网络出版时间: 2019-6-10 17:49 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.R.20190606.1643.032.html

舌侧矫治内收下前牙的三维有限元建模及验证

杨金刚¹ 蔡留意² 张月兰¹

摘要 多层螺旋计算机体层摄影(CT) 扫描获取志愿者的下 颌 CT 图像,通过 Mimics 20.0、Geomagic studio 2014、Unigraphics NX 10.0及 Ansys Workbench 18.2 软件的综合使用, 建立了2个包含下颌骨、下牙列、牙周膜、舌侧托槽、弓丝、微 种植体、牵引钩等的个体化舌侧矫治内收下前牙阶段的三维 有限元模型(3-D FEMs)。对模型初步加载工况进行验证, 验证结果符合临床实际,可以为进一步深入研究舌侧矫治的 生物力学效应提供有效平台。

关键词 舌侧矫治; 三维有限元; 内收下前牙; 生物力学

中图分类号 R 783.5

文献标志码 A 文章编号 1000 - 1492(2019)07 - 1158 - 04 doi: 10.19405/j.cnki.issn1000 - 1492.2019.07.032

下颌前突对面容美观影响较大,此类患者就诊 意愿也尤为强烈^[1]。舌侧矫治具有精确、美观等优 势,在治疗下颌前突过程中不会增加患者的下唇突 度。临床中,通过内收下前牙改善下颌前突时应尽 可能实现下后牙支抗的增强及前牙较好的转矩控 制。目前,舌侧矫治后牙支抗增强多采用微种植体 支抗技术,而前牙的转矩控制方法包括槽沟预置转 矩、长牵引钩、微种植体悬吊、弓丝双重结扎等,但相 关的生物力学研究多集中于内收上前牙领域^[2-3], 有关舌侧矫治内收下前牙的报道较少,鉴于上、下颌 颌骨及牙齿解剖结构及矫治力学的差异性,该研究 拟建立舌侧矫治滑动法内收下前牙阶段的三维有限 元模型(three-dimensional finite element models, 3-D FEMs),以期为进一步探索舌侧矫治中的生物力学 机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 建立下颌骨 - 下牙列 - 牙周膜模型 参考以

2019-02-18 接收

- 基金项目:河南省医学科技攻关计划重点项目(编号:201402022); 郑州市科技局普通公关项目(编号:153PKJGG167)
- 作者单位:¹郑州大学第一附属医院正畸科,郑州 450003 ²武警河南省总队医院口腔科,郑州 450052
- 作者简介:杨金刚,男,硕士研究生; 蔡留意,男,教授,主任医师,硕士生导师,责任作者,Email: daniel5363@163.com

往研究^[4] 选取成年女性志愿者1名,颜面部对称; 个别正常 治,牙体牙周组织健康,牙槽骨高度正常; 无全身系统性疾病。采用 64 排多层螺旋计算机体 层摄影(computed tomography,CT)(美国 General Electric 公司) 扫描颅面部 扫描结果存储为 dicom 格 式。在 Mimics 20.0 软件(比利时 Materialise 公司) 中将 CT 数据进行阈值分割,设置下颌骨和牙齿的 阈值范围 获得去除下颌双侧第一前磨牙的下牙列 和下颌骨几何模型,输出文件为 stl 格式。使用 Geomagic studio 2014 软件(美国 3D systems 公司) 读 取 stl 数据,对模型孔隙和边缘尖锐部分进行修整, 将模型曲面优化后得到光滑的下颌骨和下牙列曲面 模型。对模型运行 offset 命令,将牙齿根面均匀向 外扩张 0.2 mm,进行布尔运算得到厚度为 0.2 mm 的牙周膜实体模型,最后将生成的下颌骨-下牙列 - 牙周膜曲面模型以 igs 格式导出。

1.2 建立托槽、弓丝、牵引钩及微种植体模型 使 用 Unigraphics NX 10.0 软件(德国 Siemens 公司)通 过数字化排牙技术获得 eBrace 个体化舌侧托槽(广 州瑞通生物科技有限公司)模型,槽沟尺寸为0.46 mm × 0.64 mm (0.018 英寸 × 0.025 英寸),前牙区 为垂直槽沟 后牙区为水平槽沟。采用舌侧不锈钢 带状弓丝 尺寸为 0.41 mm × 0.56 mm (0.016 英寸 ×0.022 英寸) 其中 0.41 mm 为弓丝唇(颊) 舌径, 0.56 mm 为弓丝 船 龈径。牵引钩为杆状结构,基部 位于下颌尖牙唇侧临床冠中心 床端指向龈方 横截 面为1 mm ×1 mm,长度11 mm。微种植体(德国 Forestadent 公司) 直径 1.5 mm,螺纹高度 0.1 mm, 螺纹顶角60°螺距0.5 mm; 植入位点为下颌第二前 磨牙与第一磨牙根间,距牙槽嵴顶6 mm 的颊侧牙 槽骨处 植入角度为与牙槽骨平面成 60° 植入骨内 深度为7 mm。

1.3 模型装配 将建立的下颌骨、下牙列、牙周膜、 舌侧矫治器等模型按需求导入 Unigraphics NX 10.0 软件中进行组装,通过修正后建立个体化舌侧矫治 内收下前牙的实体模型,以 Parasolid 格式保存。使 用 Ansys Workbench 18.2 软件(美国 AYSYS 公司) 读取 Parasolid 格式数据,定义材料属性,进行网格 划分,设置边界约束,最终生成整体的个体化舌侧矫治内收下前牙阶段的 3-D FEMs,见图 1。



 1.4 材料参数和边界约束 为简化运算,各材料均 简化为均质、各向同性的线性弹性体。设置皮质骨、 松质骨、牙齿、牙周膜、微种植体、托槽(弓丝及牵引 钩)的弹性模量分别为13700.00、1370.00、 20300.00、0.25、10300.00、20600.00,泊松比分别 为0.26、0.30、0.30、0.49、0.35、0.30^[5-6]。对髁突 关节面和下颌骨下缘进行自由度的刚性约束。

1.5 接触关系和连扎模拟 定义牙槽骨与牙周膜、 牙周膜与牙齿、托槽与牙齿为固定连接;托槽与弓丝 为接触连接、摩擦系数为 0.2;牙齿与牙齿之间设置 为无摩擦连接。在前牙每两个邻近托槽间建立两个 杆单元进行连接、对牙齿沿弓丝散开进行约束、模拟 临床中的前牙连扎。

2 结果

2.1 建模 建立了个体化舌侧矫治内收下前牙阶段的 3-D FEMs。模型 1:为对比单纯舌侧矫治与配合微种植体、牵引钩装置后舌侧矫治的力学差异,建立了不包含微种植体与牵引钩的舌侧矫治内收下前

牙阶段的 3-D FEMs,见图 2A。模型 2:为增强下后 牙支抗,在第二磨牙颊侧临床冠中心与微种植体头 部之间设置横截面为 1 mm × 1 mm 的连接杆,以建 立第二磨牙间接支抗,见图 2B。由于双侧对称加 力,为简化运算,沿矢状向将模型从正中分开,只分 析右侧模型。模型各部分均采用四面体十节点单元 进行网格划分,以模型 2 为例,网格划分后共生成单 元301 465 个,节点521 190 个。其中皮质骨、松质 骨、牙齿、牙周膜、托槽、弓丝、微种植体、牵引钩、连 接杆、连扎丝的单元数分别为49 174、38 706、 66 975、107 758、163 015、13 816、18 810、30 603、 26 193、6 140 个,节点数分别为26 360、23 410、 42 178、53 450、103 442、2 214、11 355、20 161、 16 308、2 587个。



图 2 网格划分后的 3-D FEMs

A: 模型 1 为单纯舌侧矫治模型; B: 模型 2 为建立磨牙间接支抗 的舌侧矫治模型

2.2 模型验证 模拟临床加力方式,分别对模型 1、2 加载工况进行验证。工况1:在模型1中,尖牙 与第二磨牙舌侧托槽间加载1.5 N载荷。工况2: 在模型2中,模拟唇舌侧同时加力,唇侧力值加载为 牵引钩距尖牙唇侧临床冠中心龈方8 mm处,向微 种植体头部施加1.0 N载荷;舌侧力值加载为尖牙 与第二磨牙舌侧托槽间加载0.5 N载荷。计算两种 工况下牙列在水平向(X方向)、矢状向(Y方向)、 垂直向(Z方向)的初始位移,对模型进行验证。

2.2.1 工况1 水平向:总体稳定,尖牙有轻微的 水平向外趋势,第二磨牙表现为近中水平向外趋势、 远中水平向内趋势,见图 3A; 矢状向:前牙有明显的 内收舌倾趋势,且均自近中向远中逐渐减弱,第二前 磨牙和第一磨牙均表现为近中移动趋势,第二磨牙 舌侧表现为近中移动趋势、颊侧表现为远中移动趋 势,见图 3B; 垂直向:前牙唇侧表现为轻微的自殆方 向牙颈部逐渐增强的伸长趋势,舌侧表现为轻微的 压低趋势,第二前磨牙及第一磨牙近中压低趋势,第 一磨牙远中及第二磨牙远中舌侧表现为伸长趋势, 见图 3C。

2.2.2 工况2 水平向:前牙均表现一定的水平向 外趋势,自中切牙至尖牙逐渐增强,第二前磨牙及第 一磨牙表现为水平向内趋势,第二磨牙表现为近中 轻微的水平向外趋势、远中轻微的水平向内趋势,见 图 4A;矢状向:切牙的内收舌倾趋势较工况1减弱, 尖牙尤其是远中部分仍表现为较明显的内收趋势, 第二前磨牙及第一磨牙的近中移动趋势较工况1减弱, 第二南磨牙的近中移动趋势自颊侧向舌侧逐渐增 强,见图 4B;垂直向:前牙切端除侧切牙近中表现为 轻微的伸长趋势外,均表现为轻微的压低趋势,且中 切牙及尖牙的压低趋势均自近中向远中增强,前牙 唇侧的伸长趋势较工况 1 减弱,第二前磨牙及第一 磨牙的近中压低趋势及第一磨牙远中及第二磨牙远 中舌侧的伸长趋势较工况 1 减弱,见图 4C。

3 讨论

正畸过程中,力线与牙齿、牙列阻抗中心的位置 关系决定了牙齿、牙列的移动方式,在有牵引钩及微 种植体的矫治力系中,此二者的位置对矫治力线的 影响较大。考虑到下颌舌侧的解剖形态及患者舒适 度,牵引钩位置设在尖牙唇侧。有研究^[7]报道,下 前牙阻抗中心在矢状平面上于中切牙切缘龈方 13.5 mm、远中8.5 mm 处,即垂直向高度约为尖牙 颊面临床冠中心龈方8 mm 处,故设置牵引钩长度 为11 mm,便于模拟在牵引钩不同高度处加力内收 下前牙时的情况。由于下颌舌侧血管神经丰富,故 将微种植体设置在下颌骨颊侧。为尽可能增强唇舌 侧同时加力内收下前牙过程中的下后牙支抗,同时 对抗舌侧加力时下颌第二磨牙的旋转趋势,在微种 植体与下颌第二磨牙间建立间接支抗。参考下颌种 植区域的相关研究^[8],在下颌第二前磨牙与第一磨



图 3 工况 1 加载: 牙列三维方向上的初始位移 A: 水平向初始位移; B: 矢状向初始位移; C: 垂直向初始位移



图 4 工况 2 加载: 牙列三维方向上的初始位移 A: 水平向初始位移; B: 矢状向初始位移; C: 垂直向初始位移 牙间、第一磨牙与第二磨牙间颊侧距牙槽嵴顶6~8 mm 处有较大的牙根间隙。有研究^[9]显示,在建立 间接支抗时,牵引力线与连接杆所成角度最好小于 45°或大于135°,故将微种植体设置在下颌第二前 磨牙与第一磨牙间颊侧距牙槽嵴顶6 mm 处。

本研究通过两种工况对所建模型进行验证,在 工况1情况下,下前牙主要表现为舌侧倾斜移动趋 势;下颌第二前磨牙及第一磨牙表现为近中倾斜移 动趋势;下颌第二磨牙表现为远中舌侧扭转并伴有 一定的伸长趋势。在工况2情况下,下前牙的舌侧 倾斜移动趋势减弱并表现有轻微的远中倾斜移动趋 势,提示唇舌侧同时加力及牵引钩的应用可有效减 轻下前牙的舌倾趋势,提高在内收过程中对下前牙 的转矩控制;下颌前磨牙及磨牙的近中倾斜移动趋 势减弱,提示微种植体支抗技术的应用增强了下后 牙支抗;下颌第二磨牙的旋转趋势明显减弱,提示微 种植体与下颌第二磨牙间建立连接杆有效降低了舌 侧加力时下颌第二磨牙的旋转趋势。

本研究综合利用 CT 扫描技术、计算机辅助设 计技术及三维有限元方法,建立了个体化舌侧矫治 内收下前牙的有限元模型,经工况验证,与临床实际 相符,具有较好的几何相似性和力学相似性。在所 建模型上可对比唇舌侧不同加力方式、不同力值、不 同牵引钩高度及不同支抗强度等矫治方式内收下前 牙的生物力学特点,为进一步深入研究这一力系的 生物力学效应提供了良好的基础。

参考文献

- [1] Soh J, Chew M T, Wong H B. A comparative assessment of the perception of Chinese facial profile esthetics [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005, 127(6):692-9.
- [2] 张晓波,尹燕飞,姚红梅,等.不同加载方式滑动法关闭双颌前 突患者拔牙间隙的三维有限元分析[J].中华口腔医学杂志, 2016 51(7):415-9.
- [3] 蔡留意 林久祥 涨月兰 為. 个体化舌侧矫治器微种植体支抗 滑动法内收上前牙的三维有限元模型的构建[J]. 中华口腔正 畸学杂志 2014 21(1):14-8.
- [4] 刘 刚 蔡留意 涨月兰,等.个体化舌侧矫治微种植体远移下 牙列有限元模型的构建与验证[J].安徽医科大学学报 2018, 53(7):1129-34.
- [5] Hamanaka R , Yamaoka S , Anh T N , et al. Numeric simulation model for long-term orthodontic tooth movement with contact boundary conditions using the finite element method [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop , 2017 , 152(5):601 – 12.
- [6] 李九军,张 静,陈凤山.牙周膜弹性模量的生物力学测定[J]. 口腔医学研究, 2014, 30(11):1099-102.
- [7] Jo A , Mo S S , Lee K J , et al. Finite-element analysis of the center of resistance of the mandibular dentition [J]. Korean J Orthod , 2017 , 47(1): 21 30.
- [8] Fayed M M, Pazera P, Katsaros C. Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography[J]. Angle Orthod, 2010, 80(5):939-51.
- [9] Baumgaertel S , Jones C L , Unal M. Miniscrew biomechanics: Guidelines for the use of rigid indirect anchorage mechanics [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop , 2017 , 152(3):413-9.

Establishment and validation of lingual appliance three-dimensional finite element model during retracting mandibular anterior teeth

Yang Jingang¹ , Cai Liuyi² , Zhang Yuelan¹

(¹Dept of Orthodontics, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003; ²Dept of Stomatology, Henan Provincial Corps Hospital, Chinese People's Armed Police Forces, Zhengzhou 450052)

Abstract Multi-slice spiral computed tomography was applied to scan volunteer's mandible. Mimics 20.0, Geomagic studio 2014, Unigraphics NX 10.0 and Ansys Workbench 18.2 were employed to develop two three-dimensional finite element models(3-D FEMs) with mandible, dentition, periodontal ligament, customized lingual appliance, micro-implants, traction hooks, et cetera during mandibular anterior teeth retraction. The effectiveness of the 3-D FEMs was validated by loading working conditions and the validation results were consistent with actual clinical situation. The 3-D FEMs can be used for the further research of biomechanics for the lingual orthodontics; three-dimensional finite element; mandibular anterior teeth retraction; biomechanics