

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2018.07.007

· 基础研究 ·

3种机用镍钛锉根管预备对上颌第一磨牙应力的影响

袁理¹, 白雪岭², 李飒¹, 金艳¹, 游洪霞¹, 黄盛兴¹

1. 深圳市人民医院口腔医学中心,暨南大学第二临床医学院,广东深圳(518020); 2. 中国科学院深圳先进技术研究院,广东深圳(518055)

【摘要】 目的 比较3种机用镍钛锉根管预备对上颌第一磨牙应力大小和分布影响的差异。方法 采用上颌第一磨牙树脂模型,分别用Reciproc、WaveOne和Protaper机用镍钛根管锉进行根管预备。使用Micro-CT分别扫描预备前后的树脂模型,将扫描结果导入Mimics 16.0软件建立相应的三维模型,通过Abaqus 6.14有限元分析软件在垂直和侧方加载条件下进行应力分析。结果 3种机用镍钛根管锉根管预备后,在垂直力加载下,Reciproc组、WaveOne组、Protaper组牙釉质最大应力增幅分别为1.36%、21.48%、20.99%;牙骨质最大应力增幅分别为55.98%、41.18%、33.04%;牙槽骨最大应力增幅分别为45.55%、40.37%、24.09%;在斜向45°力加载下,Reciproc组、WaveOne组、Protaper组牙釉质最大应力增幅分别为1.79%、-4.58%、3.82%;牙骨质最大应力增幅分别为16.33%、7.58%、4.32%;牙槽骨最大应力增幅分别为46.82%、36.40%、8.29%。3种机用镍钛根管锉根管预备后,在相同的加载条件下,牙骨质和牙槽骨的最大应力均较预备前增大,应力集中区均位于牙冠与牙根交界区。3组在侧方加载时的应力均明显大于垂直加载时的应力。两种加载条件下,Reciproc组牙骨质和牙槽骨应力增大幅度均大于其余两组。结论 根管预备会造成上颌第一磨牙应力增大,Reciproc组牙骨质和牙槽骨应力增大更明显。

【关键词】 根管预备; 镍钛根管锉; 应力; 单支锉; Micro-CT; 有限元分析

【中图分类号】 R781.05 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2018)07-0445-06

【引用著录格式】 袁理,白雪岭,李飒,等. 3种机用镍钛锉根管预备对上颌第一磨牙应力的影响[J]. 口腔疾病防治, 2018, 26(7): 445-450.

Stress analysis of simulated maxillary first molar prepared with three rotary nickel-titanium instruments

YUAN Li¹, BAI Xueling², LI Sa¹, JIN Yan¹, YOU Hongxia¹, HUANG Shengxing¹. 1. Department of Stomatology, Shenzhen People's Hospital, Second Clinical Medical College of Jinan University, Shenzhen 518020, China; 2. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

Corresponding author: HUANG Shengxing, Email: shxhuang@sina.com, Tel: 0086-755-22942997

【Abstract】 Objective To compare the differences in the stress distribution in simulated first molars prepared with three rotary nickel-titanium instruments. **Methods** Four simulated first molars were prepared without instruments and with Reciproc, WaveOne and Protaper. Before and after preparation, each simulated molar was scanned by Micro-CT. The data were imported to Mimics 16.0 software to establish three-dimensional models. Finite element analysis was processed with Abaqus 6.14 software under conditions of longitudinal and lateral load. **Results** Under vertical load conditions, the maximum von Mises stress of the enamel increased by 1.36%, 21.48% and 20.99% in the Reciproc, WaveOne and Protaper groups, respectively, after preparation, while the maximum von Mises stress of the cementum increased by 55.98%, 41.18% and 33.04%, respectively, and the maximum von Mises stress of the alveolar bone increased by

【收稿日期】 2018-01-02; **【修回日期】** 2018-02-14

【基金项目】 深圳市科技计划项目(JCYJ20140416122812030)

【作者简介】 袁理,副主任医师,博士,Email: yuan_li@163.com

【通信作者】 黄盛兴,主任医师,硕士,Email: shxhuang@sina.com

45.55%, 40.37% and 24.09%, respectively. Under 45° lateral load conditions, the maximum von Mises stress of the enamel increased by 1.79%, -4.58% and 3.82% in the Reciproc, WaveOne and Protaper groups, respectively, after preparation, while the maximum von Mises stress of cementum increased by 16.33%, 7.58% and 4.32%, respectively, and the maximum von Mises stress of the alveolar bone increased by 46.82%, 36.40% and 8.29%, respectively. Under the same conditions, the von Mises stresses of the cementum and alveolar bones of the simulated molars were higher after preparation than before preparation, especially under lateral load conditions. The stress was focused on the border between the crown and the root. The von Mises stress of the cementum and alveolar bones increased much more in the Reciproc group than in the other two groups under both conditions. **Conclusion** The von Mises stress of simulated molars was greater after preparation than before preparation. The von Mises stress of the cementum and alveolar bones increased much more in the Reciproc group than in the other two groups.

【Key words】 Root canal preparation; Nickel-titanium instruments; Stress; Single files; Micro-computed tomography; Finite element analysis

随着大锥度机用镍钛根管锉的推广应用,学者们发现根管预备之后牙根纵裂的发生率有一定提升,于是对根管预备后牙体的应力改变产生了浓厚兴趣。研究表明^[1-3],根管预备造成牙体组织减少,结构强度下降。近年来,以 Reciproc 和 WaveOne 为代表的新型根管锉不断出现,由于它们采用了往复运动方式和单支锉的预备方法,降低了器械分离的风险^[4],简化了操作步骤,提高了根管预备的效率^[5]。但是,关于此类根管锉预备之后,牙体组织的应力大小和分布的研究尚不多见。本研究以上颌第一磨牙树脂模型为研究对象,运用有限元分析的方法,对3种机用镍钛根管锉根管预备后牙体组织的应力大小和分布进行了分析,以期对根管锉的临床应用提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 设备和软件

Micro-CT (SKYSCAN, 1176 型, Bruker, 比利时); 联想图形工作站 C30(4155DL8); Mimics 16.0 医学影像建模软件 (Materialise, 比利时); Abaqus 6.14 有限元分析软件 (达索 Simulia, 美国); Reciproc (VDW, 德国); 不锈钢手用根管锉、WaveOne、Protaper、根管预备马达、6:1 减速手机 (Dentsply-Maillefer, 瑞士), 第一磨牙树脂模型 (VDW, 德国)。

1.2 Micro-CT 扫描及三维重建

①采用 Micro-CT 对上颌第一磨牙树脂标准模型 (Endo übungszahn, 德国, 图 1a) 进行扫描, 层厚间距 27 μm 。②根管预备: 将3个上颌第一磨牙树脂标准模型分别固定于工作台。首先, 按顺序使用不锈钢手用根管锉 8 号、10 号和 15 号分别预备

每个根管达到工作长度。然后, 对每个标准模型分别使用 Reciproc、WaveOne 和 Protaper 机用镍钛锉配合根管预备马达和 6:1 减速手机, 按照厂家要求的模式、转速、扭矩和步骤预备每一个根管。Protaper 终锉为 F2。各组最终均将根尖预备至 0.08 锥度, 25 号。在根管预备过程中, 始终用 5 mL 一次性注射器、27 号针头和蒸馏水保持根管湿润, 根管锉尖端蘸乙二胺四乙酸凝胶 (RC-Prep, Stone Pharmaceuticals, 美国) 进入根管。器械每进出一次根管, 用 75% 酒精棉球清洁器械表面, 5 mL 蒸馏水冲洗根管。每支根管锉仅用于 1 个模拟根管的预备。全部操作由同一名操作者完成。将相应预备后的模型分别用 Micro-CT 按照相同条件扫描。③将 Micro-CT 数据导入 Mimics 16.0 (图 1b) 中, 建立第一磨牙树脂模型的几何模型 (图 1c) 和 Reciproc、WaveOne 和 Protaper 3 种根管锉根管预备前后的根管模型 (图 1d ~ 图 1g)。

1.3 有限元模型构建

1.3.1 网格划分 将 Mimics 软件生成的几何模型导入 Abaqus 6.14 软件, 使用有限元软件添加牙槽骨^[3], 采用四面体单元分别对釉质、牙骨质及牙槽骨进行自动划分网格。釉质共有 96 148 个单元、19 367 个节点; 牙槽骨共有 385 758 个单元、88 098 个节点, 而牙骨质模型中根管预备前、Reciproc 根管预备后、WaveOne 根管预备后、Protaper 根管预备后分别有 160 752、216 576、204 430、211 765 个单元以及 32 657、42 566、40 477、41 624 个节点。上颌第一磨牙根管预备前网格模型见图 2。

1.3.2 材料属性 将各种材料属性定义为各向同性的线性弹性材料, 其力学参数见表 1。

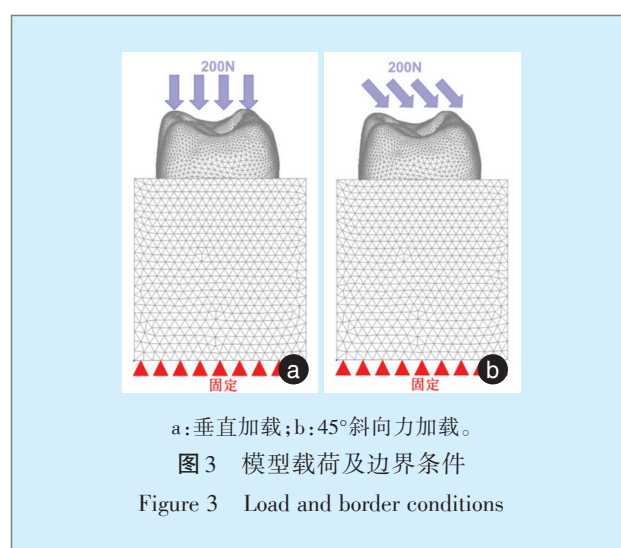
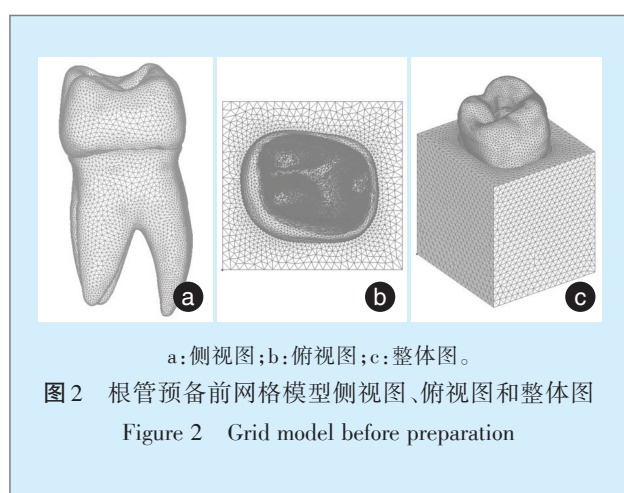
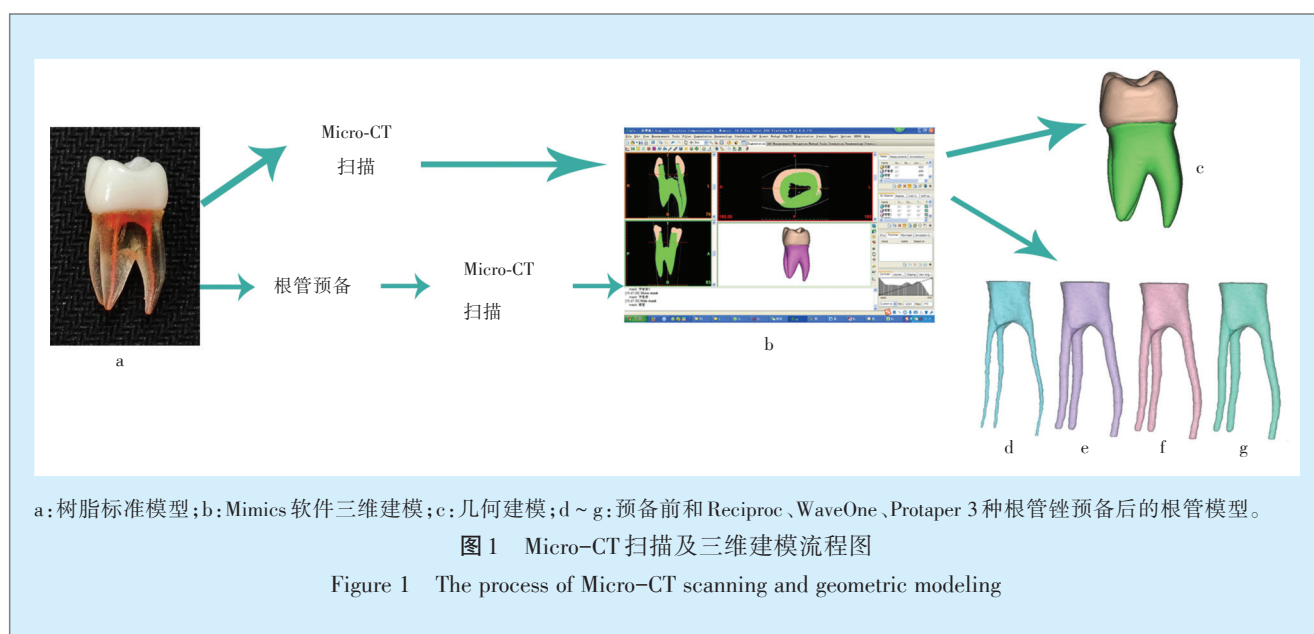


表1 各种材料的力学属性

Table 1 Mechanical characteristics of all materials

| 材料名称 | 弹性模量 E(Gpa) | 泊松比 δ |
|------|-------------|--------------|
| 牙釉质 | 84.1 | 0.30 |
| 牙本质 | 18.6 | 0.31 |
| 牙骨质 | 13.8 | 0.30 |
| 牙槽骨 | 8.3 | 0.35 |

1.3.3 载荷及边界条件 假设各组织是连续、均匀、各向同性的线弹性材料。材料受力变形为小变形,在加载条件下不发生相对滑移。通过牙体长轴方向分别分散垂直与45°斜向力加载200 N,受力时牙槽骨周围为刚性约束,各解剖结构之间假设为固定接触(图3)。

2 结果

2.1 垂直力加载下的上颌第一磨牙应力大小和分布

根管预备后,垂直力加载下,牙釉质、牙骨质和牙槽骨的最大应力均较预备前增大,增幅以 Reciproc 组牙骨质为最大,应力最大的结构为牙槽骨。应力集中区域均位于牙冠与牙根交界区(表2,图4)。

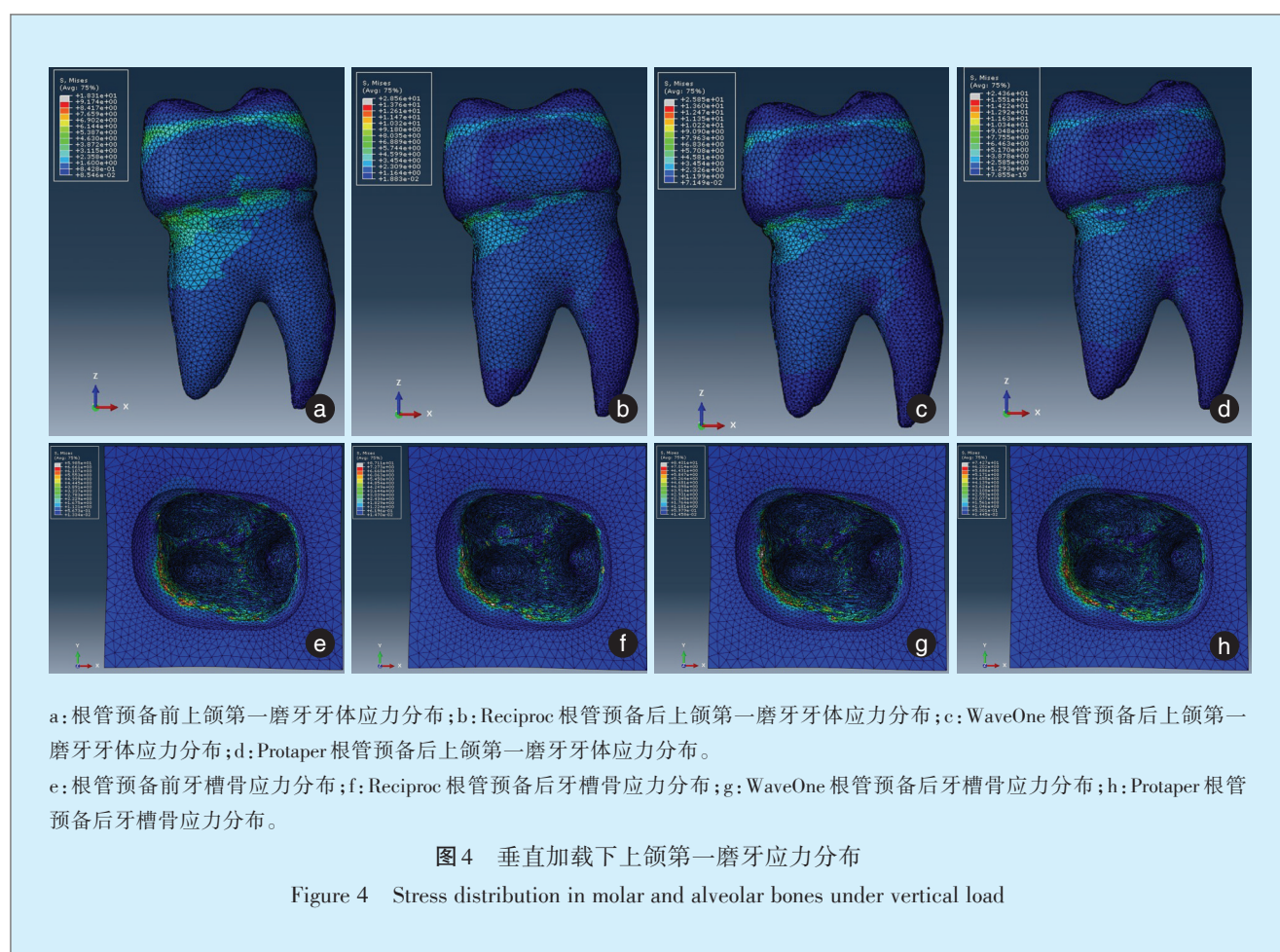
2.2 斜向45°力加载下的上颌第一磨牙应力大小和分布

根管预备后,斜向45°力加载下,牙釉质 WaveOne 组最大应力较预备前略有减小,其余两组均

表2 垂直力加载下上颌第一磨牙最大应力

Table 2 von Mises stress under vertical load

| 项目 | 根管预备前最大应力 | Reciproc | | WaveOne | | Protaper | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) | 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) | 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) |
| 牙釉质 | 8.10 | 8.21 | 1.36 | 9.84 | 21.48 | 9.80 | 20.99 |
| 牙骨质 | 18.31 | 28.56 | 55.98 | 25.85 | 41.18 | 24.36 | 33.04 |
| 牙槽骨 | 59.85 | 87.11 | 45.55 | 84.01 | 40.37 | 74.27 | 24.09 |



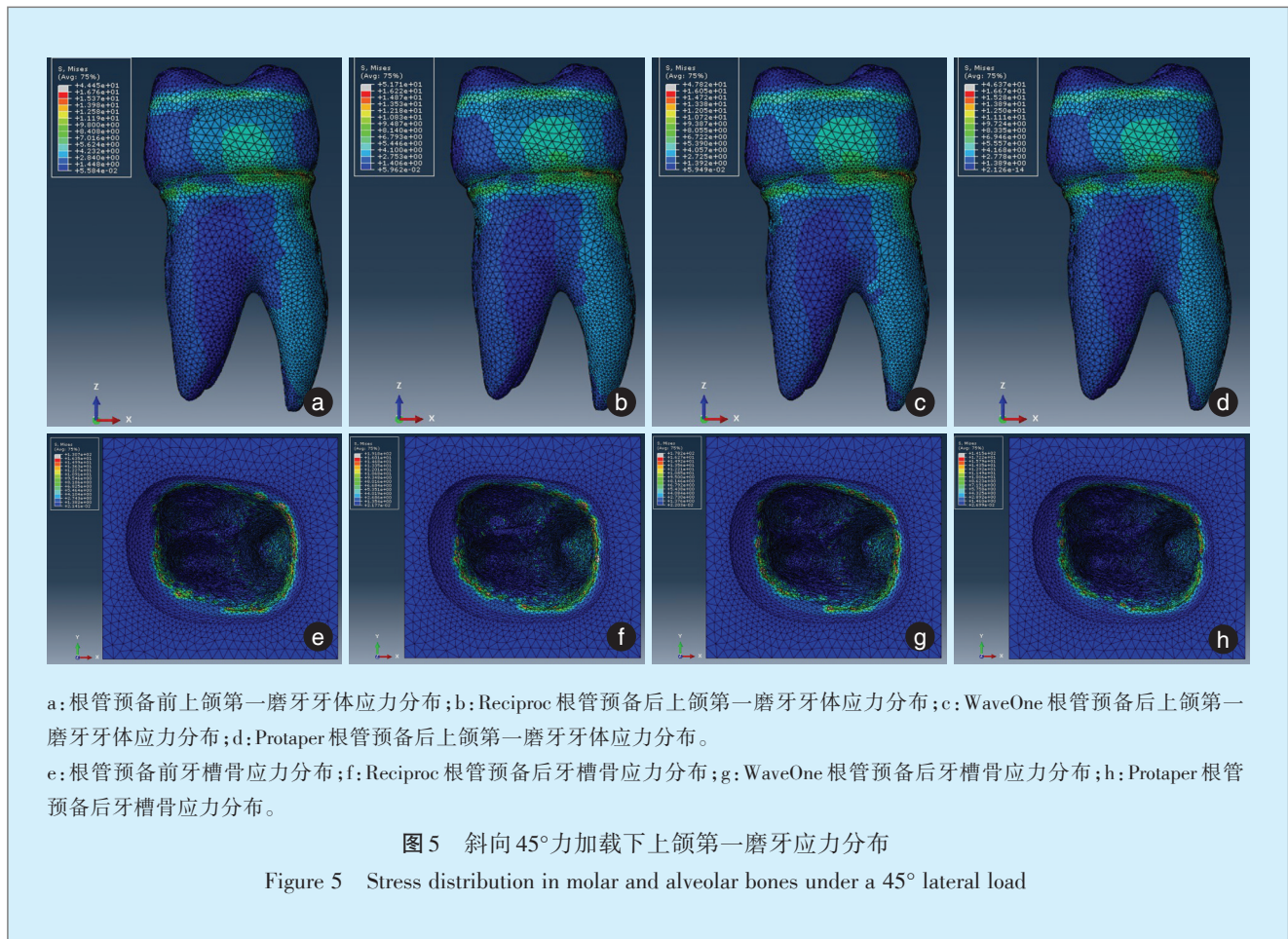
稍有增大;牙骨质和牙槽骨的最大应力均较预备前增大,增幅以 Reciproc 组牙槽骨为最大,应力最

大的结构为牙槽骨。应力集中区域均位于牙冠与牙根交界区(表3,图5)。

表3 斜向45°力加载下上颌第一磨牙最大应力

Table 3 von Mises stress under lateral load

| 项目 | 根管预备前最大应力 | Reciproc 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) | WaveOne 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) | Protaper 根管预备后最大应力 | 较预备前增幅(%) |
|-----|-----------|--------------------|-----------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 牙骨质 | 44.45 | 51.71 | 16.33 | 47.82 | 7.58 | 46.37 | 4.32 |
| 牙槽骨 | 130.67 | 191.85 | 46.82 | 178.23 | 36.40 | 141.50 | 8.29 |



3 讨论

以往的研究多以离体牙为研究对象,因牙齿解剖差异,根管预备前后组间对照往往可比性欠佳^[2-3]。本研究采用上颌第一磨牙树脂标准模型作为基准,消除了各组间的解剖差异,使得根管预备前后各组间均具备更好的可比性。

Micro-CT可以详尽地观察被观测物体的3D形态特征而无需破坏其结构,精度优于CBCT^[6]。研究表明,34~68 μm的层厚即可满足对于根管的研究^[7]。本研究选用的层厚为27 μm,据此建立的三维模型可以精确地反应模型的各部分结构特征。

有限元分析方法具有强大的力学模拟分析能力^[8]。本研究条件下建立的上颌第一磨牙的三维有限元模型,具有良好的几何相似性和力学相似性。加载条件为200 N顺牙长轴方向的垂直加载和斜向45°力加载,模拟了真实牙齿的常见受力情况^[9-10]。

与传统镍钛锉相比,以Reciprocal根管锉为代表的单支锉在保持根管原有形态^[11-12]和去除根管内充填物^[13]方面具有一定优势,且根管预备术后疼

痛控制较好^[14]。但其在根管预备中会导致更多新出现的根尖微裂纹^[15],预备后的牙体强度也远低于未预备牙齿和自适应锉(self adjusting file, SAF)预备的牙齿^[16]。

在本研究垂直加载条件下,使用3种机用镍钛根管锉根管预备后,牙齿的最大应力值较预备前均增大,提示根管预备造成的根管几何形态改变导致了应力大小发生了变化,增幅以Reciprocal组牙骨质为最大,应力最大的结构为牙槽骨。应力集中在牙冠与牙根交界区,为牙釉质、牙骨质和牙槽骨的边界,符合材料力学特征。而在斜向力条件下,Reciprocal组牙槽骨应力增幅最大,同时应力绝对值较垂直加载时也大幅增加。虽然应力集中区仍在牙冠与牙根交界区,但应力明显向加载指向的牙根传递^[17]。上述结果与以往研究^[15-16]相符,提示可能由于Reciprocal根管锉横截面形态、螺纹和螺距等设计特点的原因,造成使用该器械预备根管对牙齿和牙槽骨应力变化的影响更大,牙齿更难耐受侧向力量。在更大的侧向力量条件下,可能牙槽骨比牙齿更早达到断裂极限,进而先发生牙

齿脱位。也有研究提出不同的观点,认为往复运动的 Reciproc 和 WaveOne 比连续旋转的 Protaper 形成更少的牙本质微裂^[18],该结果可能与研究选用的模型和研究方法有关。

在本研究条件下,根管预备会造成上颌第一磨牙应力增大。使用 Reciproc 机用镍钛根管锉预备根管,在两种加载条件下,牙骨质和牙槽骨应力增幅均大于其余两组,在斜向 45°力加载条件下应力增加更明显。在临床应用时,建议根据有限元和力学研究结果选择更加合适的根管锉。

参考文献

- [1] Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, et al. Effects of 6 single-file systems on dentinal crack formation [J]. *J Endod*, 2017, 43(3): 456-461.
- [2] Miguéns-Vila R, Martín-Biedma B, Varela-Patiño P, et al. Vertical root fracture initiation in curved roots after root canal preparation: a dentinal micro-crack analysis with LED transillumination [J]. *J Clin Exp Dent*, 2017, 9(10): 1218-1223.
- [3] 陈君, 岳林, 王嘉德, 等. 根管扩大程度与牙根强度和应力分布的关系[J]. *中华口腔医学杂志*, 2006, 41(11): 661-663.
- [4] De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, et al. Extended cyclic fatigue life of F2 Protaper instruments used in reciprocating movement[J]. *Int Endod J*, 2010, 43 (12) : 1063-1068.
- [5] Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, et al. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved of root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and Protaper[J]. *Int Endod J*, 2012, 45(5): 449-461.
- [6] 仇晓慧, 徐海, 张光东. 显微CT在牙体牙髓病学研究中的应用 [J]. *口腔医学*, 2017, 37(11): 1049-1052.
- [7] Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, et al. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology[J]. *Int Endod J*, 1999, 32(3): 165-170.
- [8] 黄宇文. 有限元分析在口腔生物力学中的应用[J]. *中国组织工程研究*, 2012, 16(13): 2423-2426.
- [9] 赵钦民. 口腔修复学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 151.
- [10] 李群, 王超, 郑玉琪, 等. 牙本质微裂纹对牙体应力影响的三维有限元研究[J]. *第三军医大学学报*, 2017, 39(14): 1476-1480.
- [11] Maia Filho EM, Dos Reis Santos RM, Lima DM, et al. Shaping ability of ProTaper Next, WaveOne, and Reciproc in simulated root canals[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2016, 17(11): 902-906.
- [12] Bane K, Faye B, Sarr M, et al. Root canal shaping by single-file systems and rotary instruments: a laboratory study[J]. *Iran Endod J*, 2015, 10(2): 135-139.
- [13] Koçak MM, Koçak S, Türker SA, et al. Cleaning efficacy of reciprocal and rotary systems in the removal of root canal filling material[J]. *J Conserv Dent*, 2016, 19(2): 184-188.
- [14] Kherlakian D, Cunha RS, Ehrhardt IC, et al. Comparison of the incidence of postoperative pain after using 2 reciprocating systems and a continuous rotary system: a prospective randomized clinical trial[J]. *J Endod*, 2016, 42(2): 171-176.
- [15] Topçuoğlu HS, Düzgün S, Akpek F, et al. Effect of glide path and apical preparation size on the incidence of apical crack during the canal preparation using Reciproc, WaveOne, and ProTaper Next systems in curved root canals: a stereomicroscope study[J]. *Scanning*, 2016, 38(6): 585-590.
- [16] Pawar AM, Barfiwala D, Pawar MA, et al. Assessment of the fracture resistance of teeth instrumented using 2 rotary and 2 reciprocating files versus the self-adjusting file (SAF): an ex vivo comparative study on mandibular premolars[J]. *J Conserv Dent*, 2016, 19 (2): 138-142.
- [17] 钟先瑜, 徐佳蕊, 张理红, 等. 牙周吸收情况下上颌切牙的三维有限元分析[J]. *广东牙病防治*, 2015, 23(12): 647-650
- [18] Wei X, Hu B, Peng H, et al. The incidence of dentinal cracks during root canal preparations with reciprocating single-file and rotary-file systems: a meta-analysis[J]. *Dent Mater J*, 2017, 36(3): 243-252.

(编辑 张琳, 曾雄群)