

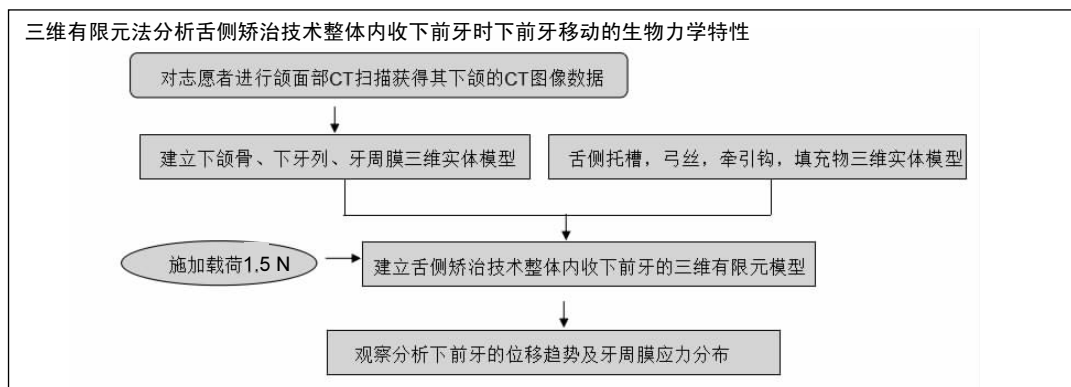
舌侧矫治技术整体内收下前牙的三维有限元分析

刘代斌¹, 陆大敏², 方志欣¹, 周 嫣¹, 黄敏方¹ (¹广西壮族自治区人民医院口腔正畸科, 广西壮族自治区南宁市 530021; ²广西大学土木建筑工程学院, 广西壮族自治区南宁市 530004)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0082

ORCID: 0000-0002-2544-6258(方志欣)

文章快速阅读:



刘代斌, 男, 1980 年生, 2015 年广西医科大学毕业, 硕士, 主治医师, 刘代斌现在长沙市口腔医院, 主要从事口腔正畸学临床研究。

通讯作者: 方志欣, 主任医师, 硕士生导师, 广西壮族自治区人民医院口腔正畸科, 广西壮族自治区南宁市 530021

中图分类号: R318

文献标识码: A

稿件接受: 2017-09-15



文题释义:

舌侧矫治技术: 舌侧矫治技术不同于传统唇侧矫治技术, 它的最大优点是将矫治器件粘接于牙列的舌侧, 在整个正畸治疗过程中, 矫治器不外现, 最大程度地满足了患者美观正畸的需求。但传统舌侧矫治技术临床操作较复杂, 初戴矫治器时, 对患者的舌头会产生刺激, 影响发音功能, 口腔卫生的护理较唇侧矫治技术需要花费更多的时间。个性化舌侧矫治技术出现后, 极大地简化了临床操作程序, 增加了患者的耐受性, 由于舌侧矫治技术同时具有对牙齿进行三维控制的能力, 故是目前最能兼具美观和高效的隐形矫治技术。

前牙内收牙齿移动趋势: 在前牙需要较大范围内收的错殆畸形的正畸治疗过程中, 前牙容易发生舌侧倾斜移动, 导致前牙正转矩的丢失。而舌侧矫治技术与唇侧矫治技术相比, 其受力状态有很多不同, 前牙受力点位于其抗力中心的舌侧, 在内收前牙的过程中更容易造成前牙正转矩的丧失, 前牙正转矩一旦丧失, 再恢复则非常困难, 直接导致矫治结果无法达到美观及功能的理想效果。

摘要

背景: 舌侧矫治技术是目前最能兼顾美观及高效等优点的隐形矫治技术, 但其在较大幅度内收的过程中, 前牙转矩的控制较难, 对此学者们进行了较多力学研究, 但多针对上颌牙列, 对下前牙整体内收的力学特征的研究相对较少。

目的: 分析舌侧矫治技术滑动法整体内收下前牙时牙移动的生物力学特征。

方法: 利用志愿者的 CT 扫描数据及舌侧托槽等实体数据, 通过一系列专用软件的运行, 建立包含下颌骨、牙周膜、牙列(拔除左右第 1 双尖牙)、舌侧托槽、有牵引钩(位于侧切牙与尖牙之间, 距离弓丝平面 11 mm)的舌侧弓丝等的整体下颌三维有限元模型, 利用此模型, 在前牙区舌侧牵引钩和第 1 磨牙舌侧牵引钩间(距离弓丝平面 2 mm)加力 1.5 N 整体内收下前牙, 初步分析加载条件下前牙位移趋势和牙周膜应力分布特征。

结果与结论: 建立了舌侧矫治技术整体内收下前牙的整体三维有限元模型, 该模型几何相似性强, 临床模拟度较高。加力后, 切牙牙冠均有舌侧倾斜并伸长移动趋势, 侧切牙更明显。尖牙则颊倾并近中倾斜及压低移动趋势。牙周膜的应力分布与牙齿的位移趋势相适应。故舌侧矫治技术前牙区较长牵引钩整体内收下前牙时, 切牙仍呈舌倾移动趋势, 尖牙无远中倾斜趋势。可见舌侧矫治技术整体内收下前牙时, 前牙更易舌倾, 长牵引钩有利于尖牙的整体移动, 对切牙的垂直向控制不利。

关键词:

舌侧托槽; 生物力学; 正畸; 下颌; 前牙; 滑动法; 整体内收; 有限元分析

主题词:

正畸学; 牙; 有限元分析; 组织工程

基金资助:

广西自然科学基金[桂科基 2012GXNSFAA053127]; 广西卫计委课题[桂卫 Z2015356]; 广西第十五批“新世纪十百千人才工程”第二层次人选专项资金

Liu Dai-bin, Master, Attending physician, Department of Orthodontics, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Corresponding author:

Fang Zhi-xin, Chief physician, Master's supervisor, Department of Orthodontics, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Three-dimensional finite element analysis of the en-masse retraction of lower anterior teeth in lingual bracket system

Liu Dai-bin¹, Lu Da-min², Fang Zhi-xin¹, Zhou Yan¹, Huang Min-fang¹ (¹Department of Orthodontics, the People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region,

China; ²School of Architecture and Construction, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China)

Abstract

BACKGROUND: Lingual bracket system is the best invisible orthodontic appliance due to its aesthetics and efficiency, but it is difficult to control anterior tooth torque during the distal retraction of the anterior tooth. Thereafter, lots of studies on maxillary anterior teeth have been conducted, but there is less knowledge about the mechanical characteristics of whole mandible dentition distal retraction.

OBJECTIVE: To analyze the biomechanical characteristics of the mandibular anterior teeth distal retracted by sliding method in lingual orthodontic treatment.

METHODS: A three-dimensional finite element model was constructed using a series of specialized software based on volunteer's CT data and lingual brackets, including the mandible, alveolar bone, periodontal ligament, dentition (removal of the two first premolars), lingual brackets and arch wire with hooks (located between lateral incisor and canine and 11 mm distant from the arch wire plane). Subsequently, 1.5 N lingual forces through the hooks of first molar (2 mm distant from the arch wire plane) and the hooks between the lower lateral incisor and canine were loaded and the biomechanical characteristics of the mandibular anterior teeth movement during the en-masse retraction were analyzed.

RESULTS AND CONCLUSION: The finite element model was constructed successfully, and had a higher geometrical similarity and resemblance of clinical situation. The crowns of lower incisors showed the tendency of lingual inclination and extension, and this tendency was more obvious in the lateral incisors. The canines were buccal and mesial inclination and intrusion. The periodontal stress concentration area was corresponded with the tendency of tooth movement. Therefore, the movement tendency of incisors is still lingual inclination when mandibular anterior teeth distal retracted by a longer hook in lingual brackets system, and there is no distal inclination. Overall, lower incisors are easy to exhibit lingual inclination; the long anterior hooks contribute to the movement of canines, but it is not available for the vertical control of incisors during mandibular anterior tooth distal retraction.

Subject headings: Orthodontics; Tooth; Finite Element Analysis; Tissue Engineering

Funding: the Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region, No. 2012GXNSFAA053127; the Project of Health and Family Planning Commission of Guangxi Zhuang Autonomous Region, No. Z2015356; the Fund for the Second-Level Candidates of Guangxi Fifteenth "New Century Ten Thousands Talents Project"

0 引言 Introduction

舌侧正畸和唇侧正畸相比,其力学机制有很多不同,在前牙内收的过程中更容易造成前牙正转矩的丧失^[1]。此问题已引起学者们的普遍重视,针对此问题学者们进行了一些研究,有学者提出使用轻力,对前牙进行较大的转矩预备,改变前牙受力的部位,使其更接近前牙的抗力中心或使用一些特殊装置,如使用种植支抗来改变正畸施力点的部位从而改变力的作用方向来控制前牙的整体内收等^[2-4]。但研究的主体往往集中在上颌,其实下颌骨骨质较致密,下前牙区牙槽骨的厚度较窄,在舌侧矫治技术中下前牙较大范围整体内收时更容易导致切牙舌倾及尖牙冠的远中倾斜。三维有限元法是进行生物力学研究的主要工具,由于它较传统的临床研究具有时间短、更直观、不受人体多因素干扰及符合伦理等众多优势,国内外学者通常采用此分析法分析舌侧正畸矫治技术的力学机制^[5]。

研究利用多种建模软件,建立包括下颌骨-下牙列-牙周膜-舌侧矫治器等多个实体部件的三维有限元模型,并利用所建立的有限元模型对舌侧矫治技术整体内收下前牙时牙列的位移变化进行研究,为探索使舌侧矫治技术的矫治效率更高、矫治效果更理想的施力方式提供参考。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 分析观察实验。

1.2 时间及地点 实验于2014年6月至2015年6月在广西大学土木建筑工程学院力学与仿真实验室完成。

1.3 对象 健康成年志愿者1名并满足以下入选条件:①恒牙列的个别正常殆;②无牙齿缺失、龋齿和牙周病;③牙颌面部无金属修复体;④未进行过正颌及正畸治疗;⑤

颌面部无外伤史;⑥患者知情同意并签署知情同意书。本研究已通过广西壮族自治区人民医院伦理委员会的审核批准。

1.4 方法

1.4.1 下颌骨和下牙列三维实体模型的建模 对志愿者进行颌面部CT(64排螺旋CT)扫描,得到志愿者下颌的CT图像,储存为dicom格式。采用mimics14.0(比利时Materialise公司)医学图像处理软件对CT数据进行合理的阈值分割以及初步的表面光滑处理,获取下牙列和下颌骨的几何模型数据,输出为Stl格式文件。再利用Geomagic studio.12逆向工程软件(美国Raindrop公司),进行细化、边缘优化、表面吻合以及降噪处理等,再通过精确曲面得到光滑的下颌骨和下牙列模型(拔除左右第1双尖牙)(图1, 2)。

1.4.2 牙周膜三维实体模型的建模 正常人的牙周膜厚度是0.15~0.38 mm^[6]。本实验选取牙周膜的厚度为0.2 mm,利用Geomagic studio.12软件,对牙列曲面模型抽壳0.2 mm,形成具有0.2 mm厚度的牙列曲面模型,然后和下颌骨进行布尔运算,得到了0.2 mm厚度的牙周膜并以stl格式文件导出备用(图3)。

1.4.3 托槽三维实体模型的建立 托槽的几何参数采用易美个性化舌侧托槽的数据(广州瑞通生物科技有限公司)。托槽的位置根据志愿者的牙冠长度确定,前牙区托槽槽沟中心距离切缘4.5~4.7 mm,后牙区的托槽槽沟中心位于牙冠的临床冠中心。通过平面确定好托槽所在的平面的位置,再用CAD/CAM/CAE一体化的三维软件Pro/Engineer5.0(美国PTC公司)建立托槽的三维实体模型(图4),作为abaqus10.0计算模型有限元网格的划分。

1.4.4 弓丝、填充物及牵引钩的三维实体模型建模 弓丝及牵引钩均为不锈钢材料, 弓丝的截面尺寸是 $0.41\text{ mm}\times 0.56\text{ mm}$ 。牵引钩与弓丝刚性连接, 末端为钩状, 指向牙根方向, 牵引钩末端距离弓丝截面中心点 11 mm 。主要是通过Pro/Engineer软件来完成建模(图5, 6)。

1.4.5 下颌舌侧矫治系统整体三维有限元模型的建立 将以上建立的三维实体模型分别导入hypermesh12.0软件, 并整体和局部调整网格种子的大小, 划分为六节点四面体有限单元, 分别将各个部件所生成的有限元网格分别以inp格式的文件导出, 所输出的文件主要包含了单元的节点号以及单元编号。最后将各个部件的单元信息组装为一个整体的有限元计算输入文件, 整个模型包含了90 663个单元节点, 302 277个有限单元。模型各部件之间的连接关系通过Aabqus10.0里面的tie接触进行连接, 最终形成所需要的三维整体有限元网格(图7)。

1.4.6 材料属性赋值 整体模型中各个部件的力学性能参数主要基于理想的各项同性假设, 而实际上这种理想化的线弹性材料较少, 大部分材料经过加载超过弹性范围后都会出现不可恢复的塑性变形, 本文主要考虑弹性变形, 没有考虑塑性变形的影响。皮质骨弹性模量 $1.37\times 10^5\text{ MPa}$, 松质骨的弹性模量为 $1.37\times 10^4\text{ MPa}$, 两者的泊松比均为0.30; 牙齿的弹性模量值 $2.03\times 10^4\text{ MPa}$, 泊松比0.30; 牙周膜弹性模量值 50 MPa , 泊松比为0.49, 托槽、弓丝及牵引钩的弹性模量为 $2.06\times 10^5\text{ MPa}$, 泊松比为0.30。

1.4.7 三维实体模型坐标轴的建立 XY平面与殆平面一致, Y轴是下牙弓对称轴, Y轴的正方向是中切牙唇面指向舌面; X轴在XY平面上并与Y轴垂直, X轴正方向是由右侧磨牙指向左侧磨牙; Z方向是与XY平面垂直的方向, Z的正方向是由牙根指向牙冠^[7](图8)。

1.4.8 模型边界条件和加载方式的确定 为了较合理地模拟实际加载情况, 将下颌骨下颌升支设置为固定边界条件, 有限元中通过控制 L_1 、 L_2 、 L_3 三个方向的位移值为0来实现(L_1 、 L_2 、 L_3 分别代表X、Y、Z方向的位移)。在下颌左右第1磨牙舌侧牵引钩上(距离弓丝平面 2 mm)和前牙区的牵引钩上分别施加力值为 1.5 N 的集中荷载(图9)。

1.5 主要观察指标 下前牙加力瞬间牙冠位移趋势(X方向、Y方向和Z方向, 分别以切牙切缘中点和尖牙牙尖点作为观察点)和牙周膜应力分布情况。

2 结果 Results

2.1 下颌前牙三维方向的位移 见表1, 图10。X方向: 切牙牙冠近远中移动不明显, 尖牙牙冠有较明显的外翻(唇颊向倾斜)移动, 左右分别为 $1.47\times 10^{-3}\text{ mm}$ 和 $-1.62\times 10^{-3}\text{ mm}$; Y方向: 切牙舌倾移动趋势, 侧切牙舌倾移动较明显, 左右最大位移值分别为 $2.23\times 10^{-3}\text{ mm}$ 和 $2.57\times 10^{-3}\text{ mm}$, 尖牙牙冠则为唇倾移动; Z方向: 切牙伸长移动, 侧切牙更明显, 左右最大位移量分别是 $2.35\times 10^{-3}\text{ mm}$

和 $2.43\times 10^{-3}\text{ mm}$, 尖牙牙冠有压低移动。

表1 施加荷载 1.5 N 于前牙区及磨牙区牵引钩后下颌前牙三维方向的位移变化 (10^{-5} mm)

Table 1 Three-dimensional movement of the mandibular anterior teeth under 1.5 N load between the hooks in anterior teeth and molars

位移	左下中切牙	右下中切牙	左下侧切牙	右下侧切牙	左下尖牙	右下尖牙
X方向	-15.5	-39	-46.5	0.834	147	-162
y方向	78.8	88.1	223	257	-36.8	-75.6
Z方向	111	115	235	243	-66.1	-103
总位移	137	150	327	354	166	207

2.2 牙周膜的应力分布趋势 最大主应力的负值区主要位于侧切牙舌侧牙颈部, 表示此位置于明显的受压状态; 最大主应力的正值区位于侧切牙的唇侧牙颈部和尖牙的近中舌侧牙颈部, 表示这两个位置处于明显的受拉状态。最小主应力的正值区主要位于侧切牙的唇侧和尖牙的近中舌侧, 此处应力值为明显正值, 表明此位置牙周膜处于受拉状态; 最小主应力负值区域主要位于侧切牙舌侧牙颈部, 表示此位置牙周膜处于明显受压状态。在侧切牙牙周膜的舌侧牙颈部出现明显的应力集中, 侧切牙唇侧牙颈部及尖牙近中舌侧牙周膜应力相对集中(图11)。

综合上述结果可见舌侧矫治技术, 当牵引钩位于侧切牙与尖牙之间, 距离弓丝平面 11 mm , 加力 1.5 N 整体内收下前牙时, 切牙牙冠舌侧倾斜移动趋势, 侧切牙更明显。尖牙则颊倾并近中移动趋势。切牙均有伸长移动趋势, 侧切牙更明显, 尖牙则有压低移动趋势。牙周膜的应力分布与牙齿的位移趋势相适应。

3 讨论 Discussion

随着社会经济的发展, 人们的口腔健康意识不断提高, 同时也越来越注重容貌美, 有一口整齐健康的牙齿成为很多人的追求。正畸治疗可以促进人的容貌美, 但唇侧矫治技术由于矫治器粘接于牙齿的唇面, 在平均长达2年左右的正畸治疗期对人的容貌美却产生很大不美观的影响, 因而越来越多的人对正畸治疗的要求已不仅仅是矫治效率高, 矫正后能达到美观的效果, 矫治过程中的美观性及隐蔽性也越来越受到广大患者的重视。尤其近年成人正畸患者不断增加, 成人患者由于工作和社交的原因, 往往更无法忍受“丑陋”的唇侧牙套。而舌侧矫治技术则兼备了美观和高效的特性, 满足了此部分患者的矫治需求。

舌侧矫治技术始于20世纪70年代, 在近10余年来, 舌侧矫治技术的倡导者和先驱者们通过大量的临床实践和探索已使舌侧矫治技术成为一种成熟、高效的隐形矫治技术, 尤其是随着计算机辅助设计(CAD)/制造(CAM)技术在舌侧矫治技术领域的应用, 使模型的建立、优化以及计算效率显著提高, 成为目前口腔正畸临床领域中



图 1 下颌骨实体模型
Figure 1 The model of the mandible



图 2 下牙列实体模型
Figure 2 The model of the lower dentition



图 3 牙周膜实体模型
Figure 3 The model of the periodontal membrane



图 4 托槽实体模型
Figure 4 The model of the bracket



图 5 弓丝实体模型
Figure 5 The model of the arch wire



图 6 牵引钩实体模型
Figure 6 The model of the hook



图 7 下颌整体三维有限元模型
Figure 7 The three-dimensional finite element model of the entire mandible

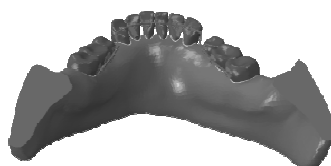


图 8 实体模型坐标轴
Figure 8 Coordinate axis of the solid model

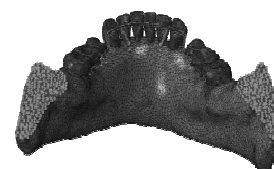


图 9 模型边界条件
Figure 9 Boundary of the model

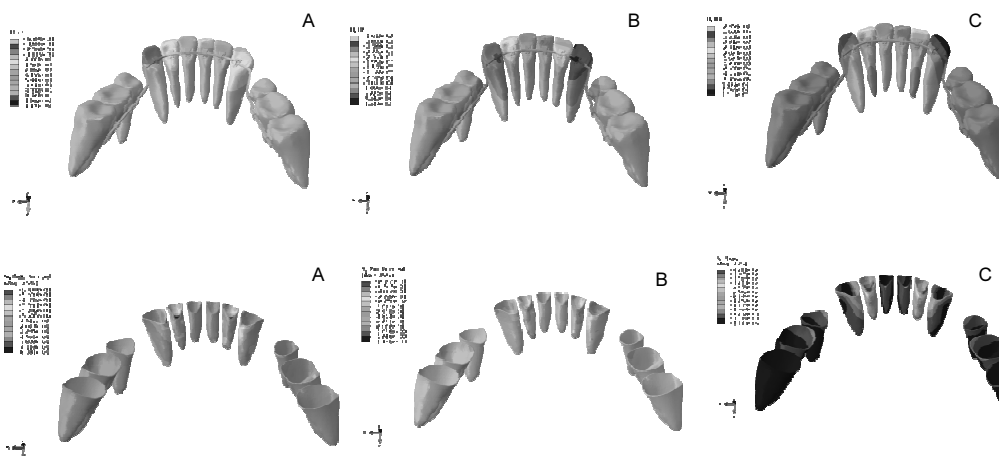


图 10 X, Y, Z 方向牙列位移云图
Figure 10 Nephogram of tooth movement in X, Y, and Z orientations

图注：图 A 为 X 方向；B 为 Y 方向；C 为 Z 方向。

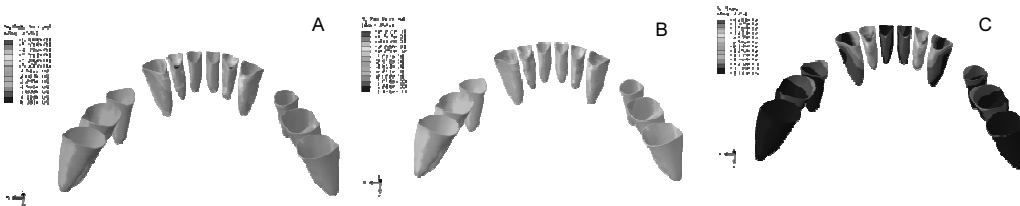


图 11 牙周膜应力分布云图
Figure 11 Nephogram of stress distribution on the periodontium

图注：图 A 为 牙周膜最大主应力；B 为最小主应力；C 为牙周膜等效应力。

的一项热门技术。纵观舌侧矫治技术的发展历程和临床应用现状，如何减小舌体刺激、精确控制牙齿移动及简化临床操作一直是舌侧矫治技术的核心话题^[8]。近年由于舌侧矫治器体积的明显减小，尤其是德国舌侧正畸专家 Dr. Dirk Wiechmann^[9-10]率先发明了基于 CAD/CAM 技术的个性化舌侧矫治系统以来，个性化舌侧矫治器对患者带者的舌体刺激，对牙龈组织、发音、咀嚼功能等的影响更小^[11-13]，患者的感受类似于粘接了舌侧固定保持器^[14]。同时，个性化舌侧矫治系统也较好地解决了托槽的精确粘接

问题，该系统根据患者牙齿的舌侧面形态制造个体化的舌侧托槽底板，与舌侧牙面紧密贴合，因与牙面有“制锁”的作用，可进行直接再粘接。故个性化舌侧矫治技术很好地改良了传统舌侧矫治技术中的难点：即患者的不舒适性，托槽脱落后重新粘结时的精确性，临床操作的繁杂性以及最终精细调整阶段的复杂性，提高了舌侧矫治技术的矫治效率以及矫治效果，降低了牙面脱矿的发生率^[15-17]。但对于拔牙矫治病例尤其是需要较大范围内收前牙的病例，要达到理想的矫治目标难度仍较大。这是由于舌侧正

畸和唇侧正畸相比, 舌侧托槽的位置偏于牙齿阻抗中心的舌侧, 受到同样的力所产生的生物学效应与唇侧矫治不尽相同, 如同样大小的压低和内收力量, 唇侧矫治中在前牙可能是一个压低的力量, 而在舌侧矫治器则可能产生一个舌倾的力量, 因此, 舌侧矫治技术在前牙整体内收时, 更易发生前牙的舌倾。

有限元分析法是一种与计算机技术相结合的应力计算分析方法。主要用来解决一般方法难以解决的工程结构和固体力学应力应变问题, 是一种行之有效的现代力学分析方法^[18]。1969年, Friedenber^[19]首次将其应用于医学领域, 是近二三十年来医学生物力学研究的重要方法之一^[20]。三维有限元分析具有研究范围广, 模型可以反复使用而不改变其力学性质, 借助计算机可处理庞大的数据, 计算结果精度高, 计算分析后可以输出模型任何部位的应力、应变和位移, 具有灵活的分析能力, 快速高效且不受多因素干扰和符合伦理等优点而广泛用于牙齿移动等生物力学的研究^[5, 21]。针对舌侧矫治前牙内收问题, 学者们也进行了相关模型的建立及研究^[3-7, 22-24]。但临床研究发现在舌侧矫治技术中前牙较大范围内收过程中, 下颌前牙的转矩控制更为困难, 而且尖牙容易出现牙冠远中倾斜。因此, 有关舌侧矫治技术内收前牙过程中牙列-牙周膜-下颌骨-舌侧矫治器的三维有限元模型的建立及研究更为迫切。

本研究的下颌骨、牙齿的模型数据来源于志愿者的CT扫描数据, 64排螺旋CT扫描最大程度地模拟了下颌骨、牙齿的结构特征。应用 Mimics14.0、Geomagic studio.12、Hypermesh12.0、Pro/Engineer5.0 以及 Abaqus10.0等软件构建了舌侧矫治技术整体滑动法内收下前牙的三维有限元模型, 该模型包括一个完整的矫治体系, 弓丝采用不锈钢制造的蘑菇状弓丝, 并且根据牙弓形态生成, 除尖牙区远中蘑菇状的内收曲和垂直向的补偿曲及第2前磨牙和第1磨牙间的内收曲外, 整个弓丝连续、平滑无折皱, 利于弓丝的滑动。由于弓丝与托槽之间具有一定的接触关系, 当受荷载时, 两者之间会存在微小的相对滑动, 而Abaqus对复杂模型的接触问题, 当接触面之间出较大的滑动以及位移时较难收敛, 而弓丝和托槽之间属于硬接触, 当施加荷载时会出现弓丝和托槽之间的相对滑动, 因此为了避免这种接触所导致的不收敛, 本实验通过在弓丝和托槽间填充软物质来模拟这种关系。弓丝、托槽和填充物模型的建立通过Pro/Engineer5.0软件来完成。通过上述方法所建立的内收下前牙的下颌整体有限元模型, 与临床实际有很强几何相似性, 以这种相对完整的有限元模型进行生物力学分析, 结论也更相对可靠。

舌侧矫治技术临床实践中发现, 在拔除下颌双尖牙矫治病例, 下前牙整体内收时, 切牙更容易舌倾, 而尖牙则容易发生冠的远中倾斜, 这可能与下颌骨相对于上颌骨骨质相对较致, 舌侧矫治技术中下颌后牙的支抗更强, 加之

下切牙区唇舌向骨质的厚度较薄, 牙齿受力后唇舌向移动的范围较少有关。有研究发现, 下前牙除根颈1/4处外, 舌侧骨壁较唇侧厚^[25], 下前牙冠舌侧倾斜移动容易造成唇侧骨开窗骨开裂以及牙根吸收, 因此下前牙内收时的转矩控制更为重要。

有研究发现, 舌侧矫治时若要在内收前牙过程中实现整体移动, 可以通过增加牙根的舌向转矩力同时增加垂直压力并减轻水平内收力等实现^[26]。另外, 一些学者研究还发现, 无论唇舌侧矫治技术, 增加上前牙区牵引钩的长度有利于前牙的整体内收^[3, 27-31]。其原理是改变了受力点与前牙抗力中心的位置关系。

本研究利用所建立的整体下颌有限元模型进行加载实验, 发现当前牙区牵引钩末端距离弓丝平面11 mm时, 牵引钩和第一磨牙舌侧牵引钩(末端距离弓丝平面亦为2 mm)加力1.5 N时, 发现切牙牙冠舌侧倾斜移动趋势, 侧切牙更明显。此时前牙区牵引钩已较长, 但切牙仍表现为舌倾移动趋势, 进一步证明下颌前牙舌侧矫治技术内收下前牙更易导致前牙舌倾, 与Lombardo等^[23]的研究结果一致。

尖牙则呈现出颊倾并近中移动趋势, 说明加长前牙区牵引钩长度有利于纠正尖牙牙冠的远中倾斜移动。同时, 切牙均有伸长移动趋势, 侧切牙更明显。这是由于边界条件的加载点固定, 前牙区牵引钩越长则垂直向的分力也越大, 但前牙的伸长力是不利于前牙的整体移动的^[5]。同时, 由于前牙内收时舌侧矫治技术较唇侧矫治技术, 下前牙较上前牙更易发生切牙舌倾移动和尖牙远中倾斜^[23], 加之下颌舌侧托槽间距更小, 转矩的施加较困难, 口底深度、系带和舌功能活动的限制, 施力点的位置也比较局限, 前牙区牵引钩不可过长。

有学者提出配合在下前牙的唇侧加力以提高矫治效率和效果^[32]。故下颌前牙内收的适宜牵引钩的长度以及高效整体内收下前牙的方法还需进一步实验及临床验证。另外由于下颌前牙区牙槽骨的厚度与骨密度与下颌骨的矢状及垂直生长型关系密切^[33-34], 本研究仅针对个别正常颌的下颌进行研究, 其他骨面型的情况还有待于进一步研究。

作者贡献: 刘代斌、方志欣进行试验设计, 实验实施为刘代斌、陆大敏, 实验评估为刘代斌、陆大敏、周嫒, 方志欣审核。

经费支持: 该文章接受了“广西自然科学基金[桂科基2012GXNSFAA053127]; 广西卫计委课题[桂卫 Z2015356]; 广西第十五批“新世纪十百千人才工程”第二层次人选专项资金”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题: 临床试验研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和医院对人体研究的相关伦理要求。文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。参与实验的受试者及其家属为自愿参加, 均对实验过程完全知情同意, 在充分了解本治疗方案的前提下签署“知情同意书”。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 文章经国内小同行外审专家双盲外审,符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 第一作者和通讯作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁,可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享3.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] Deguchi T, Terao F, Aonuma T, et al. Outcome assessment of lingual and labial appliances compared with cephalometric analysis, peer assessment rating, and objective grading system in Angle Class II extraction cases. Angle Orthod.2015; 85(3):400-407.
- [2] Liang W,Rong Q,Lin J,et al. Torque control of the Maxillaary incisors in lingual and labial orthodontics:a 3-dimensional finite element analysis.Am J Orthod Dentofac Orthop. 2009; 135(3):316-322.
- [3] Mo SS,Kim SH,Sung SJ,et al. Torque control during lingual anterior retraction without posterior appliances. Korean J Orthod.2013;43(1):3-14.
- [4] 蔡留意.个体化舌侧矫治器微种植体支抗滑动法内收上前牙的生物力学特征研究[D].郑州:郑州大学,2012
- [5] 单知一,徐子卿,沈刚. 三维有限元法在舌侧正畸矫治领域中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2016,43(5):560-564.
- [6] 孟焕新.牙周病学[M].3版.北京:人民卫生出版社,2000:14-15.
- [7] 蔡留意,林久祥,张月兰,等.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(3):14-18.
- [8] 柳大为,周彦恒,雷菲菲. Incognito个体化舌侧矫治器的结构和特点综述[J].中华口腔正畸学杂志2010,17(3):172-174.
- [9] Wiechmann D,Rummel V,nalheim A,et al.Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2003;124(5):593-599.
- [10] Wiechmann D. A new bracket system for lingual orthodontics treatment. Part1:Theoretical background and development.J Orofacc Orthop.2002;63(3):234-245.
- [11] Hohoff A,Stature T,Ehmer U. Comparison of the effect on oral discomfort of two positioning techniques with lingual brackets.Angle Orthod.2004;74(2):226-233.
- [12] Ata-Ali F,Ata-Ali J,Ferrer-Molina M,et al. Adverse effects of lingual and buccal orthodontic techniques: A systematic review and meta-analysis.Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016;149(6):820-829.
- [13] Bock NC, Ruf S, Wiechmann D,et al. Herbst plus Lingual versus Herbst plus Labial: a comparison of occlusal outcome and gingival health. Eur J Orthod. 2016;38(5):478-484.
- [14] Hohoff A,Stamm T,goder G. et al. Comparison of 3 bonded lingual appliances by auditive analysis and subjective assessment. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2003; 124(6): 737-745.
- [15] 丁云,徐宝华,Dirk Wiechmann. 个性化舌侧矫治技术的特点及其临床应用[J].口腔正畸学,2007,14(3):138-139.
- [16] Pauls A,Nienkemper M,Schwestka-Polly R,et al. Therapeutic accuracy of the completely customized lingual appliance WIN : A retrospective cohort study. J Orofacc Orthop. 2017;78(1): 52-61.
- [17] Mistakidis I, Katib H, Vasilakos G,et al. Clinical outcomes of lingual orthodontic treatment: a systematic review. Eur J Orthod.2016;38(5):447-458.
- [18] 龙驭球.有限元概论[M].北京:高等教育出版社,1973.
- [19] Fiedenberg R."Direct ananlysis"or"finite element analysi".In biology:a new computer approach. Cuer Mod Biol.1969;3(2): 89-94.
- [20] 陈新民,赵云凤.口腔生物力学[M]. 北京:科学出版社,2010: 18-19.
- [21] Muraka m i N,Wakabayashi N. Finite element contact analysis as a critical technique in dental biomechanics:a review. J Prosthodont Res.2014;58(2):92-101
- [22] 李秋实,王怡然,熊国平. 舌侧矫治技术内收上前牙三维有限元模型的构建[J].临床口腔医学杂志,2016,32(8):462-464
- [23] Lombardo L,Scuzzo G,Arreghini A ,et al. 3D FEM comparison of lingu al and lab ial o rth od on tics in en masse retraction. Prog Orthod.2014;15(1):38.
- [24] 柳大为,郭亮,荣建国,等.个体化舌侧矫治器滑动法关闭间隙时牙齿移动趋势的三维有限元研究[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2011, 18(3):135-138.
- [25] 朱娟芳,田雪丽,田丽萍,等.下颌前牙唇舌侧骨壁厚度的锥形束CT研究[J]. 实用放射学杂志,2016,32(8):1190-1193.
- [26] Liang W,Rong Q,Lin J,et al.Torque control of the maxillary incisors in lingual and labial orthodontics:a 3-dimensional finite elem ent analysis.Am J Orthod Dentofac Orthop.2009;135(3): 316-322.
- [27] 邓闻文,滑动法关闭拔牙间隙时种植钉与牵引钩位置对前后牙位移影响的有限元研究[M].长春:吉林大学口腔医学院,2013:4
- [28] 苏杰华,刘佳莉,许涛于,等. J钩高位牵引压低并内收上前牙的三维有限元分析[J]. 中华口腔医学杂志,2015,50(2):84-88.
- [29] Hong RK,Heo JM,Ha YK. Lever-arm and Mini-implant System for Anterior Torque Control during Retraction in Lingual Orthodontic Treatment. Angle Orthod.2004;75(1):129-141.
- [30] 张栋梁,周春华,白玉兴. 基于计算机辅助设计的个性化舌侧矫治的前牙内收系统的临床研究[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2012, 19(2):96-101.
- [31] 刘小东,蔡留意,张月兰,等. 舌侧矫治内收上牙列的三维有限元建模及验证[J]. 安徽医科大学学报,2016,51(1):1071-1073.
- [32] Yanagita T,Nakamura M,Kawanabe N. Class II malocclusion with complex problems treated with a novel combination of lingual orthodontic appliances and lingual arches. Am J Orthod Dentofacial Orthop.2014;146(1):98-107.
- [33] Al-Masri MM,Ajaj MA,Hajeer MY,et al.Evaluation of Bone Thickness and Density in the Lower Incisors' Region in Adults with Different Types of Skeletal Malocclusion using Cone-beam Computed Tomography.J Contemp Dent Pract. 2015;16(8):630-637.
- [34] Sadek MM,Sabet NE,Hassan IT.Alveolar bone mapping in subjects with different vertical facial dimensions. Eur J Orthod. 2015;37(2):194-201.