

文章编号:1004-7220(2018)03-0224-05

不同粘接剂材料对全瓷修复应力分布影响的数值研究

李亚兰, 陈国亮, 蒋文涛, 陈宇, 田晓宝, 周志宏
(四川大学 工程力学系, 成都 610065)

摘要:目的 研究不同粘接剂材料对全瓷修复应力分布的影响。方法 采用螺旋 CT 扫描和 CAD 建模技术相结合的方法,建立下颌第1磨牙全瓷修复系统模型,选取临床上常见的4种树脂粘接剂材料(Duo Cement、Lute-It、Rely-X ARC、Variolink II),用 ABAQUS 软件计算应力分布。结果 使用低填料型 Lute-It 粘接剂时粘接界面的应力最大。从黏弹性力学角度看,具有较大储能模量和损耗模量的树脂粘接剂会产生较低的应力极值。结论 建议临床上采用高填料型且具有较大储能模量和损耗模量系数的树脂粘接剂。

关键词:全瓷修复;粘接剂;黏弹性;有限元分析

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2018.03.006

Numerical Study on Effects of Different Adhesive Materials for Ceramic Restoration on Stress Distributions

LI Yalan, CHEN Guoliang, JIANG Wentao, CHEN Yu, TIAN Xiaobao, ZHOU Zhihong
(Department of Applied Mechanics, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: **Objective** To investigate the effect of different adhesive materials on all-ceramic restoration. **Methods** The all-ceramic restoration system model of mandibular first molar was established by spiral computed tomography (CT) scanning and computer-aided design (CAD) modeling. Four types of resin adhesive materials (Duo Cement, Lute-It, Rely-X ARC, Variolink II) used in clinics were selected, and the stress distribution was calculated using the ABAQUS software. **Results** The stress at the bonding interface was the highest when low filler adhesive Lute-It was used. Based on the viscoelasticity analysis, resin adhesives with a larger storage modulus and loss modulus could yield lower stress extremes. **Conclusions** The study suggests that high-filler type resin adhesives with a large energy storage modulus and loss modulus should be used clinically.

Key words: all-ceramic restoration; bonding admixture; viscoelasticity; finite element analysis

全瓷冠修复体具有和天然牙相近的色泽,外形美观、化学性质稳定、生物相容性良好、制作工艺相对简单,得到了患者的青睐,被认为是口腔固定修复的发展方向,发展前景良好^[1-2]。

然而,全瓷冠修复体在临床应用上也有着一定的失败率^[3]。从力学性能角度来看,主要是全瓷冠的强度不够,这其中包括全瓷冠本身的抗折强度和粘接强度。粘接强度和采用的材料密切相关。临

收稿日期:2017-07-19; 修回日期:2017-10-18

基金项目:成都市科技项目(2015-HM01-00575-SF)

通信作者:陈宇,高级工程师,E-mail: yu_chen@scu.edu.cn

床上使用的粘接剂种类繁多^[4-5], 复合树脂类粘接剂以其美观性和实用性的特点得到广泛应用, 是全瓷修复最佳粘接剂, 固化后可以为修复体提供良好的固位力, 增强修复体和牙体组织的抗折强度^[6]。在针对全瓷修复的数值模拟中, 多采用线弹性模型模拟复合树脂粘接剂的力学性能^[7-8]。复合树脂属于高分子材料, 具有高弹性和黏弹性的力学性质, 采用线弹性本构模型进行简化, 不可避免会产生误差。复合树脂通常由树脂基质和无机填料构成。实验表明, 无机填料含量的高低会对粘接强度产生重要影响^[9]。

有研究分析比较 4 种牙科 CAD/CAM 系统氧化锆材料的抗压强度和断裂模式^[10]; 也有研究利用实验和数值模拟方法对 CAD/CAM 二硅酸锂单层冠的触压破坏进行分析^[11]。但关于不同填料含量对全瓷修复应力分布的影响, 目前尚无具体的研究结论。针对这一情况, 本文重点分析具有不同无机填料含量的树脂粘接剂对粘接界面应力分布的影响, 并找出黏弹性力学参数和应力分布之间的关系。

1 材料和方法

1.1 模型

参考国人下颌第 1 恒磨牙的外形数据^[12], 即全长 20.5 mm, 冠长 7.6 mm, 根长 12.9 mm, 冠宽 11.2 mm, 颈宽 8.9 mm, 冠厚 10.5 mm, 颈厚 8.6 mm, 及测定的符合该外形数据的 30 颗下颌第 1 恒磨牙的髓腔数据^[13], 选取 1 颗由于牙周疾病引起牙齿松动近期拔除的牙体完整的双根下颌第 1 磨牙作为标本。患者均签署知情同意书, 符合医学伦理学规定。采用 Rapid 硅橡胶印模材料对磨牙牙冠部取模, 用超硬石膏灌注模型, 按照全瓷冠牙体制备要求在模型上进行牙体制备, 殆面及轴面磨除 1.5~2.0 mm, 聚合度 10°, 颈缘制备成凹面型, 平齐龈缘, 宽度为 1 mm。

1.2 方法

利用螺旋 CT 对选取的牙体标本和制备体进行断层扫描; 然后将 CT 断层扫描图片导入适宜于生物体建模的 Mimics 16.0 软件, 提取出牙体和制备体边缘轮廓数据; 将这些数据导入逆向工程软件 RapidForm XOv 进行光滑处理, 导出 IGES 格式文

件; 再利用三维建模 CAD 软件, 根据牙体标本和制备体的 IGES 文件生成牙体曲面和备牙面; 然后再将备牙面分别增厚 0.05、0.10、0.15、0.30 mm, 以获得粘接层上表面和底层瓷上表面; 最后将牙体三维模型和粘接层表面模型导入 ABAQUS 6.13 有限元软件, 组装形成具有不同粘接层厚度的全瓷修复牙体模型(见图 1)。定义材料属性、模拟荷载和边界条件, 进行有限元模拟计算, 获得计算结果。

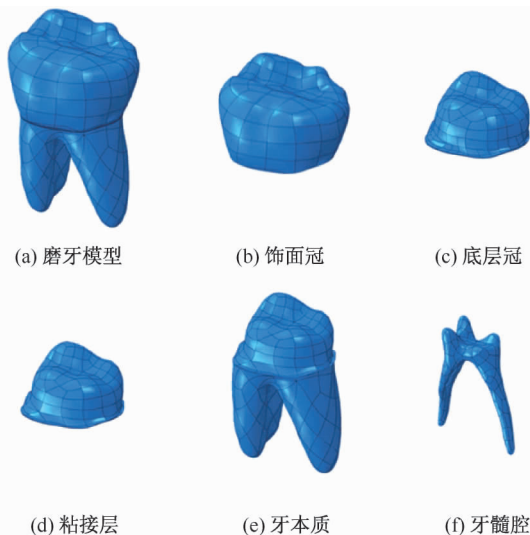


图 1 下颌第 1 磨牙全瓷修复模型

Fig. 1 All-ceramic restoration of first mandibular molar (a) First molar model, (b) Veneer crown, (c) Coping crown, (d) Cement, (e) Dentin, (f) Pulp space

1.3 材料

根据临床情况和生物材料特性, 整个模型分为 7 个部分: 饰面冠、底层冠、粘接层、牙髓腔、牙本质、牙周膜和牙槽骨。几乎所有的生物固体都是黏弹性体, 只不过有的弹性较强, 有的黏性较强, 在程度上有所差别。目前, 相关生物固体流变学研究尚不能提供各种生物组织的本构方程。本模型中假设各种生物组织材料是各向同性、均匀连续的线弹性体。各种生物材料的弹性模量和泊松比参考文献^[14]。

1.4 载荷和边界条件

下颌第 1 磨牙殆面形态十分复杂, 存在尖、窝、沟、嵴等结构, 各个牙尖的高度也有所不同, 并且在长期的使用中磨损程度也不尽相同, 使得殆面形态更为复杂。磨牙的咬殆运动也十分复杂。在前伸、

后退和侧向咬合运动中, 殆面的接触特征也各具特点。这些都导致了下颌第1磨牙荷载条件的复杂性。为了简化模型, 选取在理想状态下的殆接触点位置, 即模型的近中颊尖、远中颊尖、近中边缘嵴、远中边缘嵴及中央窝进行加载^[11], 参考咀嚼运动时正常牙动态殆力曲线进行加载。设置荷载方向与牙长轴平行, 垂直向下。

表1 树脂粘接剂黏弹性力学参数

Tab.1 The viscoelastic properties of composite resin cements

粘接剂材料	Y_1 /MPa	Y_2 /MPa	E /GPa	ν	n^* /(MPa·s)	备注
Duo Cement	6 004	171	19.7	0.32	29.1	高填料型, 72wt%
Lute-It	5 673	164	12.6	0.35	28.2	低填料型, 65wt%
Rely-X ARC	5 222	192	14.2	0.33	27.1	低填料型, 67.5wt%
Variolink II	6 110	210	13.5	0.34	29.3	高填料型, 74wt%

注: Y_1 为储能模量, Y_2 为耗能模量, E 为弹性模量, ν 为泊松比, n^* 为动态黏度

2 结果和讨论

对咀嚼周期内施加最大殆力时刻 Von Mises 应力进行分析, 主要讨论粘接层的应力极值及其分布, 选取牙颈部近中、远中、颊侧和舌侧方向的4个特定路径, 分析沿特定路径的应力分布, 其位置如图2所示。

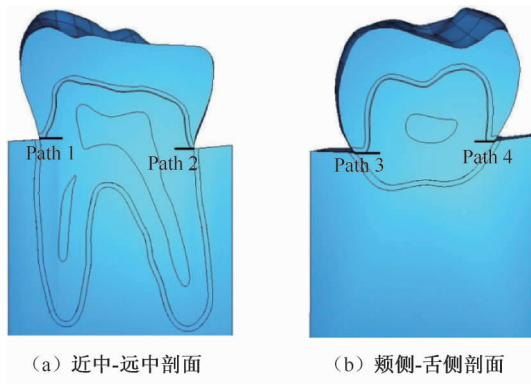


图2 磨牙特定路径示意图

Fig.2 Position of the four specified paths of molar (a) Near middle-far middle section, (b) Buccal side-Lingual side section

在垂直荷载作用下, 在模型1、2、3、4中分别沿近中(Path 1)、远中(Path 2)、颊侧(Path 3)、舌侧(Path 4)不同路径方向的 Von Mises 应力分布如图3所示。从4个模型的剖面及粘接层上下表面的应力分布可以看出, 采用不同粘接剂材料时, 应力分布形式基本相同; 近中方向应力水平高于远中方向, 尤其在近中方向肩台变窄部位产生了较大的应

1.5 粘接剂

选取常见的几种树脂类粘接剂, 包括两种高填料型和两种低填料型, 相关黏弹性力学参数^[15-17]如表1所示。4个模型分别对应4种粘接剂材料: 模型1(Duo Cement)、模型2(Lute-It)、模型3(Rely-X ARC)、模型4(Variolink II), 4种粘接剂在临床上都应用较为广泛。

力集中, 说明荷载大小及肩台宽度对应力分布有着重要影响。

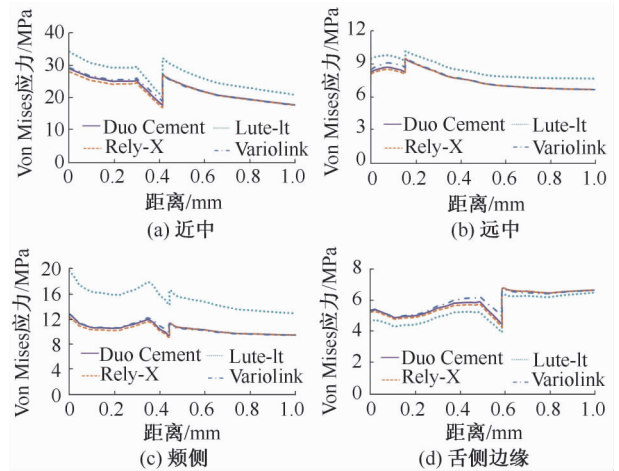


图3 4种模型牙颈部不同路径方向的应力分布

Fig.3 Stress distributions along different paths in the four models (a) The mesial, (b) The distal, (c) Buccal side, (d) Lingual side margin

比较4个模型粘接层表面的应力分布, Lute-It 粘接剂在粘接界面上的应力最大。相关研究表明, 在离体断裂试验中粘接剂本身发生破坏较少, 破坏大多发生在粘接界面处^[16-17]。因此, 从材料断裂角度出发, 建议在临床上尽量不要采用 Lute-It 粘接剂, 以减少由此引发的修复失败。对比3个模型沿近中、远中、颊侧和舌侧方向的应力分布曲线可以发现, 近中方向应力最大, 颊侧次之, 远中再次之, 舌侧最小; 模型2(Lute-It)的应力分布曲线在近中、

远中、颊侧 3 个方向均高于其他 3 个模型,尤其在近中和颊侧两个应力绝对值大的方向。

一般认为,无机填料含量越高,粘接强度越大。从 4 个方向应力曲线的分布可以发现,Lute-It 作为一种低填料型树脂粘接剂,会产生最大的应力分布,但另一种低填料型树脂粘接剂 Rely-X 的表现与两种高填料型树脂粘接剂差别不大。4 个模型粘接层的应力峰值对比表明,Lute-It > Rely-X > Variolink > Duo Cement;4 种树脂的无机填料含量对比表明,Variolink > Duo Cemet > Rely-X > Lute-It [见图 4(a)]。填料含量越高,应力极值越小,但填料含量有较小差别时,应力极值变化不明显。这说明

高填料型树脂会产生较小的应力极值,从而增大粘接强度,这与临床上的经验是吻合的^[9]。

从力学角度对比 4 个模型应力极值与树脂储能模量之间的关系发现,高填料性树脂具有较大的储能模量,较低的应力极值;低填料型树脂具有较小的储能模量,较高的应力极值[见图 4(b)]。对比 4 个模型应力极值与树脂损耗模量之间的关系可以发现,Duo Cement、Variolink 和 Rely-X 损耗模量较大,而应力极值较低,Lute-It 则刚好相反[见图 4(c)]。由此可以认为,储能模量和损耗模量越大,造成的应力极值越高,但在不同树脂材料的储能模量、损耗模量分别相差不大时候,这种对应关系并不明显。

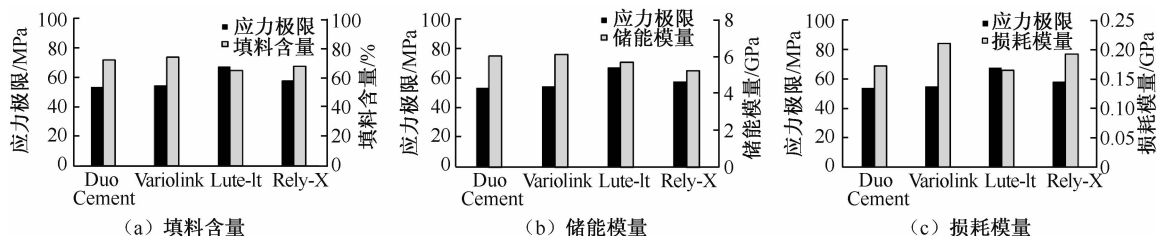


图 4 4 种模型应力极值与填料含量、储能模量、损耗模量对比

Fig. 4 Comparison of stress peak with filler percentage, storage modulus and loss modulus (a) Filler percentage, (b) Storage modulus, (c) Loss modulus

4 结语

综上所述,不同粘接剂材料对全瓷修复的应力分布产生不同影响。通过分析全瓷修复系统中粘接层的应力发现,高填料型树脂粘接剂会造成较小的应力极值,从而增强粘接强度,这与临床经验是吻合的。从黏弹性力学角度看,具有较大的储能模量和损耗模量的树脂粘接剂会产生较低的应力极值。因此,建议临床上采用高填料型且具有较大的储能模量和损耗模量的树脂粘接剂。

参考文献:

[1] KELLY JR. Ceramics in restorative and prosthetic dentistry [J]. *Annu Rev Mater Sci*, 1997, 27(1): 443-468.
 [2] 周永胜, 万乾炳, 刘伟才. 全瓷修复——材料、透光性、牙体预备、性能、临床与未来[J]. *国际口腔医学杂志*, 2014, 41(6): 628-630.
 [3] 黄慧, 汪君明. 口腔全瓷修复体的临床效果评价[J]. *武汉科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(1): 96-97.
 [4] 徐雄均, 卢惠冰, 李思萍, 等. 三种树脂粘接剂对氧化锆陶瓷粘接剪切强度的影响[J]. *临床医学工程*, 2013, 20(10):

1218-1219.

[5] 钟群, 沈晴映, 邬雪颖, 等. 不同树脂粘接剂对渗透陶瓷粘接强度的影响[J]. *国际口腔医学杂志*, 2012, 39(1): 16-19.
 [6] 胡娜, 吴丹, 李苏伶, 等. 不同全瓷材料对两种树脂粘接剂固化效率的影响[J]. *第三军医大学学报*, 2013, 35(23): 2559-2564.
 [7] 樊成, 韩立赤, 陈小冬, 等. 三单位全瓷固定桥破坏机理及过程的数值模拟[J]. *沈阳工业大学学报*, 2010, 32(2): 152-156.
 [8] 陈国亮, 蒋文涛, 王华蓉, 等. 粘接层厚度对全瓷冠修复效果影响的数值分析[J]. *航天医学与医学工程*, 2010, 23(1): 69-73.
 [9] 李潇, 朱光第, 施长溪. 医用复合树脂的新进展[J]. *国际生物医学工程杂志*, 2004, 27(5): 318-320.
 [10] 汪饶饶, 王丹, 徐远志, 等. 比较 4 种 CAD/CAM 氧化锆抗压强度和断裂模式[J]. *医用生物力学*, 2011, 26(5): 432-435.
 WANG RR, WANG D, XU YZ, et al. Comparison of compressive strength and fracture mode between four kinds of CAD/CAM zirconia [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(3): 209-214.
 [11] 张亚军, 张东升, 汪饶饶, 等. 粘接剂吸水老化对 CAD/CAM 二硅酸锂单层瓷冠抗压承载能力的影响[J]. *医用生*

物力学, 2015, 30(3): 209-214.

ZHANG YJ, ZHANG DS, WANG RR, *et al.* Effects of adhesives aging in water on load-bearing capacity of monolithic CAD/CAM lithium disilicate crowns [J]. J Med Biomech, 2015, 30(3): 209-214.

[12] 王惠芸. 我国人牙的测量和统计[J]. 中华口腔科杂志, 1959, 7(3): 149-155.

[13] 曾艳, 王嘉德, 周书敏. 牙根纵裂患者的咬殆应力分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2000, 35(2): 142-143.

[14] 石艳华, 侯录, 席俊明, 等. 尖牙远中移动的有限元分析[J]. 中国实用医药, 2007, 2(9): 75-76.

[15] PAPADOGIANNIS Y, HELVATJOGLOU-ANTONIADI

M, LAKES RC, *et al.* Creep behavior of glass-ionomer restorative materials [J]. Dent Mater, 1991, 7(1): 40-43.

[16] CHANG JC, HART DA, ESTEY AW, *et al.* Tensile bond strengths of five luting agents to two CAD-CAM restorative materials and enamel [J]. J Prosthet Dent, 2003, 90(1): 18-23.

[17] AKGUNGOR G, AKKAYAN B, GAUCHER H. Influence of ceramic thickness and polymerization mode of a resin luting agent on early bond strength and durability with a lithium disilicate-based ceramic system [J]. J Prosthet Dent, 2005, 94(3): 234-241.

· 致读者 ·

论文写作中的注意事项

论文的写作前言主要概述研究的背景、目的、研究思路、理论依据等。有些研究还应说明该研究开始的具体时间。前言必须开门见、简要、清楚,切忌套话、空话、牵涉面过宽、详述历史过程或复习文献过多等。不要涉及本研究中的数据或结论。不要与摘要雷同。未经检索,前言中不可写“国内外未曾报道”等字样,也不可自我评价达到“xx水平”或“填补xx空白”等。前言通常不需要标题。论著文稿的前言一般不超过250字;比较短的论文可以只用小段文字起前言作用。

方法主要介绍研究对象(人或实验动物,包括对照组)的选择及其基本情况,以及研究所采用的方法及观察指标。常用标题有“材料与方法”、“对象与方法”、“资料与方法”等。

临床研究需交代病例和对照者的来源、选择标准及研究对象的年龄、性别和其他重要特征等,并应注明参与研究者是否知情同意。临床随机对照组研究应交代干预方法(随机方法)和所采用的盲法。实验研究需注明动物的名称、种系、等级、数量、来源、性别、年龄、体重、饲养条件和健康状况等。

个人创造的方法应详细说明“方法”的细节,以备他人重复。改进的方法应详述改进之外,并以引用文献的方式给出原方法的出处。原封不动地使用他人方法,应以引用文献的方式给出方法的出处,无须展开描述。

药品、试剂应使用化学名,并注明剂量、单位、纯度、批号、生产单位和生产时间。仪器、设备应注明名称、型号、规格、生产单位、精密度或误差范围。无须描述其工作原理。

统计学处理项应说明统计分析方法及其选择依据。

结果的叙述应客观真实、简洁明了、重点突出、层次分明、合乎逻辑,不应与讨论内容混淆。若文稿设有图表,则正文不需重述其全数据,只需摘述其主要发现或数据。若使用文字描述,内容冗长、繁琐、不易读懂,则应改用图或表来表达数据,以收到一目了然的效果。应认真核对正文和图表的数据,达到准确、统一。统计学分析应交代统计方法、统计值,仅有 P 值不能体现重要的定量信息。

讨论应着重讨论研究中的新发现及从中得出的结论、包括发现的意义及其限度,以及对进一步研究的启示。若不能导出结论,可以进行必要的讨论,提出建议、设想、改进的意见或待解决的问题。应将研究结果与其他有关的研究相联系,并将本研究的结论与目的相关联。不必重述已在前言和结果部分详述过的数据或资料。不要过多罗列文献。避免作不成熟的主观推断。讨论中一般不应设置图或表。