

青少年患者隐形矫治导下颌向前咬合功能的变化

校华¹ 张跃英² 吴秋月¹ 蒋天鹭¹ 何康萍¹ 杜宇森¹ 杨婧³ 金作林¹ 李菲菲¹

¹口颌系统重建与再生全国重点实验室, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 陕西省口腔医学重点实验室, 空军军医大学口腔医院正畸科, 西安 710032; ²陕西省颅颌面精准医学研究重点实验室, 陕西省牙颌疾病临床研究中心, 西安交通大学口腔医院口腔正畸科, 西安 710004; ³南方医科大学口腔医院(口腔医学院)儿童口腔科, 广州 510280

通信作者: 李菲菲, Email: 1085947805@qq.com

【摘要】 **目的** 探讨青少年下颌后缩患者使用隐形矫治技术在正畸治疗前、导下颌向前结束后、正畸治疗结束时咬合功能的变化。**方法** 本研究于2022—2024年在第四军医大学口腔医院正畸科开展, 为双向性队列研究, 共纳入18例青少年下颌后缩患者, 平均年龄(13.22 ± 1.17)岁, 使用隐形矫治器分别在正畸治疗前(T0)、导下颌向前结束后(T1)[治疗时长(12.62 ± 0.66)个月]及正畸治疗结束时(T2)[治疗时长(22.76 ± 0.63)个月]3个阶段, 采用T-Scan咬合分析系统记录患者在牙尖交错位(ICP)、前伸及侧方殆位时的咬合接触情况, 并使用非参数Friedman检验比较T0、T1及T2阶段咬合功能的变化。**结果** T0阶段牙弓左右侧相对殆力、殆接触面积的差值在ICP时分别为21.03(15.00, 26.05)、20.62(15.08, 23.05), T1阶段分别为9.90(5.37, 11.75)、9.71(8.23, 11.61), T2阶段分别为11.20(9.62, 12.44)、10.01(6.67, 11.96), T1和T2阶段牙弓左右侧相对殆力、殆接触面积的差值均较T0减小($P < 0.001$), 而两者之间相比差异无统计学意义($P > 0.05$)。T1阶段全牙列相对殆力大小在ICP时较T0阶段减小, 而T2阶段又逐渐增大, 但仍然小于T0阶段, 差异有统计学意义($P < 0.001$)。T1和T2阶段, 牙弓左右侧殆力中心点在ICP时的相对位置的变化与T0阶段相比, 差异无统计学意义, 但向理想的殆力中心点的相对位置靠近; 牙弓前后段殆力中心点的相对位置, T1阶段与T0阶段相比, 向牙弓前段移位, 差异有统计学意义($P < 0.001$), 而T2阶段殆力中心点的相对位置与T1阶段相比, 向牙弓后段移位, 差异有统计学意义($P < 0.001$)。T1和T2阶段, ICP时的咬合接触时间和前伸、侧方殆位时的咬合分离时间均较T0减小, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 青少年下颌后缩患者在隐形矫治导下颌向前结束后和正畸治疗结束时, ICP及前伸、侧方殆位时左右侧咬合的差异、咬合接触时间及咬合分离时间均较正畸治疗前减小, 说明经过导下颌向前及正畸治疗, 患者的咬合功能获得了一定程度的改善, 咬合更趋向平衡、稳定。

【关键词】 下颌后缩; 隐形矫治技术; 导下颌向前; 咬合功能

基金项目: 国家口腔疾病临床医学研究中心资助课题(LCA202202); 陕西省社发攻关重点研发计划(2023-YBSF-025)

引用著录格式: 校华, 张跃英, 吴秋月, 等. 青少年患者隐形矫治导下颌向前咬合功能的变化[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2025, 19(2):104-111.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.02.004

Study of occlusal function changes before and after clear functional aligner mandibular advancement in adolescent patients

Xiao Hua¹, Zhang Yueying², Wu Qiuyue¹, Jiang Tianlu¹, He Kangping¹, Du Yusen¹, Yang Jing³, Jin Zuolin¹, Li Feifei¹

¹State Key Laboratory of Oral & Maxillofacial Reconstruction and Regeneration, National Clinical Research Center for Oral Diseases, Shaanxi Key Laboratory of Stomatology, Department of Orthodontics, The Fourth

Military Medical University, Xi'an 710032, China; ²Key laboratory of Shaanxi Province for Craniofacial Precision Medicine Research, Clinical Research Center of Shaanxi Province for Dental and Maxillofacial Diseases, Department of Orthodontics, College of Stomatology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, China; ³Stomatological Hospital, Department of Pediatric Dentistry, School of Stomatology, Southern Medical University, Guangzhou 510280, China

Corresponding author: Li Feifei, Email: 1085947805@qq.com

【Abstract】 Objective The aim of this study was to investigate changes in occlusal function in adolescent patients with mandibular retrusion using clear functional aligners before orthodontic treatment, after mandibular advancement (MA) treatment and at the end of orthodontic treatment. **Methods** This ambispective cohort study was conducted in the Department of Orthodontics, the Fourth Military Medical University from 2022 to 2024. A total of 18 adolescent patients with mandibular retrusion [mean age (13.22 ± 1.17) years] were included. This study was divided into three stages: before orthodontic treatment (T0), after MA treatment (T1) [treatment duration: (12.62 ± 0.66) months] and at the end of orthodontic treatment (T2) [treatment duration: (22.76 ± 0.63) months]. The intercuspal position (ICP), protrusive occlusion and lateral occlusion were recorded by T-Scan occlusion analysis system. Friedman test was used to compare the occlusal function before orthodontic treatment, after MA and at the end of orthodontic treatment. **Results** The difference of the relative occlusal force and occlusal contact area of the left and right sides of the dental arch before orthodontic treatment in ICP was 21.03 (15.00, 26.05), 20.62 (15.08, 23.05) at T0, 9.90 (5.37, 11.75), 9.71 (8.23, 11.61) at T1, and 11.20 (9.62, 12.44), 10.01 (6.67, 11.96) at T2, respectively. The difference of the relative occlusal force and occlusal contact area of the left and right sides of the dental arch at T1 and at T2 was smaller than that at T0 ($P < 0.001$), but there was no significant difference between them ($P > 0.05$). In ICP, the size of the total relative occlusal force in the full arch at T1 was smaller than that at T0, and it gradually increased at T2 stage, but it was still smaller than at T0 stage ($P < 0.001$). In ICP, the relative positions of the center of force (COF) of the left and right sides of the dental arch were not statistically different between T0, T1 and T2, but they became closer to the ideal COF position; the COF position of the dental arch anterior and posterior segments was statistically different from T0 to T1 stage, moving toward the dental arch anterior segment ($P < 0.001$), and it was statistically different from T0 to T2 stage, moving toward the dental arch posterior segment ($P < 0.001$). The occlusion time of ICP and the disclusion time of protrusive and lateral occlusion were significantly shorter at T1 and T2 than those at T0 stage ($P < 0.05$). **Conclusions** In adolescent patients with mandibular retrusion treated with clear functional aligners, differences in left-right occlusal force, occlusion time, and disclusion time in ICP, protrusive, and lateral occlusion were reduced following MA and at the end of orthodontic treatment. These findings indicated an improvement in occlusal function. The occlusion became more balanced and stable after MA and orthodontic treatment.

【Key words】 Mandibular retrusion; Clear aligner; Mandibular advancement; Occlusal function

Fund programs: National Clinical Research Center for Oral Diseases (LCA202202); Key R & D Program of Shaanxi Province (2023-YBSF-025)

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.02.004

安氏Ⅱ类错殆是临床常见的错殆畸形之一,在恒牙列中患病率为19.56%^[1],该类错殆典型的表现是前牙深覆盖、深覆殆,且许多患者伴有下颌后缩,不仅影响患者的颜面美观和心理健康,而且还可能影响正常的下颌功能运动和咬合功能^[2]。对处于生长发育高峰前期或者高峰期的青少年下颌后缩患者,正畸医师通常会采用双期矫治,第一期使用功能矫治器导下颌向前,第二期对牙列进行排齐和咬合

的精细调整。

随着数字化技术和材料科学的蓬勃发展,临床中越来越多的患者采用隐形矫治器导下颌向前和进行正畸治疗,隐形矫治器因其设计精准、便于清洁、舒适美观及复诊次数减少等优点而受到许多正畸医师和患者的青睐,隐形矫治器在导下颌向前的治疗过程中还可同时设计牙及牙列在三维方向上的移动,提高了治疗效率^[3-4]。

平衡、稳定和美观是正畸矫治结束的目标,良好的尖窝咬合关系是实现以上目标的重要基础。正畸医师除关注患者的美观需求,还应为患者建立平衡而稳定的咬合功能,这样才能有利于口颌系统功能的正常发挥。随着数字化技术的发展和正畸诊疗水平的提高,学者们对咬合的研究已从静态分析^[5-7]逐步发展为动态的定量分析^[8-9]。本研究采用T-Scan咬合分析系统,对使用隐形矫治器导下颌向前患者治疗前中后的动态咬合特点进行了比较分析,旨在了解青少年下颌后缩患者在导下颌向前结束后和正畸治疗结束时关于咬合的平衡稳定性及相对咬合力的变化。

资料与方法

一、研究对象

本双向性队列研究于2022年1月至2024年10月在第四军医大学口腔医院正畸科(空军军医大学口腔医院正畸科)开展,已通过医院医学伦理委员会审批(审批号:KQ-YJ-2023-106),且本研究已获得所有研究对象监护人的知情同意。

1. 纳入标准:(1)安氏Ⅱ类1分类错骀,双侧尖牙、磨牙为远中关系;(2)骨性Ⅱ类($ANB > 5^\circ$),上颌发育基本正常($78.8^\circ < SNA < 85.8^\circ$),下颌后缩($SNB < 78^\circ$);(3)面部水平生长型($FMA < 32^\circ$);(4)前牙覆盖Ⅱ~Ⅲ度;(5)上下颌牙列不拥挤或轻度拥挤;(6)处在生长发育高峰期前或高峰期的青少年,颈椎骨龄处在CS2~CS4期^[10];(7)患者自愿采用隐形矫治器,且依从性良好,每天佩戴 > 20 h。

2. 排除标准:(1)颞下颌关节紊乱病史者,可通过患者自述有无相关的症状、临床医师进行查体及相关影像资料评判;(2)面部有明显偏斜(颏点偏离中线 ≥ 2 mm);(3)大面积牙体缺损、残根、牙列缺损和牙周病;(4)颌面部外伤史、囊肿或肿瘤史、手术史和唇腭裂史;(5)不能配合完成该项检查的患者。

二、实验方法

患者采用隐形矫治器,矫治过程分两个阶段。第一个阶段主要进行导下颌向前治疗,在前导下颌的过程中还可同时进行上下颌牙弓的扩展和前牙的压低,内收上前牙以及牙列的初步排齐。当下颌前导稳定且不能后退至后缩骀位、前牙覆骀覆盖显著减小、尖磨牙为中性或偏近中咬合、后牙初步建立尖窝咬合关系时,第一个阶段治疗结束,即导下颌向前结束(T1);第二个阶段进一步排齐整平上下

颌牙列,建立前牙正常覆骀覆盖并精细调整后牙尖窝咬合关系,第二个阶段治疗结束时为正畸治疗结束(T2)。

实验测量仪器采用的是T-ScanⅢ咬合分析系统(Tekscan,美国),该系统由临床操作装置和软件分析系统两部分组成,可实时记录和观察患者在不同骀位时的动态咬合接触情况。

所有患者均由同一名研究者按照规范化流程记录,操作方法如下:(1)研究者先向患者及家长讲解该检查的目的,然后录入患者个人信息,嘱直立端坐,眶耳平面与地面平行,并指导患者反复练习;(2)根据患者牙弓大小选择合适的支架及传感器薄膜,输入中切牙宽度软件自行调整并确定上下颌牙弓长度,同时需导入每位患者上下颌三维(three-dimensional, 3D)数字印模;(3)将组合完成的测量工具旋转放入患者口内,嘱患者以正常习惯的速度进行咬合记录,且每次咬合至相应位置稳定1~2 s,为防止患者因疲劳而导致咬合力减弱,在每次咬合记录完成后休息1~2 min。按照以上方法,分别记录患者在正畸治疗前(T0)、导下颌向前结束后(T1)和正畸治疗结束时(T2)这3个阶段的咬合接触情况,每个阶段分别记录患者在牙尖交错位(intercuspal position, ICP)、前伸骀位和侧方骀位时的咬合接触情况。

三、测量指标与计算

1. 骀力不对称指数(asymmetry index of occlusal force, AOF):通过T-Scan咬合分析系统中的二维视图直接获取左侧骀力(left of occlusal force, LOF)和右侧骀力(right of occlusal force, ROF)的百分比数据计算的,计算公式如下

$$AOF = \frac{LOF - ROF}{LOF + ROF} \times 100\%$$

2. 咬合接触点数目(number of occlusal contacts, NOC):从T-Scan二维视图上计数彩色方格的数目,每个小方格代表1个感应测试点,计为1个接触点数目,ICP时左右侧接触点数目之和即为全牙列接触点数目。

3. 咬合接触面积(area of occlusal contact, AOC):计算出咬合接触点数目,再参考以往文献中方法计算咬合接触面积^[11]。

4. 骀接触面积不对称指数(asymmetry index of occlusal area, AOA):先分别计算左侧骀接触面积(left occlusal contact area, LOA)和右侧骀接触面积(right

occlusal contact area,ROA),再计算AOA,公式如下

$$AOA = \frac{LOA-ROA}{LOA+ROA} \times 100\%$$

5. 骀力中心点位置(center of force, COF):通常以腭中线与双侧第二前磨牙远中的交点作为理想的COF,越接近理想的COF说明骀力越平衡^[12]。以该交点为坐标轴中心,横向为X轴,纵向为Y轴,以坐标轴中心点为参考,COF位于X轴左侧取正值,位于X轴右侧取负值;位于Y轴上方取正值,位于Y轴下方取负值。

6. 咬合接触时间(occlusion time, OT):指下颌从息止颌位运动到ICP时,从第1颗牙齿开始接触到全牙列广泛接触的时间即为咬合接触时间。

7. 咬合分离时间(disclusion time, DT):指全牙列广泛接触后,下颌从ICP分别运动至左、右侧方骀位,工作侧接触,非工作不接触或运动至前伸骀位,上下颌前牙接触而后牙不接触的时间。

四、统计学处理方法

采用Microsoft Excel数据管理软件建立数据库,使用SPSS 25.0统计软件进行数据分析,样本资料经Kolmogorov-Smirnov检验后,结果显示该样本资料的数据不符合正态分布,因此本实验数据采用非参数检验进行分析。所有数据以M(P₂₅, P₇₅)形式表达^[13]。T0、T1和T2阶段各测量指标的变化比较采用非参数Friedman检验,组内对比时采用多个相关样本两两比较的q检验。检验水准α=0.05。所有测量指标由同一研究者完成,分别测量3次,测量数据计算3次取平均值。

结 果

一、患者隐形矫治前中后咬合平衡性的变化

反映牙弓左右侧咬合平衡性的指标为AOF和

AOA,患者在T1、T2阶段的ICP时AOF和AOA的测量值均较T0阶段减小,差异有统计学意义,但T1与T2阶段相比差异无统计学意义。COF可反映全牙列的咬合平衡性,COF-X代表牙弓左右侧骀力中心点的相对位置,可反映牙弓左右侧的咬合平衡性;COF-Y代表牙弓前后段骀力中心点的相对位置,可反映牙弓前后段的咬合平衡性。患者在T1、T2阶段的ICP时COF-X的测量值均较T0阶段更接近理想的骀力中心点位置,但差异无统计学意义;患者在T1阶段的ICP时COF-Y的测量值与T0阶段相比,发生了向牙弓前段的移位,即骀力中心点的相对位置发生了前移;而T2与T1阶段相比,骀力中心点的相对位置发生了后移,差异有统计学意义(表1)。

二、患者隐形矫治前中后咬合稳定性的变化

反映咬合稳定性的指标为OT和DT,患者在T1、T2阶段的ICP时关于咬合稳定性的指标OT的测量值均较T0阶段减小,差异有统计学意义,但T1与T2阶段相比差异无统计学意义(表2);前伸骀和侧方骀位时咬合稳定性指标DT的测量值在T1、T2阶段均较T0阶段减小,差异有统计学意义,但T1与T2阶段相比差异无统计学意义(表2)。

三、患者隐形矫治前中后相对咬合力的变化

反映相对咬合力大小的指标为NOC和AOC,患者在T1阶段ICP时的相对咬合力较T0阶段减小,T2与T1阶段相比,相对咬合力增大,但T2阶段相对咬合力仍小于T0阶段,差异有统计学意义(表2)。

讨 论

T-Scan是由美国学者Maness发明的咬合力分析系统,该系统通过使用与牙弓形态一致的传感器来实时记录和测量牙齿的咬合接触情况,是一种将咬合数据进行量化,并引入时间参数来记录动态咬

表1 隐形矫治前中后ICP时咬合测量指标的比较[M(P₂₅, P₇₅), n=18]

测量指标	T0(正畸治疗前)	T1(导下颌结束后)	T2(正畸结束时)	F值	P值	多个相关样本两两比较的q检验
AOF(%)	21.03(15.00, 26.05)	9.90(5.37, 11.75)	11.20(9.62, 12.44)	31.00	0.000*	T0>T1, T0>T2(P<0.001)
AOA(%)	20.62(15.08, 23.05)	9.71(8.23, 11.61)	10.01(7.67, 11.96)	27.41	0.000*	T0>T1, T0>T2(P<0.001)
OT(s)	0.43(0.30, 0.50)	0.27(0.20, 0.32)	0.31(0.19, 0.38)	13.76	0.001*	T0>T1(P=0.001), T0>T2(P=0.018)
DT(s)	0.20(0.16, 0.28)	0.22(0.18, 0.28)	0.17(0.13, 0.21)	1.68	0.432	
COF-X(mm)	-2.91(-4.79, 7.58)	1.63(-2.58, 4.03)	1.12(-1.83, 4.12)	1.78	0.411	
COF-Y(mm)	-1.73(-5.63, 2.85)	4.53(7.04, -1.20)	-3.40(-4.24, -1.49)	15.78	0.000*	T1>T0(P<0.001), T2<T1(P<0.001)
NOC(个)	105(97, 130)	64(59, 86)	93(77, 106)	22.33	0.000*	T0>T1(P<0.001), T1<T2(P<0.001)
AOC(mm ²)	109.72(100.79, 135.81)	66.61(60.50, 89.53)	96.89(133.47, 110.50)	22.33	0.000*	T0>T1(P<0.001), T1<T2(P<0.001)

注: AOF为骀力不对称指数;AOA为骀接触面积不对称指数;OT为咬合接触时间;DT为咬合分离时间;COF为骀力中心点位置;NOC为咬合接触点数目;AOC为咬合接触面积;*差异有统计学意义。

表2 隐形矫治前中后前伸和侧方殆位时咬合分离时间的比较[$M(P_{25}, P_{75}), n=18$]

测量殆位	T0(正畸治疗前)	T1(导下颌结束后)	T2(正畸结束时)	F值	P值	多个相关样本两两比较的q检验
前伸殆	0.46(0.39,0.50)	0.29(0.25,0.32)	0.26(0.21,0.29)	16.09	0.000*	T0 > T1(P=0.029), T0 > T2(P=0.001)
左侧方殆	0.44(0.39,0.48)	0.33(0.28,0.37)	0.30(0.29,0.36)	15.47	0.000*	T0 > T1(P=0.025), T0 > T2(P=0.001)
右侧方殆	0.50(0.37,0.55)	0.36(0.31,0.42)	0.28(0.25,0.35)	15.41	0.000*	T0 > T1(P=0.030), T0 > T2(P=0.001)

注:*差异有统计学意义。

合接触的计算机分析系统^[14]。与传统的咬合纸检查、咬合蜡片和研究模型等静态咬合记录方法相比,T-Scan咬合分析系统具有更好的重复性、准确性以及灵敏性^[15]。T-Scan咬合分析系统可记录患者在ICP、前伸和侧方殆位时的动态咬合接触情况,研究者可观察和记录不同殆位时的动态咬合接触分布、左右侧相对殆力的分布及咬合接触时间等,是一种相对客观的可定量进行动态咬合评估的方法^[16-17]。

一、对患者隐形矫治前中后咬合平衡性变化的分析

咬合的平衡性与牙弓左右侧和牙弓前后段咬合力的分布是否均匀有关^[12],左右侧相对殆力和殆接触面积的差值大小可反映牙弓水平向左右侧咬合力的分布,即双侧咬合的平衡性。AOF和AOA可反映左右侧相对咬合力的分布,其差值越小提示双侧咬合分布越平衡^[18];牙弓左右侧殆力中点的相对位置COF-X的变化也反映了双侧咬合的平衡性,COF-X越接近理想的殆力中心点的相对位置,双侧咬合越平衡^[19]。牙弓前后段的咬合力分布通常表现为后牙大于前牙,这样不仅有利于提高咬合效率,而且有利于咬合平衡^[12,18,20]。若前牙咬合力大于后牙,不仅影响咀嚼效率,而且还可能会损伤前牙的牙周组织,进而影响牙弓前后段的咬合平衡性。

本研究发现,导下颌向前结束后与正畸治疗前相比,牙弓左右侧相对殆力、殆接触面积的差值减小,正畸治疗结束时与导下颌向前结束后相比,牙弓左右侧相对殆力、殆接触面积的差值略增大,但是仍小于正畸治疗前,且更接近个别正常殆的牙弓左右侧相对殆力差值^[21],这说明青少年下颌后缩患者经导下颌向前治疗,双侧咬合的平衡性较正畸治疗前有所改善,且在正畸结束时仍保持着良好的咬合平衡性,初步分析可能与咬合功能、神经肌肉功能及髁突运动的对称性等因素有关。从咬合功能的角度来分析,正畸治疗前青少年下颌后缩患者左右侧殆力分布是不平衡的^[22],而经过隐形导下颌向前的功能矫治以及牙和牙列在3D方向的初步调整,

左右侧殆力分布较正畸治疗前会更平衡^[3]。从神经肌肉功能的角度来分析,既往的肌电研究显示安氏Ⅱ类患者双侧咀嚼肌收缩的程度不一致^[23],而双侧肌肉收缩的程度不一致会影响咬合的平衡性^[24],隐形矫治导下颌向前改变了青少年下颌后缩患者原有的神经肌肉功能习惯,新建立的咬合关系可能使双侧神经肌肉功能更协调平衡^[25-26]。从髁突运动对称性的角度分析,既往形态学研究发现安氏Ⅱ类患者左右侧下颌升支高度和下颌骨体部的长度存在差异性^[27],可能会对左右侧髁突的运动有影响,而髁突运动与下颌运动密切相关^[28-29],下颌运动可能会影响咬合功能,从而引起双侧咬合不平衡,而青少年下颌后缩患者经过导下颌向前的功能矫治,双侧颞下颌关节会发生适应性改建^[30],髁突与关节盘的关系更加协调,即下颌运动的功能会适应新的牙殆形态及咬合关系,下颌运动更趋于对称^[31],使双侧咬合更加平衡。

二、对患者隐形矫治前中后咬合稳定性变化的分析

咬合的平衡性会影响到咬合的稳定性^[32],咬合接触越广泛,咬合平衡性越好,咬合也越稳定。咬合的稳定性还受下颌运动、颞下颌关节和神经及肌肉等多种因素的影响^[33-35]。T-Scan咬合分析系统在记录咬合接触过程时,可通过引入时间参数来反映下颌运动过程中咬合的稳定性,正常殆一般从第1颗牙齿接触到最后1颗牙齿接触的咬合时间若超过0.2 s,会被认为存在早接触或殆干扰^[12],OT和DT值是用来评估下颌运动到不同殆位时的咬合时间,时间越长说明咬合越不稳定^[11],可能是因为存在殆干扰^[36-37]。

本研究发现,ICP时青少年下颌后缩患者在导下颌向前结束后与正畸治疗前相比,OT值减小,正畸结束时与导下颌向前结束后相比,OT值略增大,但仍小于正畸治疗前,正畸结束时OT值更接近安氏Ⅰ类个别正常殆^[11],这可能是由于该类患者在正畸治疗前的咬合关系可能存在早接触或殆干扰,进而影响咬合的稳定性^[22],而经过导下颌向前治疗,

由于髁突-关节盘关系的适应性改建和上下颌牙及牙列在三维方向的调整均有利于良好的尖窝咬合关系的建立,所以减少了早接触和咬合干扰,使咬合功能更稳定。

本研究还发现,青少年下颌后缩患者在导下颌向前结束后和正畸治疗结束时的前伸殆的DT值均较正畸治疗前减小,分析原因可能与下颌后缩患者在前伸运动时的切道斜度和髁道斜度存在异常有关^[38-39],二者不能协调配合,使下颌在进行功能运动的过程中产生咬合干扰^[38]、咬合分离时间延长。有研究表明,下颌后缩患者经过导下颌向前的功能矫治,髁突的后上方会发生骨改建^[40-41],前伸运动时髁道斜度会减小,接近个别正常殆的髁道斜度^[42];同时前牙覆殆覆盖明显改善,切道斜度相对正常,以上这些变化共同使下颌运动的髁道斜度和切道斜度的配合更加协调,减少了咬合干扰和咬合分离时间,咬合更趋于稳定;而青少年下颌后缩患者在导下颌治疗结束后和正畸结束时的侧方殆的DT值均较正畸治疗前减小,这种变化可能与下颌后缩患者在侧方殆时存在咬合干扰有关。既往研究发现这类患者的上颌牙弓宽度小于正常殆^[43],而上下颌牙弓的宽度不匹配可能会引起侧方运动时的殆干扰^[44],牙弓宽度窄还可能会影响咬合的稳定性^[45-46],在导下颌向前治疗后,随着上下牙弓水平向的扩展和牙列的排齐整平,患者侧向运动时的咬合干扰减少,所以导下颌向前治疗结束后与正畸治疗前相比,咬合分离时间减小;正畸治疗结束时咬合分离时间小于正畸治疗前,这可能是因为经正畸治疗,上下颌牙列已排齐整平,且后牙建立了良好的尖窝咬合关系,神经肌肉功能适应了新的牙殆形态及咬合关系,所以正畸治疗结束时咬合功能较正畸治疗前更稳定^[26]。

三、对患者隐形矫治前中后相对咬合力变化的分析

咬合力是指上下颌牙列在咬合接触过程中产生的力量,是咀嚼肌收缩的结果,一般而言咬合接触面积越大则咬合力越大^[47-48]。本研究针对的是相对咬合力大小的变化,主要是通过上下颌牙列咬合接触的面积来反映相对咬合力的情况,在导下颌向前结束后,NOC和AOC较正畸治疗前减小,在正畸结束时又增大,这可能是因为隐形功能矫治器通过咬合重建来协调牙颌关系,刺激下颌向前下生长,导下颌向前的殆垫设计使上下颌牙列咬合接触面

积迅速减小,因此在导下颌向前结束后相对咬合力较正畸治疗前减小。下颌殆位相对稳定后,设计逐步降低后牙殆垫,咬合逐步重建,咬合接触面积增大。隐形矫治器,是一种包裹式矫治器^[49]且该矫治器对上下颌牙列的包裹一直持续到治疗结束时,故正畸治疗结束时虽咬合接触面积较导下颌向前结束后增大,但是仍小于正畸治疗前,所以相对咬合力也小于正畸治疗前。既往关于在正畸治疗结束后保持阶段咬合接触的研究表明,患者佩戴热塑性压膜保持器后,后牙咬合接触点在治疗结束后的9个月内未发生显著增加,而在治疗结束后的2.5年左右,后牙咬合接触点显著增加,即佩戴热塑性压膜保持器之后,牙齿的生理性调整需要较长的时间^[50]。也有研究发现,正畸治疗结束后患者佩戴透明压膜保持器3个月后,在最大牙尖交错位时的咬合接触面积减小,其中后牙区咬合面积减小而前牙区增加^[51]。因此,对于使用隐形矫治器前导下颌正畸治疗结束的患者,可以考虑使用传统的哈雷保持器(Hawley retainer)进行保持,这样有利于缩短保持阶段牙齿生理性调整的时间,但因哈雷保持器与透明压膜保持器相比,较为影响美观和舒适度,所以患者一般会根据个人偏好进行选择。

综上所述,青少年下颌后缩患者在隐形矫治导下颌向前结束后和正畸治疗结束时,ICP及前伸、侧方殆时左右侧咬合的差异、咬合接触时间及咬合分离时间均较正畸治疗前减小,说明经过导下颌向前和正畸治疗,患者的咬合功能获得了一定程度的改善,咬合更趋向平衡、稳定。关于相对咬合力,导下颌向前结束后较正畸治疗前减小,在正畸结束时虽有所增大但仍小于正畸治疗前,说明正畸治疗结束后,牙齿的生理性调整需要较长的时间。在今后的工作中,本课题组将继续扩充研究样本量,延长病例的观察时间,同时配合更多的研究手段(如结合肌电研究),进一步探讨隐形功能矫治后咬合方面的相关变化。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 校华:实验设计、采集分析数据及文章撰写;张跃英、吴秋月:辅助数据分析及图表制作;蒋天鹭、何康萍、杜宇森、杨婧:样本收集及文章审阅;金作林:研究经费获取及文章指导;李王菲:实验设计、研究经费获取及文章指导

参 考 文 献

- [1] Alhammadi MS, Halboub E, Fayed MS, et al. Global distribution of malocclusion traits: A systematic review [J]. Dental Press J

- Orthod, 2018, 23(6):40.e1-40.e10. DOI: 10.1590/2177-6709.23.6.40.e1-10.onl.
- [2] English JD, Buschang PH, Throckmorton GS. Does malocclusion affect masticatory performance?[J]. *Angle Orthod*, 2002, 72(1): 21-27. DOI: 10.1043/0003-3219(2002)072<0021:DMAMP>2.0.CO;2.
- [3] 周力, 王艳民, 张澜, 等. 隐形功能矫治器矫治青少年Ⅱ类错殆畸形[J]. *华西口腔医学杂志*, 2019, 37(3): 236-241. DOI: 10.7518/hxkq.2019.03.002.
- [4] 张明欣, 马艳宁, 金作林. 隐形功能矫治在青少年骨性Ⅱ类下颌后缩患者治疗中的研究进展[J/OL]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2024, 18(1): 61-64. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.01.010.
- [5] Andrews WA. The straight - wire appliance: Individualization versus customization[J]. *J World Fed Orthod*, 2023, 12(4): 166-172. DOI: 10.1016/j.ejwf.2023.06.004.
- [6] Gera A, Gera S, Dalstra M, et al. Validity and reproducibility of the peer assessment rating index scored on digital models using a software compared with traditional manual scoring [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(8): 1646. DOI: 10.3390/jcm10081646.
- [7] Irsheid R, Godoy LDC, Kuo CL, et al. Comparative assessment of the clinical outcomes of clear aligners compared to fixed appliance in class II malocclusion[J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(8): 445. DOI: 10.1007/s00784-024-05827-8.
- [8] Chaikla K, Pumklin J, Piyapattamin T. Comparison of occlusal parameters between open bite and nonopen bite patients using the T-Scan III system: A pilot study [J]. *Eur J Dent*, 2022, 16(3): 656-662. DOI: 10.1055/s-0041-1739438.
- [9] 杨琪琦, 陈梦婷, 胡江天, 等. 隐形与固定矫治器治疗骨性Ⅰ类错殆畸形咬合变化的临床研究[J]. *昆明医科大学学报*, 2023, 44(12): 127-132. DOI: 10.12259/j.issn.2095-610X.S20231220.
- [10] McNamara JA Jr, Franchi L. The cervical vertebral maturation method: A user's guide [J]. *Angle Orthod*, 2018, 88(2): 133-143. DOI: 10.2319/111517-787.1.
- [11] Lee SM, Lee JW. Computerized occlusal analysis: Correlation with occlusal indexes to assess the outcome of orthodontic treatment or the severity of malocclusion [J]. *Korean J Orthod*, 2016, 46(1): 27-35. DOI: 10.4041/kjod.2016.46.1.27.
- [12] 胡志刚, 程辉, 郑明, 等. 正常殆牙尖交错位咬合平衡的定量研究[J]. *中华口腔医学杂志*, 2006, 41(10): 618-620. DOI: 10.3760/j.issn:1002-0098.2006.10.015.
- [13] 丁茜, 罗强, 李晓利, 等. 后牙种植单冠修复后局部咬合变化的四年前瞻性临床研究[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(3): 244-250. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20200519-00285.
- [14] Qadeer S, Özcan M, Edelhoff D, et al. Accuracy, reliability and clinical implications of static compared to quantifiable occlusal indicators[J]. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 2021, 29(3): 130-141. DOI: 10.1922/EJPRD_2202Qadeer12.
- [15] Chan H, Alimujiang A, Fong SI, et al. Use of T-Scan III in analyzing occlusal changes in molar fixed denture placement [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 264. DOI: 10.1186/s12903-024-04014-1.
- [16] Ruttitivapanich N, Tansalarak R, Palasuk J, et al. Correlation of bite force interpretation in maximal intercuspal position among patient, clinician, and T-Scan III system [J]. *Eur J Dent*, 2019, 13(3): 330-334. DOI: 10.1055/s-0039-1693755.
- [17] Ayuso-Montero R, Mariano-Hernandez Y, Khoury-Ribas L, et al. Reliability and validity of T-scan and 3D intraoral scanning for measuring the occlusal contact area [J]. *J Prosthodont*, 2020, 29(1): 19-25. DOI: 10.1111/jopr.13096.
- [18] 华咏梅, 牟福元, 金蕾. 正常殆者咬合功能的研究[J]. *现代口腔医学杂志*, 2007, 21(5): 468-470. DOI: 10.3969/j.issn.1003-7632.2007.05.007.
- [19] Al - Dboush RE, Al - Zawawi E, El - Bialy T. Do orthodontic treatments using fixed appliances and clear aligner achieve comparable quality of occlusal contacts? [J]. *Evid Based Dent*, 2022, 23(4): 160-161. DOI: 10.1038/s41432-022-0844-8.
- [20] Garib D, Miranda F, Massaro C. Normal occlusion in maturational life process [J]. *Dental Press J Orthod*, 2023, 27(6): e22spe6. DOI: 10.1590/2177-6709.27.6.e22spe6.
- [21] Yamada K, Hanada K, Sultana MH, et al. The relationship between frontal facial morphology and occlusal force in orthodontic patients with temporomandibular disorder [J]. *J Oral Rehabil*, 2000, 27(5): 413-421. DOI: 10.1046/j.1365-2842.2000.00531.x.
- [22] 冯欣华, 华咏梅. 安氏Ⅱ类1分类错殆患者正畸前后咬合功能的研究[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2010, 17(3): 136-139. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-5760.2010.09.004.
- [23] Ramsundar K, Rengalakshmi S, Venugopalan S, et al. Electromyographic assessment of the masseter and temporalis muscles in skeletal II malocclusion subjects with varying overjets: A pilot study [J]. *Cureus*, 2023, 15(9): e44645. DOI: 10.7759/cureus.44645.
- [24] Al - Dboush R, Al - Zawawi E, El - Bialy T. Does short - term treatment with clear aligner therapy induce changes in muscular activity? [J]. *Evid Based Dent*, 2024, 25(1): 6-8. DOI: 10.1038/s41432-023-00931-2.
- [25] Saini R, Batra P, Saini N, et al. Comparison of muscle response in patients treated with rigid and flexible fixed functional appliances [J]. *J Orthod Sci*, 2024, 13(1): 29. DOI: 10.4103/jos.jos_208_23.
- [26] Cuevas MJ, Cacho A, Alarcón JA, et al. Longitudinal evaluation of jaw muscle activity and mandibular kinematics in young patients with class II malocclusion treated with the Teuscher activator [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2013, 18(3): e497-e504. DOI: 10.4317/medoral.18610.
- [27] Tian SK, Dai N, Li LL, et al. Three - dimensional mandibular motion trajectory - tracking system based on BP neural network [J]. *Math Biosci Eng*, 2020, 17(5): 5709-5726. DOI: 10.3934/mbe.2020307.
- [28] Wu Q, Zhang Y, Xiao H, et al. Evaluation of mandibular motion in adolescents with skeletal class II division 1 malocclusion

- during mandibular advancement using clear functional aligners: A prospective study [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 320. DOI:10.1186/s12903-024-04082-3.
- [29] Tun Oo L, Miyamoto JJ, Takada JI, et al. Three-dimensional characteristics of temporomandibular joint morphology and condylar movement in patients with mandibular asymmetry [J]. *Prog Orthod*, 2022, 23(1):50. DOI:10.1186/s40510-022-00445-0.
- [30] Zhang Y, Zheng J, Wu Q, et al. Three-dimensional spatial analysis of temporomandibular joint in adolescent class II division 1 malocclusion patients: Comparison of Twin-Block and clear functional aligner [J]. *Head Face Med*, 2024, 20(1): 4. DOI: 10.1186/s13005-023-00404-y.
- [31] 吴秋月,张跃英,校华,等.青少年下颌后缩患者前导下颌治疗中髁突运动轨迹的特征[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2024, 31(2):72-77. DOI:10.3760/cma.j.cn115797-20231225-24203.
- [32] 赵志河. *口腔正畸学*[M]. 7版.北京:人民卫生出版社, 2020.
- [33] Skármeta NP. Occlusal stability and mandibular stability: The major part of dentistry we are still neglecting [J]. *Cranio*, 2017, 35(4):201-203. DOI:10.1080/08869634.2017.1329686.
- [34] Hugger S, Schindler HJ, Kordass B, et al. Surface EMG of the masticatory muscles (Part 3): Impact of changes to the dynamic occlusion [J]. *Int J Comput Dent*, 2013, 16(2):119-123.
- [35] Abe KI, Sakaguchi K, Mehta NR, et al. Effect of body posture on stability and balance of occlusal contacts [J]. *Cranio*, 2022;1-11. DOI:10.1080/08869634.2022.2119301.
- [36] Svedström-Oristo AL, Pietilä T, Pietilä I, et al. Occlusal status in orthodontically treated and untreated adolescents [J]. *Acta Odontol Scand*, 2003, 61(2): 123-128. DOI: 10.1080/00016350310002469.
- [37] Bowman E, Bowman P, Weir T, et al. Occlusal contacts and treatment with the Invisalign appliance: A retrospective analysis of predicted vs achieved outcomes [J]. *Angle Orthod*, 2023, 93(3):275-281. DOI:10.2319/102822-738.1.
- [38] 易新竹. *殆学*[M]. 3版.北京:人民卫生出版社, 2012.
- [39] 王晓宇,厉松.安氏II¹青少年髁突运动轨迹与颞下颌关节形态的研究[J]. *北京口腔医学*, 2011, 19(3): 164-166. DOI: 10.3969/j.issn.1006-673X.2011.03.013.
- [40] Zhang Y, Zheng X, Zhang Q, et al. Clinical finite element analysis of mandibular displacement model treated with Twin-block appliance [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2023, 164(3):395-405. DOI:10.1016/j.ajodo.2023.02.012.
- [41] Park JH, Lee Y, Mizutani K, et al. Class II division 1 adolescent treatment with Twin-block and fixed orthodontic appliances: 3-dimensional changes of the temporomandibular joint [J]. *J Clin Pediatr Dent*, 2022, 46(4):321-329. DOI:10.22514/1053-4625-46.4.10.
- [42] 张学军,白玉兴,杨晓江,等.安氏II类1分类错殆功能矫治前后患者髁突运动轨迹特征初探[J]. *中华口腔医学杂志*, 2007, 42(8):475-476. DOI:10.3760/j.issn:1002-0098.2007.08.008.
- [43] Shafique HZ, Zaheer R, Jan A, et al. Comparison of tooth widths, arch widths and arch lengths in class-I normal dentition to class-I and II crowded dentitions [J]. *Pak J Med Sci*, 2021, 37(2):345-350. DOI:10.12669/pjms.37.2.3240.
- [44] Tollaro I, Baccetti T, Franchi L, et al. Role of posterior transverse interarch discrepancy in class II, division 1 malocclusion during the mixed dentition phase [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1996, 110(4):417-422. DOI:10.1016/s0889-5406(96)70045-8.
- [45] Vanarsdall RL Jr. Transverse dimension and long-term stability [J]. *Semin Orthod*, 1999, 5(3): 171-180. DOI: 10.1016/s1073-8746(99)80008-5.
- [46] Zhang H, Guo D, Ma Y, et al. Comparison between basal arch width in normal occlusions and class II malocclusions by using cone-beam computed tomography [J]. *Heliyon*, 2024, 10(6): e28267. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e28267.
- [47] Kwon H, Park SH, Jung HI, et al. Comparison of the bite force and occlusal contact area of the deviated and non-deviated sides after intraoral vertical ramus osteotomy in skeletal class III patients with mandibular asymmetry: Two-year follow-up [J]. *Korean J Orthod*, 2022, 52(3): 172-181. DOI: 10.4041/kjod21.236.
- [48] Simões JCM, Garcia DM, Mello-Filho FVD, et al. Relationship between bite force, occlusal contact area, and three-dimensional facial soft tissue in dentofacial deformities [J]. *Codas*, 2024, 36(3):e20230203. DOI:10.1590/2317-1782/20242023203en.
- [49] 中华口腔医学会口腔正畸专业委员会. *口腔正畸无托槽隐形矫治技术指南(2021版)*[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(10):983-988. DOI:10.3760/cma.j.cn112144-20210709-00322.
- [50] Dinçer M, Isik Aslan B. Effects of thermoplastic retainers on occlusal contacts [J]. *Eur J Orthod*, 2010, 32(1): 6-10. DOI: 10.1093/ejo/ejp062.
- [51] 汝一雯,张卫兵.透明压膜保持器戴用前后咬合变化的T-scan分析[J]. *口腔医学*, 2020, 40(9): 820-824. DOI:10.13591/j.cnki.kqyx.2020.09.010.

(收稿日期:2024-11-14)

(本文编辑:王嫚)