网络出版时间: 2019-1-3 17:26 网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.r. 20181230.1809.029.html

不同大小的矩形附件对隐形矫治远移 尖牙影响的三维有限元分析 何 林 晨 稀 何 激 赵金富 吴定丹 黄 跃

摘要 通过 CT 扫描左上尖牙三维重建后,建立隐形矫治器--附件-尖牙-牙周膜-牙槽骨的三维实体模型;设置3组不同大 小的矩形附件,水平或者垂直放置于尖牙临床牙冠中心,共 6组工况。进行网格划分,设置相关参数,边界限定,力量加 载 模型运算后收集所得数据,对各组实验所得结果进行分 析讨论。以研究隐形矫治器不同大小的矩形附件对尖牙远 移的影响。

关键词 无托槽隐形矫治; 矩形附件; 远移尖牙; 三维有限元 法

中图分类号 R 783.5

文献标志码 A 文章编号 1000 - 1492(2019)01 - 0143 - 04 doi: 10.19405/j.cnki.issn1000 - 1492.2019.01.029

无托槽隐形矫治技术最早是由 Kesling^[1] 在 1940s 提出,从无附件到有附件。目前针对隐形矫 治器的研究主要集中于个案报道^[2-3]、材料特 性^[4-5]、口腔卫生^[6]、生活质量^[7]等方面,对于生物 机制力学性能方面的研究还相对较少,主要集中在 前牙内收^[8]、间隙关闭、转矩控制^[9]等方面。有学 者提出矩形附件可以产生力偶,控根效果更好,使牙 齿整体移动成为可能^[10]。目前对于附件的研究主 要集中在固位力^[11]、脱落情况^[12]、表面磨损^[13]等方 面,而附件大小及粘接方式对牙齿移动产生的影响 方面研究并不多见。该实验主要研究不同尺寸水平 或垂直粘接的矩形附件在尖牙远移时,尖牙位移、尖 牙及牙周膜受力情况,以期为临床隐形矫治提供理 论依据。

1 材料与方法

1.1 实验分组 在尖牙临床牙冠的中心生成附件, 详见表1,建立相应的模型,见图1。

1.2 初步实体模型建立、优化、组装 CT 扫描左上

2018-08-27 接收

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:81300903) 作者单位:西南医科大学附属口腔医院正畸科,泸州 646000 作者简介:何 林,女,硕士研究生;

> 黄 跃,男,博士,副教授,硕士生导师,责任作者,E-mail: huangyue@ hotmail.com

	表1 分组		
矩形附件长度	放置区域	放置方式	工况
3 mm	牙冠唇侧中心	垂直、水平	2
4 mm	牙冠唇侧中心	垂直、水平	2
5 mm	牙冠唇侧中心	垂直、水平	2



图 1 不同大小矩形附件垂直、水平粘接于牙冠唇侧中心示意图 A:3 mm、4 mm、5 mm 垂直粘接; B:3 mm、4 mm、5 mm 水平粘接

颌尖牙,导入 Mimics17.0 三维重建。导入 Geomagic Studio 2015 修复和简化。在 CATIA V5R20 按分组 生成附件,与尖牙匹配为一个整体;建立上颌骨骨块 的模拟实体模型(20 mm×20 mm×20 mm),表面为 厚 2 mm 皮质骨,内部为松质骨;分别将牙冠法线方 向增厚0.75 mm,通过布尔运算获得隐形矫治器;将 牙根沿法线方向增厚0.25 mm,同样获得牙周膜。 装配上述模型,建立以牙体重心为原点的坐标系,将 冠根向设置为 X 轴 根向为正;近远中向为 Y 轴,近 中向为正;颊舌向为 Z 轴,唇向为正。建立隐形矫 治器-附件-尖牙-牙周膜-牙槽骨的三维实体模型,见 图 2。

1.3 网格划分、参数设定与应力加载 将所得模型 导入 Hypermesh 软件中 按隐形矫治器、附件、尖牙、



图 2 隐形矫治器 - 附件 - 尖牙 - 牙周膜 - 牙槽骨模型图

牙周膜、上颌牙槽骨分组,分别划分为四面体网格, 大致划分的节点数为 694 ~ 812,单元数大致为 3 432 ~ 3 936。导入 MSC. Marc. Mentat 2016 中,设置 相关参数(表2);边界限定:将皮质骨基底部在 X、 Y、Z 三维方向上均固定,设置各方向上的位移为0, 为固定约束。皮质骨与松质骨、松质骨与牙周膜、牙 周膜与牙根均设置为粘接关系,两者间不发生相对 滑动。隐形牙套与附件及尖牙均设置为接触关系, 摩擦系数设置为0。隐形矫治器远中移动0.3 mm, 收集尖牙、附件及牙周支持组织的应力分布、应力值 的大小、尖牙的位移大小数据,对各组实验所得结果 进行分析讨论。

表 2 实验材料参数设定	2
--------------	---

材料	杨氏模量(MPa)	泊松比
隐形矫治器	816.31	0.30
牙体组织、矩形附件	18 600	0.30
牙周膜	6.7	0.49
松质骨	1 370	0.30
皮质骨	13 700	0.30

2 结果

2.1 隐形矫治器--附件--尖牙--牙周膜--牙槽骨的三维 实体模型 通过 CT 扫描后三维重建,得到仿真度较 高尖牙模型。模型各部分单元数及节点数详见表3。

表3 模型各部分单元数及节点数

结构	单元数	节点数
皮质骨	22 734	4 548
松质骨	42 768	8 977
牙周膜	1 884	380
尖牙	96 229	19 628
3 mm 附件	160	32
4 mm 附件	200	43
5 mm 附件	325	68

2.2 尖牙牙体应力分布 各组实验结果等效应力 (Von Mises)分布云图均类似,黄色代表应力值高, 蓝色代表应力值低。矩形附件大小、粘接方向不同, 整体远移尖牙时,尖牙等效应力均分布主要集中于 尖牙牙尖嵴处、矩形附件粘接处、尖牙颈部、尖牙牙 根近远中面根上三分之二处,以3 mm 附件垂直粘 接为例,详见图3。

2.3 牙周膜应力分布 牙周膜等效 Von Mises Stress 结果云图均显示实验各组牙周膜应力分布趋势基本相同,并且与尖牙牙根表面应力云图的分布 相符合,矩形附件大小、粘接方向不同,整体远移尖 牙时,尖牙牙周膜应力也主要集中于尖牙牙周膜的 近远中面根上三分之二处,以3 mm 附件为例,见图 4。矩形附件牙周膜等效应力最大值 3 mm 垂直组、



A: 唇侧观; : 近中面观; C: 远中面观



A: 远中侧; B: 近中侧

水平组分别为: 4.938 MPa、5.390 MPa; 4 mm 垂直 组、水平组分别为: 4.501 MPa、5.549 MPa; 5 mm 垂 直组、水平组分别为: 5.300 MPa、5.620 MPa。

2.4 不同放置粘接方向矩形附件应力变化 隐形 矫治器远移尖牙的过程中,各组实验中矩形附件出 现应力集中,表现为高亮区,初始时矩形附件应力主 要集中于附件近中侧(图 5A),后水平粘接矩形附 件主要应力集中于近中合方及远中龈方(图 5B),随 着尖牙远中倾斜,远中龈方受力逐渐增加;垂直粘接 矩形附件主要集中于近中龈方及远中合方,远中龈 方附件应力逐渐增加,后逐渐降低(图 6A、6B)。



图 5 4 mm 水平矩形附件分布等效应力云图 A:11 步等效应力云图; B:100 步等效应力云图

2.5 尖牙整体远移的效果 采用尖牙牙尖处最大 位移与根尖处最大位移比值的绝对值来对尖牙整体 远移的效果进行评判,各组工况比值的绝对值具体 数值见表4。

3 讨论

通过 CT 扫描后三维重建,得到仿真度较高尖 牙模型;隐形矫治器与牙齿接触面积大,且受牙冠解



图 6 5 mm 垂直粘接矩形附件等效应力云图 A:50 步等效应力云图; B:69 步等效应力云图

表4 粘接不同大小矩形附件尖牙位移

附件	牙尖位移(mm)	根尖位移(mm)	位移比值
3 mm 垂直	0.221 4	0.103 0	2.149 5
3 mm 水平	0.226 8	0.116 2	1.951 8
4 mm 垂直	0.228 0	0.104 1	2.190 2
4 mm 水平	0.236 8	0.110 3	2.146 8
5 mm 垂直	0.228 1	0.103 9	2.195 4
5 mm 水平	0.328 8	0.145 7	2.256 7

剖等多种因素的影响,对矫治器作用于牙面的力的 部位及大小难以精确预测。非线性设置运用迭代的 方式对模型进行计算,直到接触状态不再变化才结 束迭代,这样就能确定在隐形矫治器与牙齿及附件 相互作用的过程中隐形矫治器和牙齿、附件之间的 接触面,并计算出隐形矫治器对牙齿产生的接触压 力,从而获得真实的牙齿及牙周组织受力。但实验 模型附件边缘更锐利、更贴合,后期为更真实的模拟 临床,拟通过扫描后重建。

牙尖处最大位移与根尖处最大位移比值的绝对 值越大,尖牙整体远移的效果越好,比值越小,尖牙 整体远移的效果越差^[14]。垂直矩形附件在远移的 过程中附件应力主要集中于近中龈方及远中合方, 在这两点处产生力值形成力偶,对尖牙起控根作用, 抵抗尖牙在远中移动过程中的倾斜移动。附件的长 度越长,产生力偶的力臂越长,力偶越大,控根效果 也就越好,旋转中心更靠近根尖处;因此随着垂直粘 接矩形附件长度的增加,尖牙倾斜程度降低,尖牙更 倾向于远中整体移动。但边缘区可能由于变形导致 对 5 mm 矩形附件的龈端包裹不足,产生的力偶值 较小。

随着水平粘接矩形附件长度的增加,尖牙牙尖移动距离均增加。从应力云图6可见,尖牙远移时 应力主要集中于近中合方、远中龈方,也形成一对力 偶,产生控根作用;附件长度增加,矫治器固位性能 增加。因此,随着水平矩形附件长度的增加,尖牙远 中移动时倾斜程度也就越小,旋转中心更靠近根尖 处。但是水平矩形附件临床粘接难度较大,长度越 长,越不利于摘戴,增加附件脱落率。

隐形矫治中使用单个的矩形附件不能达到整体 远移牙齿的效果,各组尖牙均发生了远中倾斜伴少 量的舌向倾斜运动。相同大小的附件粘接方向不同 时,远移距离均表现为水平组大于垂直组,垂直粘接 较水平粘接控根性能更佳,但5 mm 组例外,可能是 由于5 mm 垂直粘接时,边缘接近龈缘包裹不足。 尖牙远中移动的范围越大,倾斜的程度越大,牙周膜 等效应力的最大值越大,垂直粘接矩形附件牙周膜 等效应力值大小没有一定的规律,水平粘接矩形附 件组随着矩形附件长度的增加,牙周膜等效应力值 递增。垂直粘接牙周等效应力值更小,更有益于牙 周健康。

参考文献

- Kesling H D. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment [J]. Am J Orthod Oral Surg , 1946 32(5):285 -93.
- [2] Giancotti A, Farina A. Treatment of collapsed arches using the invisalign system [J]. J Clin Orthod, 2010 44(7): 416 – 25.
- [3] Marcuzzi E , Galassini G , Procopio O , et al. Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth [J]. J Clin Orthod , 2010 A4(6): 377 – 84.
- [4] Kwon J S , Lee Y K , Lim B S , et al. Force delivery properties of

thermoplastic orthodontic materials [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop , 2008 ,133(2): 228 - 34.

- [5] Schott T C , Göz G. Color fading of the blue compliance indicator encapsulated in removable clear Invisalign Teen[®] aligners [J]. Angle Orthod , 2011 81(2):185.
- [6] Levrini L , Mangano A , Margherini S , et al. ATP bioluminometers analysis on the surfaces of removable orthodontic aligners after the use of different cleaning methods [J]. Int J Dent , 2016 ,2016: 5926941.
- [7] Fujiyama K , Honjo T , Suzuki M , et al. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edge– wise appliance therapy [J]. Prog Orthod , 2014 ,15:64.
- [8] 刘 溪. 隐形矫治结合微种植支抗内收上前牙列的生物力学 研究[D]. 昆明:昆明医科大学,2015.
- [9] Castroflorio T , Garino F , Lazzaro A , et al. Upper-incisor root control with Invisalign appliances [J]. J Clin Orthod , 2013 47(6): 346.
- [10] 刘 倩. 附件对无托槽隐形矫治器固位力的影响及牙齿移动 效率三维测量系统的建立[D]. 西安: 第四军医大学, 2013.
- [11] 艾冬青. 隐形矫治粘接附件脱落率研究及原因分析: 2017 年 国际正畸大会暨第十六次全国口腔正畸学术会议论文汇编 [C].上海:中华口腔医学会口腔正畸专业委员会、中国国际科 技交流中心 2017.
- [12] Barreda G J, Dzierewianko E A, Munoz K A, et al. Surface wear of resin composites used for Invisalign(R) attachments [J]. Acta Odontol Latinoam, 2017 30(2):90-5.
- [13] Edgar D , Coolidge M S D D. The thickness of the human periodontal membrane [J]. J Am Dent Assoc ,1937 24(8): 1260 - 70.
- [14] 蔡永清 杨晓翔,何炳蔚.隐形矫正中不同附件对下颌尖牙唇 舌向平移移动的影响[J].中国生物医学工程学报,2016,35 (2):211-7.

Three dimensional finite element analysis of the effect of the rectangular attachment on canine translation when using clear aligner

He Lin , Wu Xi , He Song , et al

(Dept of Orthodontic , The Affiliated Stomatological Hospital of Southwest Medical University Luzhou 646000)

Abstract The model of the left maxillary canine obtained by CT scan assembly to establish a three-dimensional solid model of the invisible corrector-rectangular attachment-tooth-periodontal membrane-alveolar bone. 3 groups of rectangular attachments of different sizes were placed horizontally or vertically in the center of the crown of the canine , and there were 6 groups of working conditions. The model of grid partitioning was imported , set the relevant parameters , boundary constraints , force loading. Data collected after model operation , the experimental results of each group were analyzed in order to study the effect of different size rectangular attachments on the distal movement of canine teeth.

Key words clear aligner; rectangular attachment; the whole distal movement of canine; three dimensional finite element