

DOI: 10.3969/j.issn.1005- 8982.2017.09.010

文章编号: 1005- 8982 (2017) 09- 0049- 05

唇舌侧托槽伸出压入力学性能的有限元分析*

韦代伦¹, 黄思源², 周吉³, 白丁⁴, 黄跃¹

(1.西南医科大学口腔医学院 正畸科,四川 泸州 646000;2.四川省简阳市人民医院 口腔科,四川 简阳 641400;3.四川省宜宾市第二人民医院 口腔科,四川 宜宾 644000;4.四川大学华西口腔医学院 正畸科,四川 成都 610041)

摘要:目的 分析不同尺寸材质弓丝对唇舌侧托槽伸出压入性能的影响规律。**方法** 建立上前牙唇舌侧托槽,3种材质(不锈钢、 β 钛、镍钛),2种尺寸(0.43 mm \times 0.64 mm,0.41 mm \times 0.64 mm)弓丝有限元模型,模拟左上颌中切牙伸出压入位移加载 1 mm。**结果** 随着位移的增大,唇舌侧托槽力矩值逐渐增大;相同位移下,舌侧托槽压入力矩值约为唇侧托槽的 3~4 倍,伸出力矩值为 2~3 倍;弓丝尺寸越大,力矩值也越大;弓丝尺寸对两种托槽力矩值的影响小于弓丝材质,更小于两者协同。**结论** 相同位移时,唇舌侧托槽伸出压入力值存在倍数关系,弓丝尺寸及材质对两种托槽力矩值均有影响,临床应根据所需力值大小,对两种托槽及匹配的弓丝组合进行选择。

关键词: 唇舌侧托槽;伸出;压入;三维有限元;力学性能

中图分类号: R783.5

文献标识码: A

A comparative assessment of extrusion and intrusion capabilities between lingual and labial brackets using three-dimension finite element*

Dai-lun Wei¹, Si-yua Huang², Ji Zhou³, Ding Bai⁴, Yue Huang¹

(1. Department of Orthodontics, Hospital of Stomatology, Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China; 2. Department of Stomatology, the People's Hospital of Jianyang, Jianyang, Sichuan 641400, China; 3. Department of Stomatology, the Second People's Hospital of Yibin, Yibin, Sichuan 644000, China; 4. Department of Orthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Objective To analyze the difference of extrusion and intrusion performance between lingual and labial brackets as well as the influence pattern of arch wires with different materials and sizes. **Methods** The three-dimensional (3D) finite element models of lingual and labial brackets from the right upper canine to the left upper canine were constructed, including three kinds of materials (stainless steel, beta-titanium and nickel-titanium) and two sizes (0.43 mm \times 0.64 mm, 0.41 mm \times 0.64 mm) of arch wires, so as to compare and analyze their mechanical properties after the extrusion and intrusion load on the left maxillary central incisor with displacement of 1 mm. **Results** With the increase of displacement, force moment of both lingual and labial brackets gradually increased in each operating condition. Under the same displacement, the intrusion force moment of the lingual orthodontic bracket was about 3 to 4 times of the labial bracket and the extrusion force moment was about 2 to 3 times. Force moments of lingual and labial brackets was affected by the characteristics of arch wires. The effect of arch wire dimension was less than the type of wire alloy. The

收稿日期:2016-10-12

* 基金项目:国家自然科学基金青年基金 No:81300903)

[通信作者] 黄跃, E-mail: yue-huang@hotmail.com

synergic effect of the size and material was the biggest. **Conclusions** The lingual and labial brackets have multiple relationships in the same displacement, and different dimensions and materials of arch wires will have different mechanical behaviors. In clinical application, dimensions and materials of arch wires of lingual and labial brackets should be adjusted properly according to the required value of force.

Keywords: lingual and labial brackets; extrusion; intrusion; three-dimensional finite element; mechanical property

舌侧矫治是技术含量高,美观性好的矫治方法^[1-9]。唇舌侧托槽在牙列位置上的差异,使其力学性能不同。目前关于牙齿伸出压入生物力学的报道主要集中在种植体压低前牙及第一磨牙^[7-9]。对于矫治后期精细调整个别前牙,唇舌侧托槽伸出压入性能对比的研究较少。本文采用三维有限元的方法,即借助计算机技术将连续的三维实体离散为有限个单元,并按照给定的条件和一定算法计算单元的内力和应力,找出其受力规律,为临床矫治提供参考。

1 资料与方法

1.1 计算机及软件

联想台式电脑(中国联想公司),Windows XP 系统(美国 Microsoft 公司),三维建模软件 Pro/E.Wildfire 5.0 软件(美国 PTC 公司),CAD.fix8.0 修复软件(美国 Install Shield Software 公司),MSC.patran 2012 网格划分软件, MSC.Marc.Mentat 2012R3 三维有限元分析软件(美国 MSC.Software 公司)。

1.2 建立唇舌侧托槽三维有限元模型

设定唇舌侧托槽沟系统为 0.64 mm,以 Discovery[®](德国 Dentaureum 公司)唇侧托槽和第 7 代 Kurz 舌侧托槽(美国 Ormco 公司)CAD 计算机辅助测量数据为参考,在 Pro/E.Wildfire 5.0 中建立右上颌尖牙至左上颌尖牙的唇舌侧托槽,分别与 3 种材质(不锈钢、 β 钛、镍钛),2 种尺寸(0.43 mm \times 0.64 mm、0.41 mm \times 0.64 mm)的方丝弓实体模型进行装配,结扎丝设定为直径 0.2 mm 的不锈钢材质。

将装配完成的实体模型分组导入到 MSC.patran 2012 软件中,划分网格类型为四面体单元格,共计 27263 节点,94736 单元格。将网格划分完成后模型导入 MSC.Marc.Mentat 2012R3 软件进行物理参数设定。见图 1。

1.3 模型建立分组与参数设定

假定本实验中所建立的有限元模型为均质、各向同性的线弹性材料,根据托槽、弓丝尺寸、弓丝材质不同,建立 6 组实验模型。设定托槽、结扎丝、不锈钢丝(stainless steel wire, SS)、 β 钛丝(titani-

um-molybdenum alloy, TMA)、镍钛丝(nickel titanium wire, NiTi)的弹性模量分别为 200、200、200、80 及 60 GPa,泊松比均为 0.30;托槽与弓丝之间、结扎丝与弓丝之间摩擦力系数 $\mu = 0.2$ ^[10]。见附表。



图 1 唇舌侧托槽三维有限元模型

附表 模型分组

模型名称	弓丝尺寸	弓丝材质
41SS	0.41 mm \times 0.64 mm	SS
41TMA	0.41 mm \times 0.64 mm	TMA
41NiTi	0.41 mm \times 0.64 mm	NiTi
43SS	0.43 mm \times 0.64 mm	SS
43TMA	0.43 mm \times 0.64 mm	TMA
43NiTi	0.43 mm \times 0.64 mm	NiTi

1.4 伸出压入位移加载

本实验在 MSC.Marc.Mentat 2012R3 中将托槽与结扎丝设定为黏合关系,弓丝与结扎丝,弓丝与托槽之间均设定为接触关系^[11]。

在 6 组模型中,将右侧弓丝末端及除左上颌中切牙以外的唇舌侧托槽均在三维方向上固定。加载点定为左上颌中切牙托槽底板中心点,在该底板边缘选取 8 个节点,定义该 8 节点与中心点运动轨迹一致。加载方式为垂直弓丝平面分别施加向上及向下的位移 1 mm,位移向上到达最大值设置为第 1 秒,回到原点为第 2 秒,反向到达最大值为第 3 秒,再返回原点为第 4 秒。完整模拟弓丝压入 1 mm,回到原点再反向伸出 1 mm,最终回到原点的过程,记录加载点所受力值,以力值数据图的方式输出结果。见图 2。



图 2 模型加载位移压入 1 mm 前后左上中切牙托槽受力云图

2 结果

2.1 舌侧托槽及唇侧托槽伸出压入力值变化比较

实验选取相同位移下,伸出压入单向力值变化结果进行阐述分析。实验结果显示,6 组唇舌侧托槽力矩值随着伸出压入位移变化的规律相同,随着位移的增大,伸出压入力矩值逐渐增大,而增大的斜率略有不同。以 0.43 mm× 0.64 mm 尺寸弓丝唇舌侧托槽伸出压入时间 - 力矩曲线图为例,在同一位移下,舌侧托槽压入力矩值的变化幅度大于唇侧托槽,约为唇侧托槽的 3~4 倍,而伸出力矩值变化约为唇侧托槽的 2~3 倍。见图 3。

2.2 弓丝因素改变,舌侧托槽及唇侧托槽伸出压入力值变化

2.2.1 弓丝尺寸改变 当弓丝尺寸不同,材质相同时,同一位移下,舌侧托槽及唇侧托槽伸出压入力矩值均随弓丝尺寸的增加而增加,尺寸越大,力矩值越大。舌侧托槽中 0.43 mm× 0.64 mm 尺寸弓丝的压入力矩值为 0.41 mm× 0.64 mm,是尺寸弓丝的 1.32 倍,伸出力矩值为 1.29 倍,唇侧托槽中 0.43 mm× 0.64 mm 尺寸弓丝的压入力矩值为 0.41 mm× 0.64 mm,是尺寸弓丝的 1.28 倍,伸出力矩值为 1.29 倍。见图 4。

2.2.2 弓丝材质改变 当弓丝尺寸相同,材质不同时,相同位移下,随着弓丝弹性模量的增大,伸出压

入力矩值逐渐增大,SS 丝 > TMA 丝 > NiTi 丝。以 0.43 mm× 0.64 mm 尺寸弓丝为例,弹性模量相差越大,则力矩值变化越大,舌侧托槽中压入力矩值变化为 1.3~2.8 倍,伸出力矩值变化为 1.3~2.5 倍,唇侧托槽中压入力矩值变化为 1.3~3.2 倍,伸出力矩值变化为 1.3~2.9 倍,均大于弓丝尺寸改变带来的变化。见图 4。

2.2.3 弓丝尺寸及材质同时改变 当弓丝尺寸及材质同时发生变化时,将 6 组模型结果压入伸出最大力矩值进行对比,用 0.43 mm× 0.64 mm 与 0.41 mm× 0.64 mm 尺寸比较,可以发现,在不同弓丝尺寸及材

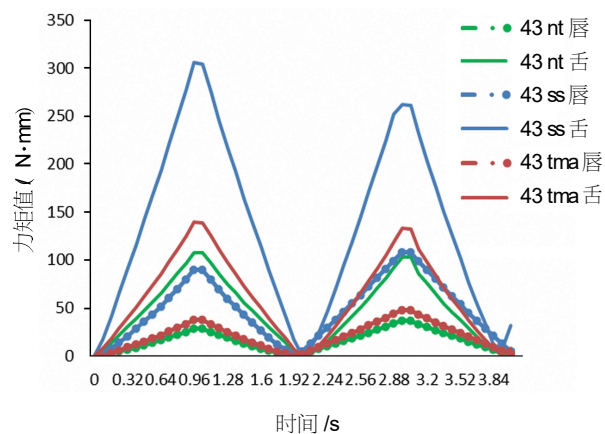
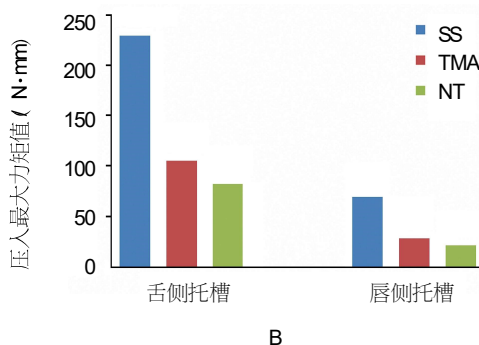
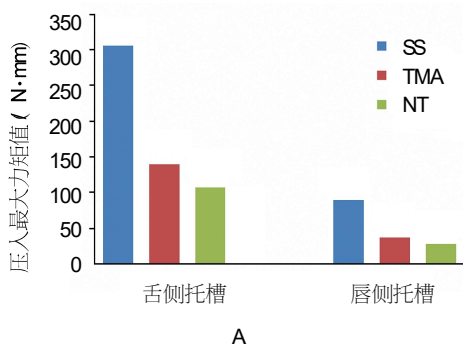
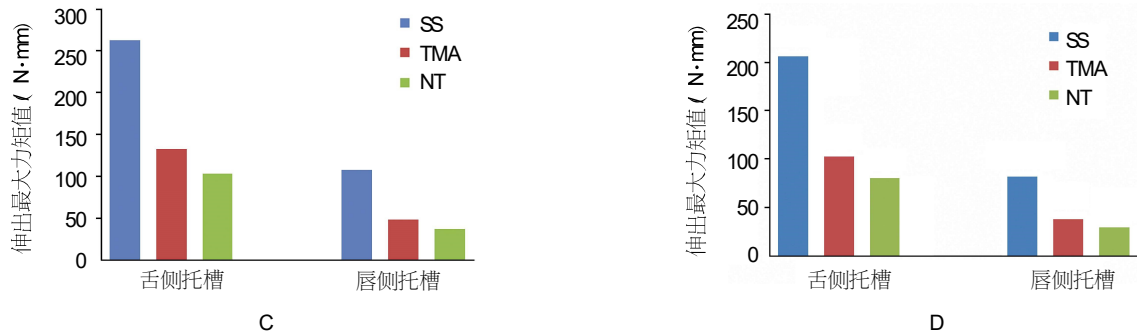


图 3 0.43 mm× 0.64 mm 尺寸弓丝唇舌侧托槽伸出压入力矩 - 时间曲线图





A, C: 弓丝尺寸 0.43 mm × 0.64 mm; B, D: 弓丝尺寸 0.41 mm × 0.64 mm

图 4 唇舌侧托槽 3 种材质不同尺寸弓丝伸出压入最大力矩值比较

质的组合下,舌侧托槽中压入力矩值变化为 1.7~3.7 倍,伸出力矩值变化为 1.7~3.3 倍,唇侧托槽中压入力矩值变化为 1.7~4.0 倍,伸出力矩值变化为 1.6~3.7 倍,又大于弓丝材质改变所带来的倍数变化。见图 4。

3 讨论

3.1 实验对象及方法的选择

目前,在临床上应用较多的是采用种植支抗钉对前牙或者后牙进行压低和伸长,由于操作的方便性,得到正畸医生的青睐,相应的研究也渐为成熟^[11-14]。但是种植钉周围炎,种植钉植入后脱落及植入疼痛使部分患者望而却步。因而对于矫治中个别牙齿垂直向高度的调整医生更倾向于选择合适尺寸的矫治弓丝或者弯制曲进行。众所周知,压入伸出力的大小直接关系到牙髓、牙周组织的健康,不适的压入力或伸出力会导致牙根吸收,甚至牙髓坏死,因此,本实验从传统矫治弓丝角度出发,选择临床矫治中常用的 2 种尺寸及 3 种材质方弓丝,以期测出唇舌侧托槽在不同弓丝因素组合下,伸出压入力矩值大小,为临床矫治中弓丝组合的选择提供生物力学参考^[15-16]。

实验组采用三维有限元的方法完成多个托槽-弓丝力学性能的测量研究,实验结果证实,该研究方法能建立仿真度较高的实验模型,对临床相关力学现象进行分析,从多角度观察加载,且重复性好,为临床提供的生物力学数值参考结果可靠^[1,10,17]。

3.2 唇舌侧托槽对伸出压入力学性能的影响

舌侧托槽黏接于牙齿舌面,较唇侧托槽而言,其距牙齿阻抗中心更近,本实验结果证实当唇舌侧托槽压入或伸出相同位移时,舌侧托槽产生的力值更大。大量的学者对前牙的阻抗中心进行研究,WANG 等^[18]认为,上颌前牙的阻抗中心位于高度距离牙槽

嵴顶上方 5.1 mm 处。DERMAUT 等^[19]认为,阻抗中心位于尖牙远中 3 mm 矢状面上。苏杰华等^[20]则认为,上颌前牙段的阻抗中心位于中切牙切缘根方 14 mm,腭侧 12 mm 处,研究结果的不同可能与测量方式,实验方法等不同有关。而 BURSTONE 等^[21]认为,上颌前牙段不存在统一的阻抗中心,很难实现前牙段统一的整体移动。故本实验仅选择单颗前牙托槽进行伸出压入研究,以保证研究结果的准确性。上颌中切牙的阻抗中心位于根尖和根中 1/3 交界处,而唇侧矫治器产生的矫治力主要是通过托槽传递,其力线位于牙齿阻抗中心唇侧,因此唇侧托槽在受到牙齿压入力时,会出现牙冠唇向倾斜的现象。同理,使用舌侧托槽时,会出现牙冠舌向倾斜的现象。因此,黄跃等^[22]研究发现,对于传统唇侧托槽采用弓丝对上颌尖牙进行压低时,若要实现尖牙的整体压低,应施加压低力的同时加施舌向力,比值为 8:1。这与 ABHISHEK 等^[23]的研究结果一致,而其发现唇侧托槽黏接的高度发生变化时,若要使切牙整体移动,该比值未发生变化,而在舌侧托槽中,由于舌侧托槽离阻抗中心更近,当舌侧托槽的位置发生变化时,该比值会发生相应的变化,从 0:1~3:1 不等。因此,本实验采用位移的方式,使唇舌侧托槽发生整体垂直向的压低和伸出,排除加力方向和加力角度对实验的影响,保证结果的准确性。根据本实验测得的数值,舌侧托槽无论是伸出还是压入,在相同位移时,所产生的力矩值均是唇侧托槽的倍数,因此临床中,舌侧托槽施加的压入力应更为轻柔,才有利于牙髓牙周组织的健康。

3.3 弓丝因素对伸出压入力学性能的影响

舌侧托槽与唇侧托槽黏接位置的不同,使得舌侧托槽前牙段弓丝周长小于唇侧,同时,由于牙齿舌面形态小于唇面,使相邻舌侧托槽间距小于唇侧,缩

短托槽间自由弓丝的长度,使弓丝的刚度增加,而刚度与弓丝的载荷形变率有关,载荷形变率越大,则正畸力越大。载荷形变率又与弓丝的材质和尺寸相关,而材质的影响大于尺寸,因此,当尺寸和材质同时改变时,力矩值的变化大于材质改变更大于尺寸改变,在相同位移时,舌侧托槽产生的力矩值大于唇侧托槽^[7]。本实验测得的数值与此相符,实验组中 SS 组产生的力矩值较大,舌侧托槽高达 305 N/mm,唇侧托槽高达 108 N/mm,远大于临床建议施加的伸出压入力量 50 g,而 41 TMA 组舌侧托槽产生的最大力矩值是 102 N/mm,唇侧则为 37 N/mm,这远小于 SS 组产生的力值,若用于单颗中切牙的压入或伸出,力值稍大,但由于其良好的回弹性和可成形性,其力值相对 SS 组更为柔和,对于前牙段的整体压入可以考虑,而 NT 组由于其弓丝的柔软性及良好的回弹性,其产生的力矩值最接近临床建议使用的力矩值,可根据临床的需要选择 0.43 mm× 0.64 mm 或 0.41 mm× 0.64 mm 尺寸^[24-25]。由于临床实际还应考虑牙周牙槽骨复合体对力值的消耗及牙齿之间的相互制约,故实验结果为理论值,稍大于临床实际值。

综上所述,前牙段整体压低或伸出时可以考虑使用 0.41 mm× 0.64 mm 尺寸的 TMA 丝,对于单颗中切牙的压入或伸出,可根据实际情况选择 0.43 mm× 0.64 mm 或 0.41 mm× 0.64 mm 尺寸的 NT 丝。在相同的位移时,舌侧托槽压入力矩值为唇侧托槽的 3~4 倍,伸出力矩值则为 2~3 倍,建议临床舌侧矫治时施以更轻柔的力进行控制。

参 考 文 献:

- [1] 黄思源,周吉,黄跃.唇舌侧托槽转矩控制性能的有限元对比分析[J].实用口腔医学杂志,2016,32(3):9-13.
- [2] CHATTOO A. A view from behind: a history of lingual orthodontics[J]. *Journal of Ortho*, 2013, 4(40): S2-S7.
- [3] 周林曦,姚政铎,沈刚.个性化舌侧技术现状与进展[J].中国实用口腔科杂志,2015,8(2):124-128.
- [4] WU A K, MCGRATH C P, WONG R W, et al. A comparison of pain experienced by patients treated with labial and lingual orthodontic appliances[J]. *Eur J Orthod*, 2010, 32: 403-407.
- [5] SIFAKAKIS I, PANDIS N, MAKOU M, et al. A comparative assessment of torque generated by lingual and conventional brackets[J]. *Eur J of Ortho*, 2012, 35(9): 375-380.
- [6] 柳大为,郭亮,荣起国,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.
- [7] 戴宁,曾照斌,刘海峰,等.两种常用加力方式对种植钉压低上前牙力学行为影响的三维有限元分析[J].口腔医学研究,2011,27(5):372-375.
- [8] 金晶,冯雪,孙婧婧,等.微种植体支抗内收及压低上前牙的有限元研究[J].现代生物医学进展,2015,15(16):3038-3041.
- [9] 王晖.不同牙槽高度的上颌第一磨牙压低时牙周膜初应力的三维有限元分析[D].南昌:南昌大学医学院,2006:1-49.
- [10] HUANG Y, KEILIG L, RAHIMI A, et al. Torque capabilities of self ligating and conventional brackets under the effect of bracket width and free wire length—a numerical study[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2012, 15: 255-262.
- [11] 夏琴香,常琛扬,蔡斌.个性化舌侧自锁矫治器咬合过程瞬态动力学分析及优化[J].医用生物力学,2013,28(6):659-664.
- [12] 刘姝,吴占敖,周婷婷.不同正畸方法压低下前牙的疗效比较[J].江苏大学学报(医学版),2015,25(5):440-441.
- [13] 潘娜,李建霞,那毕,等.比较种植体支抗与传统方法压低上前牙疗效的 Meta 分析[J].重庆医学,2014,43(7):788-792.
- [14] SENISIK N E, TURKKAHRAMAN H. Treatment effects of intrusion arches and mini-implant systems in deepbite patients[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012, 141(6): 723-733.
- [15] MAUÉS C P, NASCIMENTO R R, VILELLA ODE V. Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: prevalence and risk factors[J]. *Dental Press J Orthod*, 2015, 20(1): 52-58.
- [16] WANG Q, CHEN W, SMALES R J, et al. Apical root resorption in maxillary incisors when employing micro-implant and J-hook headgear anchorage: a 4-month radiographic study[J]. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci*, 2012, 32(5): 767-773.
- [17] 何沁,陈周艳,杨四维,等.唇舌侧弓丝力学性能差异的三维有限元分析[J].上海口腔医学,2015,24(6):660-666.
- [18] WANG H Q, DENG F, ZHANG Y, et al. Determining centre of resistance of maxillary anterior teeth in en-masse retraction with micro-implant anchorage: a finite element analysis[J]. *Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae*, 2010(7): 669-671.
- [19] DERMAUT L R, VANDEN B M. Evaluation of intrusive mechanics of the type segmented arch on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry[J]. *Am J Orthod*, 1986, 89(3): 251-263.
- [20] 苏杰华,刘佳莉,张端强,等.上颌前牙段阻抗中心定位的有限元研究[J].生物医学工程学杂志,2014,31(5):994-1000.
- [21] BURSTONE C J, PRYPUTNIEWICZ R J. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces[J]. *Am J Orthod*, 1980, 77(4): 396-409.
- [22] 黄跃,张玉惠,卫晓霞,等.上颌尖牙压低的三维有限元分析[J].泸州医学院学报,2008,31(5):521-523.
- [23] ABHISHEK M T, RASHMI V U, KRISHNA S, et al. Optimum force system for intrusion and extrusion of maxillary central incisor in labial and lingual orthodontics[J]. *Computers in Biology and Medicine*, 2016(69): 112-119.
- [24] 陆史俊,倪晓宇,黄优,等.改良片段弓技术压低下前牙过程中适宜加载力值的三维非线性有限元分析[J].医学研究生学报,2015,28(1):74-78.
- [25] 魏艳华,张端强.内收及压低上前牙致牙根吸收的临床观察[J].中国实用药,2014,9(28):24-26.