

不同近远中向牙体缺损对根管治疗后下颌第一磨牙修复治疗影响的有限元分析

张国庆, 王利民, 赵阿莉, 曹凉, 王卫国

【摘要】目的 比较不同近远中向牙体缺损的下颌第一磨牙根管治疗后, 两种修复方式受力后的剩余牙体组织及修复体应力大小、分布。**方法** 建立不同近远中向牙体缺损的下颌第一磨牙修复方案模型, 分为近远中牙体组织较少的全覆盖式高嵌体组(A1组)、近远中牙体组织较多的全覆盖式高嵌体组(A2组)、近远中牙体组织较少的髓腔固位冠组(B1组)及近远中牙体组织较多的髓腔固位冠组(B2组)。4组模型均施加垂直向、斜向载荷, 记录两种载荷下不同修复形式的修复体、冠部牙体组织及修复体-牙体组织界面的应力大小和分布情况。**结果** 垂直加载模式下, 修复体等效应力(EQV)集中在加载点周围, 4组模型差异较小; 冠部牙体组织EQV应力分布相似, 峰值差异较小; 修复体-牙体组织界面EQV应力分布产生差异, A1、A2组集中在底壁和轴壁线角处, B1、B2组集中在加载点附近, A1、A2组峰值> B1、B2组。斜向加载模式下, 修复体EQV应力集中在加载点周围, A1、A2组峰值> B1、B2组; 冠部牙体组织EQV应力分布产生差异, A1组峰值> A2组> B1组> B2组; 修复体-牙体组织界面EQV应力分布产生差异, A1组峰值> A2组> B1组> B2组。**结论** 髓腔固位冠相较于全覆盖式高嵌体可有效降低剩余牙体组织应力和冠折的可能性。

【关键词】 三维有限元分析; 等效应力; 修复体; 下颌第一磨牙; 根管治疗

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2024.12.004

【中图分类号】 R781.33 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-0800(2024)12-1553-05

Finite element analysis of the influence of different proximal and distal dental defects on the restoration of mandibular first molar after root canal treatment

ZHANG Guoqing, WANG Limin, ZHAO Ali, CAO Liang, WANG Weiguo (The 903th Hospital of the Joint Logistics Support Force of the Chinese People's Liberation Army, Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

【Abstract】Objective To compare the residual dental tissue and stress distribution of the mandibular first molar with different proximal and distal tooth defects after root canal treatment. **Methods** The finite element method was used to model the restorations of mandibular first molars with different mesiodistal tooth defects, and divided into the fully covered high embedding with less proximal and distal dental tissue group (Group A1), the fully covered high embedding with more proximal and distal dental tissue group (Group A2), the medullary cavity fixed crown with less proximal and distal dental tissue group (Group B1), and the medullary cavity fixed crown with more proximal and distal dental tissue group (Group B2). The vertical and oblique loads were applied to record the stress magnitude and distribution of the restorations, the crown tissues, the interfaces between the restorations and the tooth tissues in different restorative forms under the two loading modes. **Results** Under the vertical loading mode, the equivalent stress (EQV) of restorations were concentrated around the loading point, there were no differences between the four groups. The EQV of crown tissues were similarly distributed, with small differences in the peaks. The EQV stress distribution of the restoration-tooth structure interface was different, A1, A2 groups concentrated at the line angle of the bottom wall and the axial wall, while B1, B2 groups concentrated near the loading point, and the peak value of A1, A2 groups was higher than those of B1, B2 groups. Under the oblique loading mode, the EQV of restoration were concentrated around the loading point, the peaks of A1, A2 Group were higher than those of B1, B2 Group. The EQV distribution of crown tissue varied, the peaks of Group A1 > A2 > B1 > B2, the EQV distribution of the restorative-tissue in-

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LTGY24H140001)

作者单位: 310000 杭州, 中国人民解放军联勤保障部队第九〇三医院

通信作者: 王卫国, Email: wwgdk@126.com

terface varied, the peaks of Group A1 > A2 > B1 > B2. **Conclusions** Compared with full overlays, pulp cavity retaining crowns can effectively reduce the residual tissue stress and the possibility of crown fracture.

【Key words】 Three-dimensional finite element analysis; Equivalent stress; Restorations; Mandibular first molar; Root canal therapy

[Modern Practical Medicine, 2024, 36(12): 1553-1557]

根管治疗后的牙齿由于缺少牙髓对牙本质的营养供应,无法继续形成继发性牙本质和第三期牙本质,导致牙齿的强度下降。另外,在去除龋坏以及洞型制备过程中由于去除了大量冠方的牙体组织,造成牙齿颌面大面积缺损,甚至形成了薄壁弱尖,在咬合过程中易发生折断或劈裂^[1]。因此,临床中患牙根管治疗后一般都建议进行冠保护,将其所受的拉应力转变为压应力,增加牙冠的抗力,降低牙折断或劈裂的可能性^[2]。全覆盖式高嵌体和髓腔固位冠牙体预备量相对较少,有利于保存剩余牙体组织^[3],在临床调查中也显示出了较传统全冠更优良的力学性能及更高的成功率^[4]。邻间牙本质是连接患牙颊舌侧的牙体组织,对患牙的抗力有重要的影响。全覆盖式高嵌体在牙体预备过程中需要磨除部分邻面牙体组织以打开邻间隙,以恢复合适的邻接关系^[5]。在打开邻间隙的过程中,部分近远中牙体组织较少的患牙会因为牙体预备丧失原有的邻间牙本质,可能会对剩余牙体组织的抗力产生不良的影响^[6]。因此,本研究对比分析两种不同近远中牙本质剩余量制作全覆盖式高嵌体及髓腔固位冠时的应力对比,为临床判断不同牙体组织剩余量时选择修复方式提供依据,现报道如下。

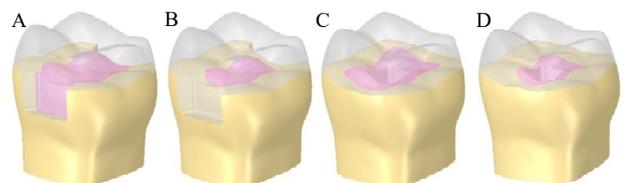
1 资料与方法

1.1 三维数字模型的建立 采用本团队前期建立的下颌第一磨牙三维数字模型^[7],使用 Unigraphics NX 8 软件进行计算机辅助设计,根据近远中牙体组织剩余量设计两组不同的下颌第一磨牙根管治疗后的模型,在此基础上模拟全覆盖式高嵌体和髓腔固位冠的牙体预备以及修复体的制备,生成 4 组不同的下颌第一磨牙根管治疗后全覆盖式高嵌体和髓腔固位冠的模型,见图 1。近远中牙体组织较少的全覆盖式高嵌体组 (A1 组) 由于牙体制备去除了邻间牙体组织,因此颊舌侧牙体组织之间没有牙体组织相连;而

近远中牙体组织较多的全覆盖式高嵌体组 (A2 组) 在牙体预备后仍然预留部分的邻间牙本质连接颊舌侧牙体组织,颊舌侧牙体组织之间有牙体组织相连。近远中牙体组织较少的髓腔固位冠组 (B1 组) 和近远中牙体组织较多的髓腔固位冠组 (B2 组) 均无需对邻间牙本质进行牙体预备,因此两组模型的颊舌侧均有邻间牙本质相连。

1.2 有限元分析模型的建立 将上述所有的模型导入 Ansys Workbench 有限元分析软件中,采用十节点四面体单元进行网格划分。设置模型的材料参数,并将模型中的所有组件设置为连续、均匀和各向同性的线性弹性材料^[8],力学参数见表 1。

1.3 加载条件与边界条件 力的加载方式为静态加载,加载方向分为垂直加载和颊舌斜向加载两种。垂直加载的加载方向与牙长轴平行,加载位点为近中边缘嵴、中央窝、远中边缘嵴、近中颊尖顶及远中颊尖顶,总加载力大小为 200 N,每个加载位点加载力为 40 N。斜向加载的加载方向为与牙长轴成 45°,加载位点为近中颊尖颊侧斜面中点和远中颊尖颊侧斜面中点,总加载力大小为 200 N,每个加载位点力值为 100 N^[9]。模型的边界条件为在松质骨和硬质骨两侧在所有方向完全约束。



注:A 为 A1 组,B 为 A2 组,C 为 B1 组,D 为 B2 组

图 1 三维模型

表 1 材料的力学参数

材料	弹性模量(GPa)	泊松比
牙釉质	84.1	0.33
牙本质	18.6	0.31
牙科	6.9×10 ⁻⁴	0.45
硬质骨	13.7	0.30
松质骨	1.37	0.31
铸瓷	65	0.19
复合树脂	12	0.25

1.4 观察指标 以两种修复方式下修复体-冠部牙体组织以及修复体与牙体组织界面的等效应力(EQV)为观察指标,记录两种加载模式下不同模型的EQV分布与峰值。

2 结果

2.1 修复体EQV应力分布及峰值 垂直加载模式下,4组模型修复体的EQV应力分布相似,应力均集中在5个加载点周围,4组模型修复体的EQV应力峰值差别较小。斜向加载模式下,4组模型修复体的EQV应力分布相似,应力均集中在2个加载点周围,A1、A2组EQV应力峰值差别较小,B1、B2组EQV应力峰值差别较小,A1、A2组EQV应力峰值>B1、B2组,见图2。

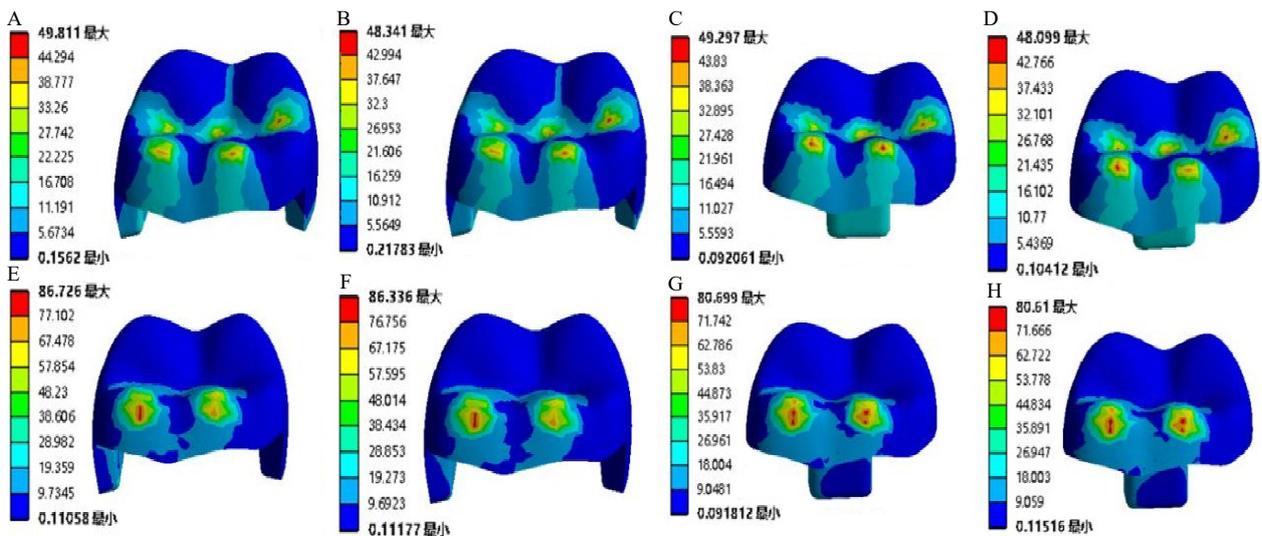
2.2 冠部牙体组织EQV应力分布及峰值 垂直加载模式下,4组模型冠部牙体组织的EQV应力分布相似,均位于牙齿颈部的颊侧,4组模型冠部牙体组织的EQV应力峰值差别较小。斜向加载模式下,4组模型冠部牙体组织的EQV应力分布产生了差异,A1组的应力集中在轴壁与底壁的线角处,A2组应力主要集中在颈部舌侧,同时在髓壁与底壁的线角处也出现了应力集中;B1、B2组的应力分布相似,均位于颈部的舌侧。斜向加载模式下,4组模型冠部牙体组织的EQV应力峰值的差异较大,A1组>A2组>B1组>B2组,见图3。

2.3 修复体-牙体组织界面EQV应力分布及峰值

垂直加载模式下,4组模型修复体-牙体组织界面的EQV应力分布产生了差异,A1、A2组的EQV应力主要集中在底壁和轴壁的线角处;B1、B2组的EQV应力主要集中在加载点附近。垂直加载模式下,4组模型修复体-牙体组织界面的EQV应力峰值产生了差异,A1、A2组的EQV应力峰值差异较小,B1、B2组的EQV应力峰值差异较小,A1、A2组的EQV应力峰值>B1、B2组。斜向加载模式下,4组模型修复体-牙体组织界面的EQV应力分布产生了差异,A1组的应力集中在轴壁与底壁的线角处,A2组应力集中在髓壁与底壁的线角处,B1、B2组的应力分布相似,均位于颌面的近中颊侧。斜向加载模式下,4组模型修复体-牙体组织界面的EQV应力峰值的差异较大,A1组>A2组>B1组>B2组,见图4。

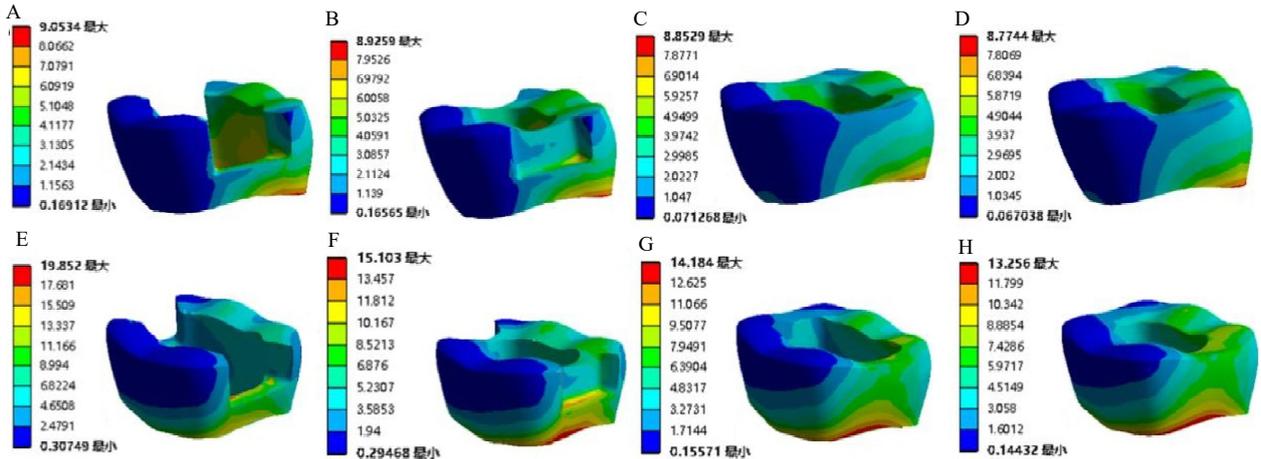
3 讨论

磨牙颌面窝沟点隙是龋坏的好发部位,细菌通过窝沟点隙向牙齿内部呈隐匿性进展,患者常无自觉症状,当出现牙髓症状或颌面牙体组织崩塌后才发现就诊^[10]。此时,牙齿内部大量牙本质已经被龋坏,牙体组织大面积缺损,牙髓也多数被感染,一般需要去除龋坏后进行完善的根管治疗。根管治疗过程中,去除龋坏及洞型制备去除了大量冠方的牙体组织,造成牙齿颌面大面积缺损,甚至形成了薄壁弱尖。另外,下颌磨牙牙根有向中心相聚的趋势,导致根管的形态一般也是近中根管向远中弯曲,而远中



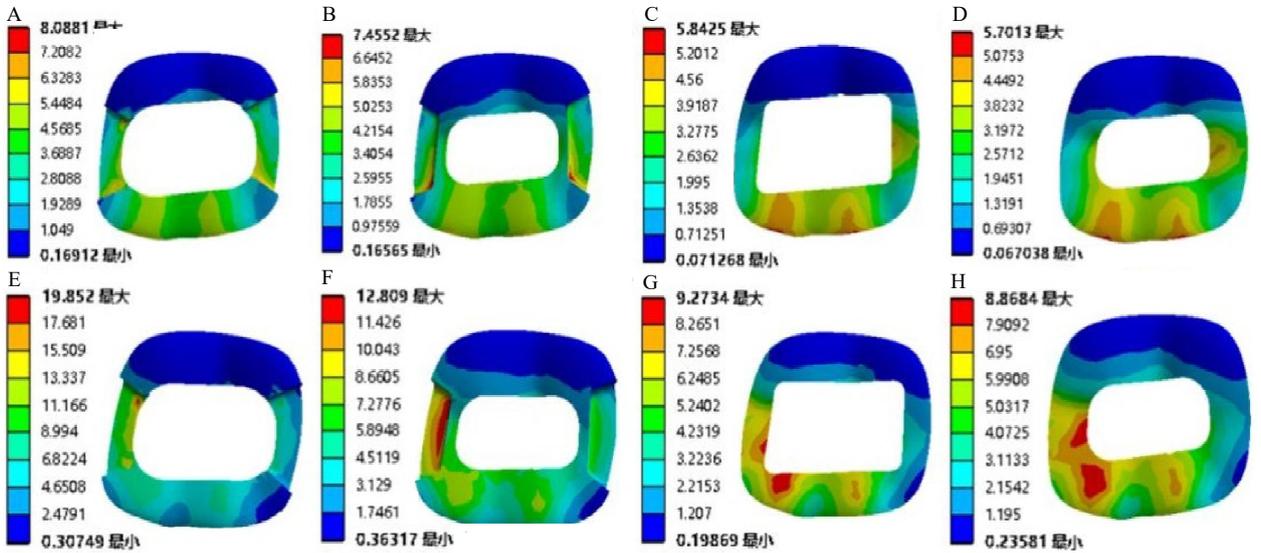
注: A为A1组垂直加载;B为A2组垂直加载;C为B1组垂直加载;D为B2组垂直加载;E为A1组斜向加载;F为A2组斜向加载;G为B1组斜向加载;H为B2组斜向加载

图2 两种加载模式下修复体的EQV应力分布情况



注: A 为 A1 组垂直加载; B 为 A2 组垂直加载; C 为 B1 组垂直加载; D 为 B2 组垂直加载; E 为 A1 组斜向加载; F 为 A2 组斜向加载; G 为 B1 组斜向加载; H 为 B2 组斜向加载

图 3 两种加载模式下冠部牙体组织的 EQV 应力分布情况



注: A 为 A1 组垂直加载; B 为 A2 组垂直加载; C 为 B1 组垂直加载; D 为 B2 组垂直加载; E 为 A1 组斜向加载; F 为 A2 组斜向加载; G 为 B1 组斜向加载; H 为 B2 组斜向加载

图 4 两种加载模式下修复体-牙体组织界面的 EQV 应力分布情况

根管一般向近中弯曲,为了降低根管弯曲度,根管治疗中一般需要去除近中根管的近中以及远中根管的远中部分牙体组织,以保持根管上部的直线通路^[1],导致近远中的剩余牙体组织进一步减少。传统的冠保护方式是使用全冠修复,然而全冠在牙体制备过程由于需要制备肩台,去除了部分的颈部牙体组织,其中包含了强度最高的的釉质,造成了颈部牙体组织抗力下降;另外,牙齿颈部是牙体组织应力集中的位置,去除了颈部牙本质可能会增加牙齿折裂的可能性^[2]。全覆盖式高嵌体和髓腔固位冠是目前临床上针对根管治疗后牙齿大面积缺损患牙常用的微创修复方式,两种修复方式均具有保护薄壁弱尖且牙

体组织去除量少的优点,但由于牙体预备和固位方式的不同,两者预备后剩余牙体组织形态具有较大的不同,两种修复方式对其应力的影响鲜少见文献报道。

本研究结果表明不同的修复形式及加载方式对下颌第一磨牙缺损修复后的应力有显著影响。无论在垂直加载时还是在斜向加载时,各组修复体的应力分布均相似, EQV 应力主要集中在加载点周围,说明无论全覆盖式高嵌体还是髓腔固位冠最易发生破坏的位置是功能尖及窝沟区域。斜向加载时修复体的 EQV 应力高于垂直加载时,这符合临床中因侧向力导致牙齿和修复体折裂的情况,因此需要通过降低牙尖斜度、调磨对颌过锐牙尖等方式,降低侧向

力对牙齿及修复体的不良影响^[13]。斜向加载时,全覆盖式高嵌体的EQV应力稍大于髓腔固位冠,说明制作髓腔固位冠也是一种降低修复体应力的方法。

冠部牙体组织是修复后最易发生折裂的部位^[14]。牙齿颈部是牙齿应力集中的区域,越靠近牙齿颈部区域,EQV应力越大,说明颈部牙体组织较冠方牙体组织对基牙的强度影响更大,因此在临床修复中应尽量选择破坏牙颈部完整性的微创修复方式。本研究结果显示,垂直加载时冠部牙体组织的EQV应力主要集中在其颊侧颈部,EQV应力的峰值差异较小,说明在垂直加载时修复体及冠部缺损方式的不同对冠部牙体组织的EQV应力无明显影响。而在斜向加载时,冠部牙体组织的EQV应力产生了较大的变化。两组髓腔固位冠的EQV应力转向集中在舌侧颈部;而两组全覆盖式高嵌体的EQV应力集中点不仅转向了舌侧颈部,而且在邻面牙体预备的线角处也发生了应力的集中。两组全覆盖式高嵌体的EQV应力峰值要大于两组髓腔固位冠,特别是A1组,由于缺乏髓壁,其应力主要集中在轴壁与底壁的线角处,其EQV应力峰值显著大于其余各组,说明对于预备后无邻接牙本质相连的全覆盖式高嵌体,其冠部牙体组织发生折裂的风险较其余各组显著增加。

无论垂直加载还是斜向加载,全覆盖式高嵌体的修复体-牙体组织界面EQV应力始终位于牙体预备后的线角处;髓腔固位冠的修复体-牙体组织界面EQV应力主要位于加载点的下方。这说明全覆盖式高嵌体牙体预备后的线角虽然经过了圆滑处理,但还是其结构中的薄弱点,全覆盖式高嵌体的邻面预备方式是不利于保持牙齿结构强度的。对比A1组与A2组结果,保留了部分的邻间牙本质后的确可以降低冠部牙体组织和修复体-牙体组织界面的EQV应力。B1组与B2组EQV应力峰值差异较小且小于其余两组,说明对于髓腔固位冠修复来说,基牙近远中牙体组织的多少对其结构的影响较小,且应力也较小。

综上所述,临床中对于近远中牙体组织较少、在全覆盖式高嵌体牙体预备后无邻间牙本质的患牙不

建议使用全覆盖式高嵌体修复,而建议使用髓腔固位冠修复;而对于近远中牙体组织较多、在牙体预备后留有较多邻间牙本质的患牙建议使用髓腔固位冠修复,也可以谨慎的选择全覆盖式高嵌体修复。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张国庆:实验操作、论文撰写;王利民、赵阿莉、曹諒:数据整理、统计学分析;王卫国:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] 田自锋,周志斐,祁韶鹏.纤维桩树脂核结合全冠修复后牙大面积缺损 69 例报告[J].口腔颌面修复学杂志,2010,11(3):170-171.
- [2] 刘世员.嵌体修复及树脂充填+固位纤维冠外保护在根管治疗后牙根抗折性能修复中的应用[J].中国实用医药,2023,18(12):69-72.
- [3] 符苏杰,宋冬生,孙凯莹,等.全瓷冠、高嵌体与覆盖体对大面积牙体缺损后牙修复效果及牙周组织的影响[J].现代生物医学进展,2022,22(9):1729-1733.
- [4] 黄一鑫,吴千驹.全瓷全冠与高嵌体修复低矮磨牙的临床对比研究[J].临床口腔医学杂志,2018,34(4):225-227.
- [5] 张维波,陈佳龙,曹颖.2种全瓷高嵌体修复无髓后牙牙体缺损的对比研究[J].中华全科医学,2020,18(6):938-941,1024.
- [6] 王丽芳.探析牙体预备对口腔修复临床效果的影响[J].甘肃科技,2023,39(8):111-113.
- [7] 张国庆,王卫国,朱慧勇.下颌第一磨牙根管治疗后不同修复方案的生物力学分析[J].实用口腔医学杂志,2018,34(4):497-501.
- [8] 康小翠,周珊,李晨,等.洞壁倒凹的不同处理对下颌第一磨牙嵌体修复的三维有限元分析[J].口腔医学研究,2023,39(9):827-831.
- [9] 焦海斌,吕学超,黄鹏飞,等.不同嵌体材料修复下颌第二乳磨牙邻(牙合)(II类)洞型的三维有限元分析[J].现代口腔医学杂志,2019,33(4):207-210.
- [10] 梁向阳,李春年,戴航宇,等.树脂充填与嵌体修复治疗牙体缺损后对修复体及牙体影响的Meta分析[J].中华老年口腔医学杂志,2020,18(6):342-345.
- [11] 王晓,田宇,倪龙兴,等.不同根管通路建立方式对根管治疗后的下颌第一磨牙应力分布的影响[J].口腔医学,2020,40(8):698-702,706.
- [12] 刘德伟,陆俊卿,林鑫毅,等.不同类型牙体缺损髓腔固位冠和全冠修复的三维有限元分析[J].口腔颌面修复学杂志,2019,20(3):129-133.
- [13] 赵楚翹,徐一驰,刘定坤,等.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[J].口腔医学研究,2018,34(5):513-517.
- [14] 王维伊,吴友农,王勤波.对下颌第一磨牙根管治疗后垂直加载抗折性关联因素的分析[J].牙体牙髓牙周病学杂志,2011,21(7):385,399.

收稿日期:2024-10-09

(本文编辑:吴迪汉)