

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.10.004

· 基础研究 ·

双钥匙曲关闭下颌拔牙间隙的 Typodont 模型研究

蔡森鑫¹, 刘佳莉¹, 陈泽兴¹, 许潋于², 苏杰华²

1. 福建省口腔疾病研究重点实验室 福建省口腔生物材料工程技术研究中心 福建省高校口腔医学重点实验室 福建医科大学口腔医学院/附属口腔医院, 福建 福州(350002); 2. 福建医科大学口腔医学研究院 福建医科大学口腔生物力学与美学研究中心 福建医科大学口腔医学院/附属口腔医院, 福建 福州(350002)

【摘要】 目的 通过 Typodont 模型及逆向工程技术, 分析不同激活方式下双钥匙曲(double-keyhole loop, DKHL)唇弓关闭下颌第一前磨牙拔牙间隙的结果差异, 为临床治疗提供指导基础。**方法** 取标准正常殆 Typodont 下颌模型9副水浴整平后随机分为3组, 分别采用DKHL的3种激活方式进行加载。重叠初始和水浴后数字模型, 分析不同工况加载前后牙冠和牙根标志点三维位移变化, 并以SPSS 19.0进行数据统计分析。**结果** 相同条件下, 利用钥匙曲顶部加载关闭间隙(工况2、工况3)时, 前牙牙根内收量及后牙前移量明显大于水平加载组(工况1), 并且双钥匙曲顶部结扎时(工况3)下切牙段明显压低、后牙段明显伸长和颊倾, 差异具有统计学意义。**结论** DKHL唇弓不同激活方式可以灵活控制下颌前牙和后牙的移动方式, 临床应用中应根据患者情况选择合适的加力方法。

【关键词】 双钥匙曲; Typodont模型; 逆向工程; 正畸治疗; 正畸间隙关闭; 牙冠形态; 三维移动

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2020)10-0635-06

【引用著录格式】 蔡森鑫, 刘佳莉, 陈泽兴, 等. 双钥匙曲关闭下颌拔牙间隙的 Typodont 模型研究[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(10): 635-640.

Typodont model study on double keyhole loop in mandibular extraction space closure CAI Senxin¹, LIU Jiali¹, CHEN Zexing¹, XU Linyu², SU Jiehua². 1. Fujian Key Laboratory of Oral Diseases & Fujian Provincial Engineering Research Center of Oral Biomaterial & Stomatological Key Lab of Fujian College and University, School and Hospital of Stomatology, Fujian Medical University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Stomatology & Research Center of Dental and Research Center of Dental Esthetics and Biomechanics, School and Hospital of Stomatology, Fujian Medical University, Fuzhou 350002, China

Corresponding author: SU Jiehua, Email: sujiehua@126.com, Tel: 86-591-83655796

【Abstract】 Objective To analyze the impact of the activation mode on the results of space closure in the mandibular arch using a double keyhole loop (DKHL) with a typodont model and reverse engineering technique to provide guidance for clinical treatment. **Methods** Nine normal mandibular typodont models after leveling were randomly divided into 3 groups, which then underwent three types of DKHL activation for space closure. Each model was assessed at the initial stage and after the warm water bath, and the images were superimposed to measure the displacement of special crown and root mark points. All statistical analysis of the data was performed using SPSS 19.0. **Results** After equal activation times, the root retraction of anterior teeth and the crown forward position of posterior teeth in groups activated at the distal loop (conditions 2 and 3) were much greater than those in the group activated horizontally (condition 1). Activation between mesial and distal loops (condition 3) induced significant anterior tooth intrusion, together with elongation and buccal inclination of posterior teeth. The displacement of mark points among the three conditions showed a sta-

【收稿日期】 2020-01-09; **【修回日期】** 2020-04-28

【基金项目】 福建省自然科学基金(2017J01808); 福建省中青年教育科研项目(JT180204); 福建省卫健委医学创新课题(2015-CXB-22); 福建省卫健委青年科研课题(2015-1-63); 福建医科大学附属口腔医院内科研项目(2017-KQCL-01)

【作者简介】 蔡森鑫, 住院医师, 硕士, Email: fjcxs@fjmu.edu.cn

【通信作者】 苏杰华, 副主任医师, 博士, Email: sujiehua@126.com; Tel: 86-591-83655796



开放科学(资源服务)标识码(OSID)

tistically significant difference. **Conclusion** The movement of mandibular anterior and posterior teeth could be flexibly controlled through different DKHL activation modes, which should be chosen carefully according to individual conditions.

【Key words】 double keyhole loop; typodont; reverse engineering; orthodontic treatment; orthodontic space closure; crown shape; three-dimensional move

J Prev Treat Stomatol Dis, 2020, 28(10): 635-640.

在正畸拔牙矫治过程中,关闭拔牙间隙是最关键的步骤之一。对于拔除第一前磨牙的正畸治疗病例,采用滑动法整体内收前牙关闭间隙最为常见^[1],但其常常需要摇椅形、种植支抗等辅助控制牙齿的移动^[2-3]。双钥匙曲(double-keyhole loop, DKHL)唇弓有两个垂直曲,分别位于尖牙近中和远中,弓丝长度的增加使力量加载更加柔和,配合不同的激活方式可以灵活控制拔牙间隙两侧牙齿移动的方式和实现尖牙的三维控制,但DKHL的生物力学机制较为复杂。

近年来逆向工程技术的发展与三维扫描仪的推广应用^[4],通过牙冠形态可逆向推导牙根的准确位置,明确牙根的相应位移可以提供更加全面的信息用于分析各种正畸工况的力学效应^[5]。本研究以拔除第一前磨牙的下颌模型为研究对象,通过Typodont颌架模拟DKHL唇弓不同激活方式关闭拔牙间隙,借助逆向工程技术,分析关闭间隙阶段前后牙三维移动变化的趋势,为DKHL的临床应用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 实验器材

Typodont颌架、解剖形态人工牙及标准正常殆蜡堤(日进齿科有限公司,日本),直丝弓自锁矫治器(普特医疗器材有限公司,中国),RelyX Ultimate粘接剂(3M公司,美国),Sondhi间接粘接剂(3M公司,美国),水浴箱(邦西仪器科技(上海)有限公司,中国),硅橡胶(3M公司,美国),镍钛丝(埃蒙迪公司,中国),双钥匙曲唇弓(GAC公司,美国),E2光学三维扫描仪(3 Shape公司,丹麦)。

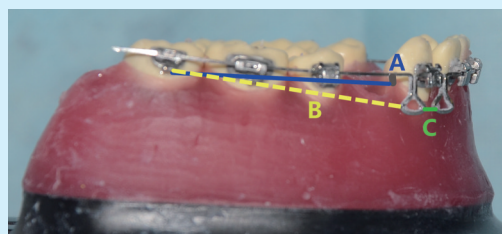
1.2 实验方法

1.2.1 建立人工牙三维数据库 对下牙列人工牙分别进行单独扫描,建立下颌牙齿的三维模型,以STL格式保存。

1.2.2 实验模型建立 由课题组高年资医师按人工牙临床冠中心位置粘结托槽,全尺寸唇弓固定

确认托槽定位准确,并制作每个牙位的间接粘接硅橡胶导板。采用间接粘结技术将直丝弓自锁矫治器粘接于人工牙上,再将人工牙安置于标准正常殆蜡堤中。依次更换0.355 6 mm(0.014英寸)、0.457 2 mm(0.018英寸)镍钛圆丝、0.482 6 mm × 0.635 mm(0.019英寸 × 0.025英寸)的镍钛方丝、0.482 6 mm × 0.635 mm(0.019英寸 × 0.025英寸)双钥匙曲不锈钢方丝,恒温水浴排齐整平牙列,获得相同的9副Typodont模型。水浴时,Typodont模型置于47℃的恒温水中浸泡15 min,再以冷水浸泡15 min。下颌牙列整平后,拔除双侧第一前磨牙进行三维扫描并保存为STL文件,建立下颌牙列初始数字模型。

1.2.3 DKHL加载实验 9副Typodont模型随机分为3组,分别采用DKHL的3种激活方式关闭拔牙间隙(图1),根据前期预实验结果,本课题组使用镍钛拉簧进行5 N力量加载。①工况1:在尖牙远中弓丝安放牵引钩,镍钛拉簧加载于下颌第二磨牙的颊面管与牵引钩之间;②工况2:镍钛拉簧加载于下颌第二磨牙的颊面管与下颌尖牙远中钥匙曲之间,双钥匙曲之间未结扎;③工况3:双钥匙曲唇弓先采用结扎丝结扎双侧近远中钥匙曲,使近远中段弓丝水平段成5°的夹度,再就位于托槽中并按工况2加载镍钛拉簧。力量加载完成后,47℃恒温水浴30 min后冷却30 min,再重复水浴步骤1次,扫描仪扫描并保存为加载后数字模型。



A: condition 1; B: condition 2; C: condition 3

Figure 1 Schematic diagram of three loading conditions

图1 下颌不同工况加力模式

1.2.4 冠根模型匹配和重叠 在 Geomagic 软件中,导入初始和加载后的三维数字模型,分别将单个人工牙的三维模型依据牙冠的形态进行匹配和重叠,以建立带有牙根的下颌牙列三维模型(图2)。以 Typodont 颌架底座为参照建立三维坐标系,

原点为中心圆柱孔与底座底平面的交点;经原点平行于底座后缘为水平向坐标轴,左侧为正方向;经原点垂直于底座后缘为矢状向坐标轴,远中向为正方向;模型中心圆柱螺纹为垂直向坐标轴,殆向为正方向。

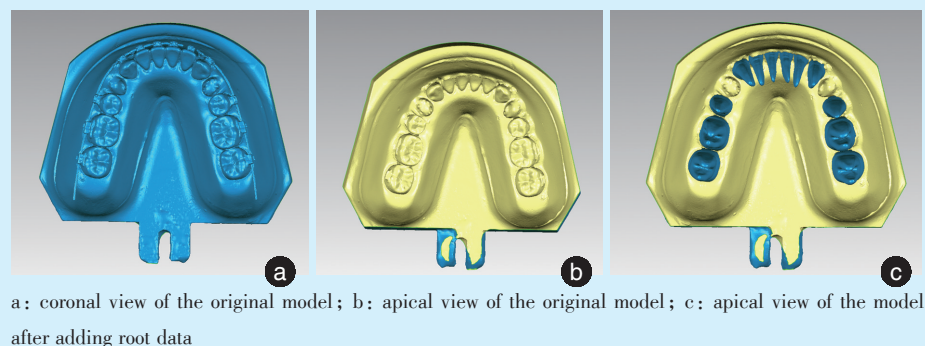


Figure 2 Three-dimensional model of the mandibular dentition

图2 下颌牙列三维模型

1.2.5 加载前后数字模型重叠分析 以 Typodont 底座为基准,取初始模型和加载后的数字模型在 Geomagic 软件中进行重叠,标记并测量每个牙齿各标志点的移动位移(冠方标志点包括切牙切缘中点,尖牙牙尖点,第二前磨牙、第一、第二磨牙的中央窝点;根方标志点包括单根牙根尖点及第一、第二磨牙的根分叉点)。在矢状向及垂直向上,坐标正方向位移以正值表示。为便于横向研究,统一将侧向扩大的位移标为正值,即左侧牙列向左侧位移以正值表示,右侧牙列向右侧位移以正值表示。

1.3 统计学分析

所有数据资料采用 SPSS 19.0 进行统计分析。左右同名牙的位移数据取平均值用于统计,以单因素方差法进行统计分析,3组样本均数间多重比较采用 LSD-*t* 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 模型重叠分析

通过水浴前后数字模型的重叠可以直观判断各牙齿的移动趋势。矢状向上,工况1中前牙牙冠的内收位移明显大于其他工况,但工况2和工况3中前牙牙根内收位移和后牙的近中位移量明显增大,特别是双钥匙曲间结扎的工况3组,尖牙牙根明显向远中倾斜,并且后牙牙根向近中明显倾斜。垂直向上,可见工况1中牙列垂直向位移较小、基本保持水平,工况2中下牙列排列类似摇椅形,工况3更为明显,并且下切牙段的有明显的压低位移、后牙

段牙齿有一定的伸长及颊倾位移(图3)。

2.2 不同工况下水浴前后牙齿矢状向位移量

加载力量后3种工况中下颌各个牙齿的矢状向位移如表1所示。使用短牵引钩水平加载的工况1中,前牙牙冠的内收位移明显大于其它工况。从工况1到工况3,前牙内收位移逐渐减少,工况3中前牙牙冠甚至轻度唇倾。同时下前牙根尖的内收位移量及下后牙牙冠的近中位移量从工况1到工况3逐渐增加。下后牙牙根的近中位移也表现为逐渐增大,但后牙牙冠的位移均大于根分叉区移动量。3个前牙冠根标志点的位移差异均有统计学差异($P < 0.01$)。后牙牙冠的近中位移从工况1、工况2到工况3逐渐增加,牙根的近中移动亦随之增加,差异具有统计学意义($P < 0.01$)。

2.3 不同工况下水浴前后牙齿垂直向位移量

垂直向上,工况1中下前牙牙冠有轻度伸长,而工况2、工况3中可见下前牙段的明显的压低位移,工况3组更为明显。下前牙根尖的位移与其牙冠基本一致,工况2和工况3中均表现为压低位移。值得注意的是工况3组中下颌尖牙牙根表现为少量的殆向移动,这可能与其牙根水平向的移动有关。下后牙工况1、工况2组垂直向上无明显变化,但工况3组表现为后牙段明显伸长趋势(表2)。

2.4 不同工况下水浴前后牙齿横向位移量

横向上,前牙牙冠宽度变化有轻度变小趋势,但数值较小,工况3中尖牙牙冠轻度颊向位移;工况1、工况2切牙牙根变化不大,尖牙牙根在远中

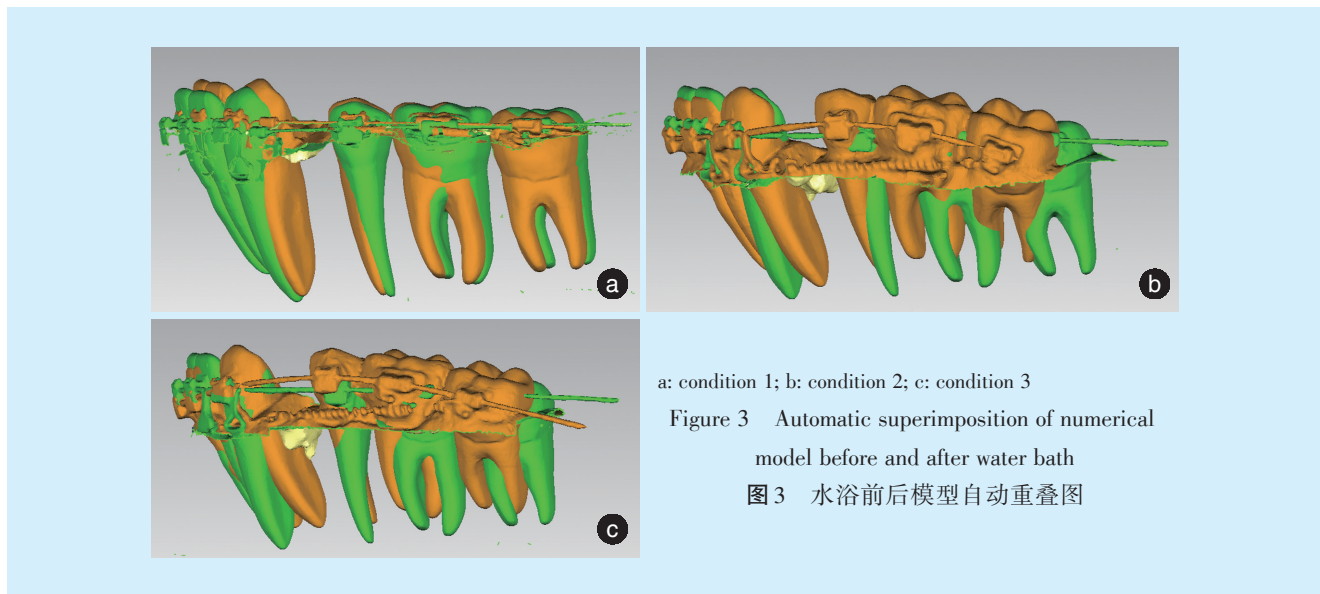


表1 不同工况下水浴前后牙齿矢状向位移量

Table 1 Sagittal displacement of teeth in different loading conditions

Teeth		C1	C2	C3	F	P	Multiple comparison
L1	Crown	1.24 ± 0.03	0.69 ± 0.08	-0.17 ± 0.11	231.69	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.63 ± 0.07	1.56 ± 0.05	3.79 ± 0.16	737.83	< 0.01	C3 > C2 > C1
L2	Crown	1.29 ± 0.02	0.50 ± 0.13	-0.11 ± 0.02	274.54	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.56 ± 0.02	1.42 ± 0.02	3.61 ± 0.13	1 184.54	< 0.01	C3 > C2 > C1
L3	Crown	1.36 ± 0.06	0.33 ± 0.05	-0.23 ± 0.02	856.79	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.34 ± 0.02	1.72 ± 0.11	4.92 ± 0.27	574.08	< 0.01	C3 > C2 > C1
L5	Crown	-0.86 ± 0.08	-1.40 ± 0.10	-2.41 ± 0.23	79.29	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	-0.08 ± 0.02	-0.35 ± 0.03	-0.73 ± 0.02	629.01	< 0.01	C1 > C2 > C3
L6	Crown	-0.84 ± 0.02	-1.65 ± 0.10	-2.59 ± 0.11	318.29	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	-0.57 ± 0.08	-1.30 ± 0.03	-1.92 ± 0.03	537.07	< 0.01	C1 > C2 > C3
L7	Crown	-1.04 ± 0.10	-1.96 ± 0.03	-2.98 ± 0.03	717.52	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	-1.26 ± 0.06	-1.84 ± 0.08	-2.49 ± 0.08	222.26	< 0.01	C1 > C2 > C3

L1: lower central incisor; L2: lower lateral incisor; L3: lower canine; L5: lower second premolar; L6: lower first molar; L7: lower second molar; C1: condition 1; C2: condition 2; C3: condition 3

移动时稍向颊侧移动,工况3中前牙根尖的颊向位移最大。在后牙段,从工况1到工况3,后牙牙冠颊向位移逐渐增大,有扩弓趋势,同时伴有逐渐增加的根舌向位移,以第二磨牙最为明显(表3)。

3 讨论

Typodont 模型是一种可在体外真实模拟正畸诊断、设计和治疗的方法,是目前国际公认最佳的正畸教学培训的手段^[6]。本研究通过拔除第一前磨牙的下颌 Typodont 模型为研究对象,模拟 DKHL 唇弓不同激活方式关闭拔牙间隙,并借助逆向工程技术同时观察牙冠和牙根的三维移动趋势^[7],为 DKHL 唇弓的临床应用提供一定参考依据。

尽管 Typodont 模型中的蜡堤没有真正的牙周

组织,与口腔内真实的生物环境相差较大,但依然能很好地体现牙齿受力的移动趋势^[8]。此外,本实验中通过以下方法改进 Typodont 实验,进一步提高实验测量准确性。首先本实验研究模型的托槽粘结采用统一的间接粘结导板粘结,确保了托槽粘结位置的一致性^[9]。其次,数据测量时以固定不变的 Typodont 颌架底座为参照建立三维坐标系,保证实验的可重复性。Geomagic 软件的自动匹配功能强,重叠精度高,有效地保证牙根模型数据的准确性^[10]。最后,Geomagic 软件内直接数字化定点测量,减少了人工测量标志点位移量的测量误差。

前牙移动方式是准确控制是正畸治疗的关键,滑动法关闭拔牙间隙过程中常发生前牙转矩丧失、覆殆持续加深的“过山车”效应等^[11]。本实

表2 不同工况下水浴前后牙齿垂直向位移量

Table 2 Vertical displacement of teeth in different loading conditions

Teeth		C1	C2	C3	F	P	Multiple comparison
L1	Crown	0.82 ± 0.03	-1.10 ± 0.16	-2.59 ± 0.02	912.22	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.44 ± 0.02	-0.71 ± 0.13	-1.13 ± 0.03	308.97	< 0.01	C1 > C2 > C3
L2	Crown	0.89 ± 0.03	-0.90 ± 0.15	-2.23 ± 0.02	882.28	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.42 ± 0.04	-0.55 ± 0.14	-0.96 ± 0.02	190.90	< 0.01	C1 > C2 > C3
L3	Crown	1.02 ± 0.02	-0.02 ± 0.02	-0.90 ± 0.03	6 471.23	< 0.01	C1 > C2 > C3
	Root	0.74 ± 0.02	1.17 ± 0.20	2.12 ± 0.03	105.20	< 0.01	C3 > C2 > C1
L5	Crown	1.14 ± 0.03	1.14 ± 0.43	1.90 ± 0.11	8.63	< 0.01	C3 > (C1, C2)
	Root	1.09 ± 0.02	1.19 ± 0.40	2.18 ± 0.10	20.47	< 0.01	C3 > (C1, C2)
L6	Crown	0.99 ± 0.05	1.11 ± 0.36	2.07 ± 0.09	22.15	< 0.01	C3 > (C1, C2)
	Root	0.98 ± 0.02	0.95 ± 0.31	1.94 ± 0.03	28.68	< 0.01	C3 > (C1, C2)
L7	Crown	0.72 ± 0.02	0.62 ± 0.21	1.31 ± 0.03	27.10	< 0.01	C3 > (C1, C2)
	Root	0.60 ± 0.03	0.62 ± 0.21	1.41 ± 0.03	78.05	< 0.01	C3 > (C1, C2)

L1: lower central incisor; L2: lower lateral incisor; L3: lower canine; L5: lower second premolar; L6: lower first molar; L7: lower second molar; C1: condition 1; C2: condition 2; C3: condition 3

表3 不同工况下水浴前后牙齿横向位移量

Table 3 Transverse displacement of teeth in different loading conditions

Teeth		C1	C2	C3	F	P	Multiple comparison
L1	Crown	0.02 ± 0.10	-0.10 ± 0.03	-0.08 ± 0.05	2.09	0.20	-
	Root	0.03 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.50 ± 0.03	363.44	< 0.01	C3 > C2 > C1
L2	Crown	-0.14 ± 0.10	-0.26 ± 0.10	-0.36 ± 0.09	3.30	0.11	-
	Root	0.14 ± 0.02	0.28 ± 0.02	1.19 ± 0.04	1 503.69	< 0.01	C3 > C2 > C1
L3	Crown	-0.25 ± 0.18	-0.35 ± 0.12	0.16 ± 0.07	12.07	< 0.01	C3 > (C1, C2)
	Root	0.72 ± 0.03	1.39 ± 0.05	2.65 ± 0.02	2 317.19	< 0.01	C2 > C3 > C1
L5	Crown	-0.80 ± 0.31	0.71 ± 0.06	0.99 ± 0.04	77.60	< 0.01	C3 > C2 > C1
	Root	-0.90 ± 0.02	-1.03 ± 0.02	-1.36 ± 0.03	349.02	< 0.01	C1 > C2 > C3
L6	Crown	-0.66 ± 0.23	0.99 ± 0.04	1.25 ± 0.02	170.35	< 0.01	C3 > C2 > C1
	Root	-0.68 ± 0.05	-0.36 ± 0.09	-0.66 ± 0.06	18.42	< 0.01	C2 > (C1, C3)
L7	Crown	0.22 ± 0.07	2.18 ± 0.13	2.18 ± 0.03	523.51	< 0.01	(C2, C3) > C1
	Root	-0.22 ± 0.07	-0.55 ± 0.07	-0.84 ± 0.11	36.31	< 0.01	C1 > C2 > C3

L1: lower central incisor; L2: lower lateral incisor; L3: lower canine; L5: lower second premolar; L6: lower first molar; L7: lower second molar; C1: condition 1; C2: condition 2; C3: condition 3

验工况1在尖牙远中的短牵引钩进行水平加载,类似平直唇弓滑动法直接颌内牵引加力。实验结果中,前牙牙冠内收位移大于牙根舌向位移,表现为典型的舌向倾斜移动,并且伴有牙冠少量伸长。临床治疗中为避免此现象发生,滑动法关闭间隙时常需要摇椅弓^[12]、高转矩托槽^[13]、支抗钉^[14]等辅助措施。DKHL唇弓的优点是简单地调整加载的位置和力量大小,改变激活方式即可控制前牙的移动方式。工况2、工况3直接在远中钥匙曲顶部加载激活组,可见下前牙牙根显著后移,表现为良好的前牙舌向控根效果。临床上对于需要前牙整体内收的患者,可以采用这两种方法激活。工况3增加了双钥匙曲间的结扎,实验中可见下前牙

明显压低。为此对需要压低下前牙、打开咬合的患者,可以通过调整近中和远中钥匙曲顶部的结扎力量来控制前牙的压低位移。Dobranszki等^[15]采用光弹模型分析DKHL的力学效应,其结果认为工况1对前牙产生伸长的力量,工况2则无前牙伸长力量,而工况3产生明显的前牙压低力量,这些力学分析的结果与Typodont实验中前牙产生的移动趋势相一致。

第一磨牙历来备受临床正畸医师的关注,也是临床判断正畸治疗是否成功的重要标准。本实验结果显示双钥匙曲唇弓加力内收时,双钥匙曲顶部加载组(工况2、工况3)后牙近中移动量明显大于工况1组,双钥匙曲顶部间结扎组的工况3组

尤为明显。工况3中,尖牙明显远中倾斜,类似Tweed技术中的支抗预备^[16],增加了下前牙的支抗。因此,对需要大量前牙内收的患者,需采取措施增强后牙支抗。钥匙曲顶部加载激活时,后牙在近中移动的过程中并未发生近中倾斜,而是产生近中倾斜移动,表明DKHL可作为后牙近中平移的良好工具。Typodont模型实验中与口内实际条件相比,缺乏咀嚼和咬合压力的模拟,这可能是垂直向位移的与临床产生差异的原因。

本实验中发现DKHL顶部加载力量时,后牙有颊向倾斜和扩弓的趋势。这可能与远中钥匙曲高于颊面管有关,使用拉簧牵引时后段弓丝有根向弯曲的趋势,可压低颊尖,使之颊倾。牙弓扩宽还可能与牵引力量较大、超过弓丝的控制能力有关。临床使用中应控制弓丝激活的力度、防止施加过大力量,必要时适当施加后牙段负转矩并调节弓丝宽度。本实验采用Typodont模型,通过前牙和后牙冠根移动趋势的分析基本如实呈现了DKHL 3种激活方式的力学效应,但需要注意的是,Typodont模型研究与临床实际存在一定的差距,相关结果不能简单套用于临床实践,需要结合其他相关研究结果并通过更多的临床研究进行验证。

4 结 论

综上所述,DKHL唇弓通过调节加载的方式可以灵活控制前牙和后牙的移动方式,远中钥匙曲顶部加载激活时可有效控制前牙转矩、前移后牙,DKHL顶部结扎可压低下前牙、打开咬合。临床应用中应根据患者情况选择合适的加力方法,同时控制好牙的支抗和转矩。

致谢 感谢福建医科大学口腔医学院研究生王梅洁、严峻,进修医师曾晓芬医生在实验操作、数据整理中的帮助。

参考文献

- [1] McLaughlin RP, Bennett JC. Evolution of treatment mechanics and contemporary appliance design in orthodontics: a 40-year perspective[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2015, 147(6): 654-662.
- [2] Rizk MZ, Mohammed H, Ismael O, et al. Effectiveness of en masse versus two-step retraction: a systematic review and meta-analysis[J]. Prog Orthod, 2018, 18(1): 41.
- [3] Antoszewska-Smith J, Sarul M, Łyczek J, et al. Effectiveness of orthodontic miniscrew implants in anchorage reinforcement during en-masse retraction: a systematic review and meta-analysis[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2017, 151(3): 440-455.
- [4] Lee RJ, Pi S, Park J, et al. Three-dimensional evaluation of root position at the reset appointment without radiographs: a proof-of-concept study[J]. Prog Orthod, 2018, 19(1): 15.
- [5] Lee RJ, Pham J, Choy M, et al. Monitoring of typodont root movement via crown superimposition of single cone-beam computed tomography and consecutive intraoral scans[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2014, 145(3): 399-409.
- [6] Júnior SLM, de Andrade Vitral J, Schmitzberger CA, et al. Evaluation of the vertical accuracy of bracket placement with the Boone gauge[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2015, 148(5): 821-826.
- [7] Lee RJ, Ko J, Park J, et al. Accuracy and reliability of the expected root position setup on clinical decision making of root position at midtreatment[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2019, 156(4): 566-573.
- [8] Kim JY, Yu WJ, Koteswararac PNK, et al. Effects of bracket slot size during en-masse retraction of the six maxillary anterior teeth using an induction-heating typodont simulation system[J]. Korean J Orthod, 2017, 47(3): 158-166.
- [9] Duarte MEA, Gribel BF, Spitz A, et al. Reproducibility of digital indirect bonding technique using three-dimensional (3D) models and 3D-printed transfer trays[J]. Angle Orthod, 2020, 90(1): 92-99.
- [10] Runkel C, Güth J F, Erdelt K, et al. Digital impressions in dentistry - accuracy of impression digitalisation by desktop scanners[J]. Clin Oral Investig, 2020, 24(3): 1249-1257.
- [11] Tariq M, Asif S. An overview of the Andrews preadjusted edgewise appliance[J]. Indian J Orthod Dentofacial Res, 2016, 2: 32-33.
- [12] Valarelli FP, Carniel R, Cotrin-Silva PP, et al. Treatment of a Class II malocclusion with deep overbite in an adult patient using intermaxillary elastics and spee curve controlling with reverse and accentuated archwires[J]. Contemp Clin Dent, 2017, 8(4): 672-678.
- [13] Papageorgiou SN, Sifakakis I, Keilig L, et al. Torque differences according to tooth morphology and bracket placement: a finite element study[J]. Eur J Orthod, 2017, 39(4): 411-418.
- [14] Wang XD, Zhang JN, Liu DW, et al. Nonsurgical correction of a severe anterior deep overbite accompanied by a gummy smile and posterior scissor bite using a miniscrew-assisted straight-wire technique in an adult high-angle case[J]. Korean J Orthod, 2016, 46(4): 253-265.
- [15] Dobranszki A, Vuolo JH, Levy Neto F, et al. Photoelastic study of the vertical control with double key loop archwire in the Straight wire technique[J]. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, 2009, 14(4): 123-128.
- [16] Klontz HA. Tweed - Merrifield sequential directional force treatment[J]. Semin Orthod, 1996, 2(4): 254-267.

(编辑 周春华)



官网



公众号