilled, microfilled, and microhybrid resin composites [J]. *Oper Dent*. 2014, 39(5): 521-529.
- [27] Oginni AO, Adeleke AA. Comparison of pattern of failure of resin composite restorations in non-carious cervical lesions with and without occlusal wear facets [J]. *J Dent*. 2014, 42(7): 824-830.

(编辑 罗燕鸿, 曾雄群)