

文章编号:1004-7220(2022)01-0148-07

不同牵引位点进行骨性支抗上颌前方牵引时 骨缝应力分布特征

王林娜, 胡晓颖, 刘洋, 葛晓磊, 赵力如, 刘春艳, 卢海燕, 马文盛

(河北医科大学口腔医学院·口腔医院 正畸科,河北省口腔医学重点实验室,河北省口腔疾病临床医学研究中心,石家庄 050017)

摘要:目的 分析不同牵引位点进行骨性支抗前牵引上颌时骨缝应力分布特征,以指导临床上患者选择合适的前方牵引位点。方法 建立包含种植体的儿童颅面三维有限元模型,根据种植体植入部位设定牵引位点,共分4种工况。工况1:乳侧切牙牙冠远中面远中2 mm与颈缘龈向5 mm交点处牙槽骨;工况2:第1乳磨牙牙冠近中面近中2 mm与颈缘龈向5 mm交点处牙槽骨;工况3:第1磨牙牙冠近中面近中2 mm与颈缘龈向5 mm交点处牙槽骨;工况4:第1磨牙牙冠远中面远中2 mm与颈缘龈向5 mm交点处牙槽骨。分析比较在不同牵引位点前牵引力(与合平面前下成角 30° ,500 g/侧)作用下各骨缝的应力分布。结果 额颌缝应力在工况2中最大(1 477~28 190 Pa),鼻颌缝应力在工况1中最大(5.296~924 Pa),颧颌缝应力在工况4中最大(394.7~13 130 Pa),颧额缝应力在工况4中最大(495.2~31 690 Pa),颧颞缝应力在工况3中最大(1 148~15 870 Pa),腭中缝应力在工况1中最大(6.479~730 Pa)。结论 当牵引位点置于乳侧切牙远中和第1乳磨牙近中时,对改善鼻根部凹陷明显的面容有积极意义。当牵引位点置于第1磨牙近中或远中时,对临床上改善上颌基骨部位凹陷有积极意义。

关键词:上颌前方牵引位点;种植体;骨缝;上颌骨

中图分类号:R 318.01 文献标志码:A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.01.023

Influences of Stress Distribution on Bone-Anchored Maxillary Protraction at Different Protraction Sites

WANG Linna, HU Xiaoying, LIU Yang, GE Xiaolei, ZHAO Liru, LIU Chunyan, LU Haiyan, MA Wensheng

(Hebei Clinical Research Center for Oral Diseases, Hebei Key Laboratory of Stomatology, Department of Orthodontics, School and Hospital of Stomatology, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, China)

Abstract: Objective To evaluate the influence of stress distributions on bone-anchored maxillary protraction at different protraction sites, so as to guide patients to choose an optimal protraction site in clinic. **Methods** A three-dimensional (3D) finite element model of child head with implant anchorages was established. Four protraction sites were set according to the position of implant installation. Working condition 1: the alveolar bone at the intersection of distal 2 mm of primary lateral incisor crown distal surface and gingival cervical margin to 5 mm. Working condition 2: the alveolar bone at the intersection of mesial 2 mm of maxillary first primary molar crown mesial surface and gingival cervical margin to 5 mm. Working condition 3: the alveolar bone at the intersection of

收稿日期:2020-11-03;修回日期:2021-03-15

基金项目:河北省政府资助临床医学优秀人才培养项目(MXZB00263, MXZB00145),河北省卫生计生委医学科学研究重点课题计划(20180606)

通信作者:马文盛,主任医师,E-mail:wsma02@sina.com

mesial 2 mm of maxillary first molar crown mesial surface and gingival cervical margin to 5 mm. Working condition 4: the alveolar bone at the intersection of distal 2 mm of maxillary first molar crown distal surface and gingival cervical margin to 5 mm. The finite element models were loaded with 500 g protraction force at each side with 30° forward direction to the occlusal plane. Stress distributions on each suture were analysed. **Results** The maximum stress of frontomaxillary suture was in working condition 2 (1 477-28 190 Pa). The maximum stress of nasomaxillary suture was in working condition 1 (5.296-924 Pa). The maximum stress of zygomaticomaxillary suture was in working condition 4 (394.7-13 130 Pa). The maximum stress of zygomaticofrontalis suture was in working condition 4 (495.2-31 690 Pa). The maximum stress of zygomaticotemporal suture was in working condition 3 (1 148-15 870 Pa). The maximum stress of medianpalatine suture was in working condition 1 (6.479-730 Pa). **Conclusions** When the protraction sites are set in distal maxillary primary lateral incisor and mesial maxillary first primary molar, it is of positive significance to improve the concave profile, especially in nose root. When the protraction sites are set in mesial or distal maxillary first molar, it is of positive significance to improve the concave profile, especially in maxillary basal bone of the midface.

Key words: maxillary protraction site; implant; craniofacial sutures; maxilla

利用骨性支抗进行前方牵引是治疗青少年骨性Ⅲ类错合畸形的有效方法。其生物力学原理是将牵引力直接传递至上颌骨及其周围骨缝,从而刺激骨缝的扩展和骨质的沉积,力求达到没有或更少牙齿代偿的骨性效果。以往关于骨性支抗前方牵引的研究多集中在牵引力大小和方向方面,而关于牵引位点的研究相对较少。近年来,随着三维有限元分析方法和种植支抗技术在口腔正畸领域的不断应用,一些学者在临床选择上颌侧切牙与尖牙牙根之间或上颌两侧颧牙槽嵴下方作为牵引位点,但位点选择较为局限^[1-3]。究竟牵引位点置于何处才能最大限度刺激骨缝的生长,目前尚无明确结论。本文采用三维有限元分析方法设置不同的种植体牵引位点,在相同角度、相同牵引力条件下进行骨性支抗前方牵引,分析上颌各骨缝应力分布特征,以期更好地指导临床。

1 材料与方法

1.1 包含种植体的颅面三维有限元模型建立

选择1例8岁男性尸体头颅标本,颅面骨骼无重大疾病及畸形。替牙合,牙列式16、55、54、53、52、11、21、62、63、64、65、26。通过螺旋CT扫描获得头颅二维图像原始DICOM数据,利用Mimics 10.0生成颅面骨骼、骨缝、牙齿和种植体三维模型,再通过逆向工程软件Geomagic 9.0生成相应实体模型,并导入ABAQUS 12.0中设置模型网格单元参数,最终建立包含种植体的颅面三维有限元

模型。该模型共划分657 594个单元和990 460个节点,具有较高的几何相似性和正确性。

1.2 建模中相关参数设定

1.2.1 边界条件及接触关系设定 材料参数设定参考文献[4]。在模型枕骨大孔周围所有节点施加位移边界条件,进行X、Y、Z三向平移和旋转约束。各相邻骨块、牙与牙槽骨、骨缝与骨、种植体与骨之间的表面均采用绑定约束,保证在加载过程中各部分紧密接触,在牵引载荷作用下不发生相对滑动。

1.2.2 牵引载荷设定 F_1 、 F_2 、 F_3 载荷加载位置分别为种植体、眉弓上1 cm位置处额骨表面、颧下颌关节窝(见图1)。各载荷满足如下方程组:

$$F_2a + F_{3x}b - F_{1x}c = 0$$

$$F_{3y}d - F_{1y}e = 0$$

$$F_{1x} = F_1 \cos\theta$$

$$F_{1y} = F_1 \sin\theta$$

$$F_{3x} = F_3 \cos\theta$$

$$F_{3y} = F_3 \sin\theta$$

式中: $F_1 = 500$ g, $F_2 = 250$ g, $F_3 = 250$ g; $F_{1x} = 4.33$ g, $F_{1y} = 2.5$ g, $F_{3x} = 2.165$ g, $F_{3y} = 1.25$ g。

1.2.3 种植体位置设定 根据临床常用的种植体植入部位设定牵引位点,将种植体分别装配到已建立完成的颅面三维有限元模型上(见图2)。共分4种工况,各工况均采用载荷500 g/侧,与功能合平面前下成角30°。工况1装配点:乳侧切牙牙冠远中面远中2 mm与颈缘龈向5 mm交点处牙槽骨;工况2装配点:第1乳磨牙牙冠近中面近中2 mm与

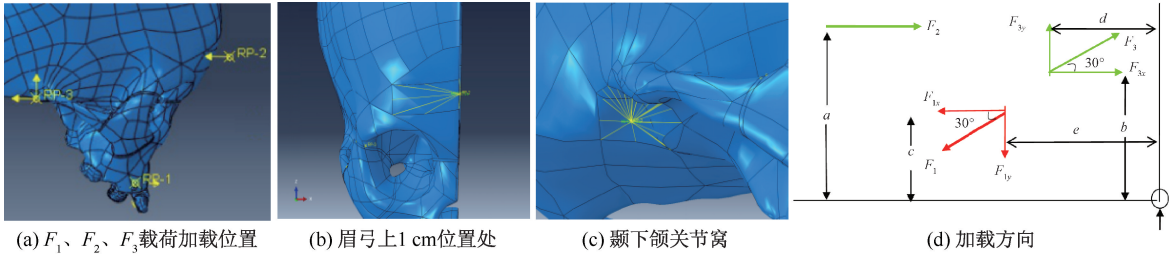


图1 载荷加载位置和方向示意图

Fig.1 Diagram of loading position and loading direction (a) Positions of F_1 , F_2 and F_3 , (b) 1 cm over the superciliary arch, (c) Temporomandibular fossa, (d) Loading direction

颈缘龈向 5 mm 交点处牙槽骨;工况 3 装配点:第 1 磨牙牙冠近中面近中 2 mm 与颈缘龈向 5 mm 交点处牙槽骨;工况 4 装配点:第 1 磨牙牙冠远中面远中 2 mm 与颈缘龈向 5 mm 交点处牙槽骨。

1.3 分析指标

研究 4 种工况下颅面各骨缝的应力分布情况,记录 von Mises 等效应力并绘制应力分布云图。

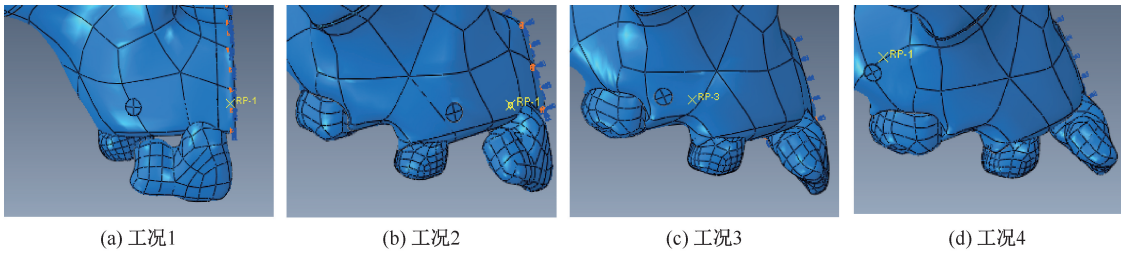


图2 种植体装配点

Fig.2 Positions of implant installation (a) Working condition 1, (b) Working condition 2, (c) Working condition 3, (d) Working condition 4

2 实验结果

利用 ABAQUS 12.0 有限元分析软件进行求解运算,获得不同牵引位点下各骨缝应力分布(见表 1)。

2.1 额颌缝、鼻颌缝应力分布

额颌缝的应力分布以前中 2/3 部分较为集中,最大应力均体现在该骨缝前缘。在工况 2 中,额颌缝应力最大,应力范围为 1 477 ~ 28 190 Pa [见

图 3(a)]。

在工况 1、2 中,鼻颌缝应力主要集中于上缘和后下缘;在工况 3、4 中,应力分布较为均匀。但在 4 种工况下,最大应力均集中于该骨缝的上缘。鼻颌缝应力在工况 1 中最大,应力范围为 5.296 ~ 924 Pa [见图 3(b)]。

2.2 颞颌缝、颞额缝应力分布

在工况 1、2 中,颞颌缝应力主要集中于前缘,但

表 1 不同牵引位点下各骨缝应力

Tab.1 Stress of each suture at different protraction sites

骨缝	工况 1		工况 2		工况 3		工况 4	
	最大应力/Pa	最小应力/Pa	最大应力/Pa	最小应力/Pa	最大应力/Pa	最小应力/Pa	最大应力/Pa	最小应力/Pa
额颌缝	25 510	2 193	28 190	1 477	26 040	435.3	23 700	457.9
鼻颌缝	924	5.296	721.2	3.913	605.2	4.108	546.3	6.172
颞颌缝	8 388	2 940	8 420	348.1	11 100	255.5	13 130	394.70
颞额缝	13 230	262	16 740	556.1	29 490	775.8	31 690	495.2
颞颞缝	5 769	452.4	9 126	765.5	15 870	1 148	13 670	1 129
腭中缝	730	6.479	416	4.320	303.5	0.447 5	233.9	1.648

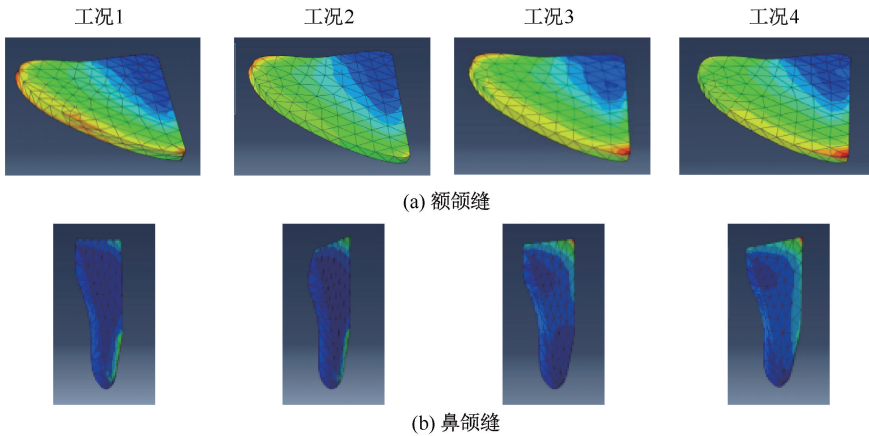


图3 额颌缝与鼻颌缝在不同工况下应力分布

Fig.3 Stress distributions of frontomaxillary suture and nasomaxillary suture under different working conditions (a) Frontomaxillary suture, (b) Nasomaxillary suture

工况1中范围较大;在工况3中,主要集中于后下部分;在工况4中,主要集中于后缘,且分布较为均匀。颧颌缝的应力在工况4中最大,应力范围为394.7~13 130 Pa[见图4(a)]。

颧额缝应力主要集中于骨缝边缘,在工况1、2中比工况3、4中范围稍大,在工况3、4中分布相对均匀。颧额缝的应力在工况4中最大,应力范围为495.2~31 690 Pa[见图4(b)]。

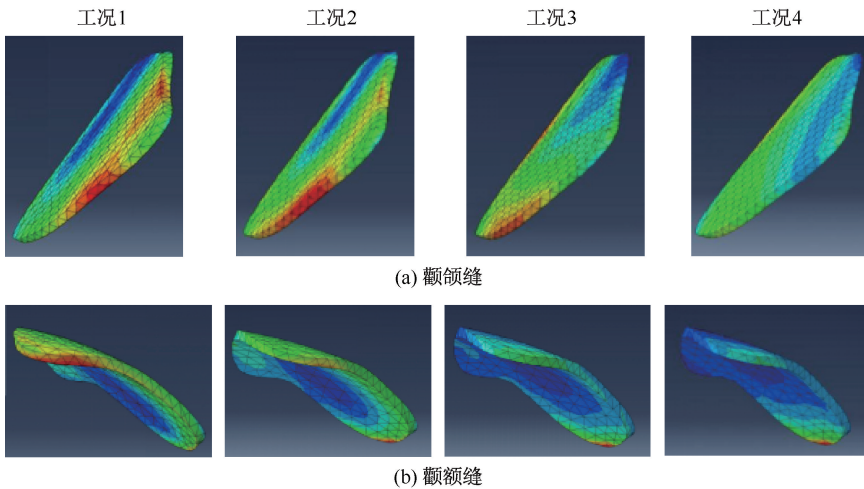


图4 颧颌缝与颧额缝不同工况下应力分布

Fig.4 Stress distributions of zygomaticomaxillary suture and zygomaticofrontalis suture under different working conditions (a) Zygomaticomaxillary Suture, (b) Zygomaticofrontalis Suture

2.3 颧颞缝、腭中缝应力分布

颧颞缝应力分布主要集中于下缘和外侧缘,其中下缘处应力最大。该骨缝在工况3中应力最大,为1 148~15 870 Pa;在工况4中应力次之,为1 129~13 670 Pa[见图5(a)]。

4种工况下腭中缝应力分布较为均匀,在工况1中应力最大,为6.479~730 Pa,但相较于其他

骨缝偏小[见图5(b)]。

3 讨论

3.1 模型建立的生物学基础

骨缝是颅颌面赖以生长发育的组织,而且也是应力敏感的组织,骨缝间新骨的沉积对颅面发育至关重要^[5-6]。在骨缝选择上,本文选取目前明确和

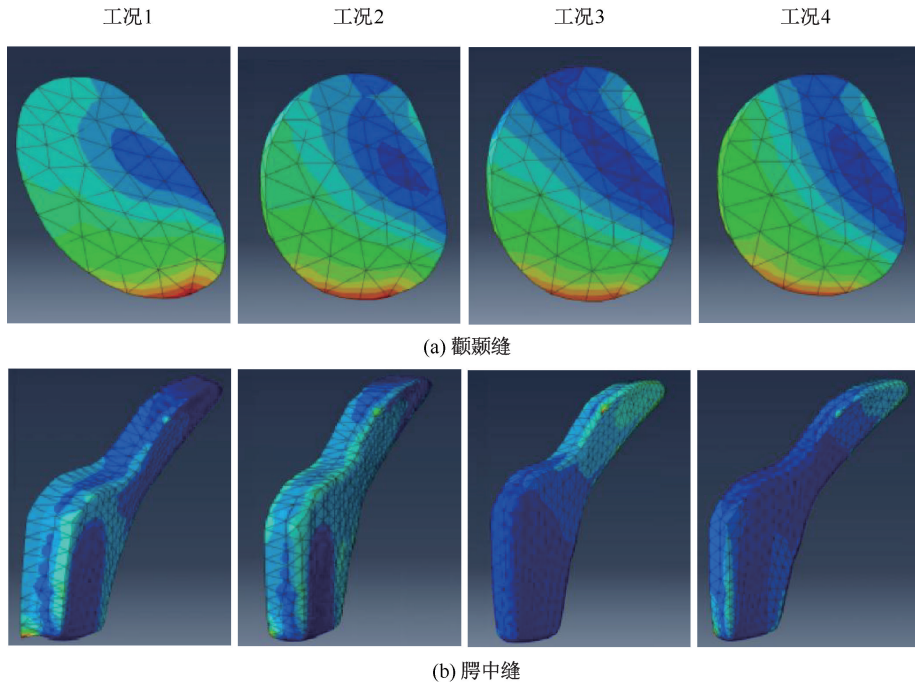


图5 颧颞缝与腭中缝不同工况下应力分布

Fig.5 Stress distribution of zygomaticotemporal suture and medianpalatine suture under different working conditions (a) Zygomaticotemporal suture, (b) Medianpalatine suture

上颌发育有关的额颌缝、鼻颌缝、颧颌缝、颧额缝、颧颞缝。有研究认为,腭部扩弓可松解上颌骨与相邻各骨块的连接,并激发上颌骨缝区的细胞反应,有利于前方牵引的矫正效果^[7]。因此,本文在设计上模拟腭中缝打开的情况(腭中缝弹性模量7.03 MPa,泊松比0.33),消除因前牵引力内向分力导致腭部压缩变窄的因素,从而使各骨缝在最大程度上得到牵拉^[8-9]。

目前公认的前方牵引最佳矫治年龄为8~11岁,此类儿童属于替牙期,上颌中切牙、侧切牙、第1磨牙基本萌出,而尖牙和前磨牙未替换或正在替换^[10]。本文模型包含上颌中切牙、乳侧切牙、第1乳磨牙、第1磨牙,共8颗牙齿,故在牙齿选择上更贴近临床实际。

3.2 种植体的设定及植入部位

周彦恒等^[11]研究认为,种植体直径3 mm、螺纹角度60°、植入深度为颌骨内7 mm时,种植体稳定性最好,最适合前方牵引。因此,本文定义种植体植入段直径3.0 mm,长度7.0 mm,垂直于骨面装配到已建立完成的颌面三维有限元模型中。

正畸临床上利用种植体前方牵引治疗骨

性Ⅲ类错合时,对于种植体的植入部位选择较多,但是究竟植入何处才能最大限度刺激骨缝的生长,目前尚无明确结论。Enacar等^[12]尝试将种植体植于上颌骨侧切牙与尖牙牙根之间,利用牵引钩或钢丝环与面弓进行前方牵引。但由于植入部位接近上前牙根尖区,易伤及前牙牙根,且前牙区骨质薄,临床应用受到限制。有学者分别在上颌两侧颧牙槽嵴下方和下颌两侧的侧切牙与尖牙根尖下区植入钛板种植体,以下颌骨作为支抗,利用Ⅲ类颌间牵引进行前方牵引矫治^[1,3]。林锦荣^[13]在锥形束计算机断层(cone beam computed tomography, CBCT)扫描测量中发现,上颌骨颧牙槽嵴区的骨皮质较厚,认为颧牙槽嵴区是种植体植入的理想部位。罗晨等^[14]通过建立三维有限元模型,将种植体置于上颌颧牙槽嵴区(第1、2磨牙牙根上方6 mm处)和前牙区(双侧乳侧切牙与尖牙牙根上方6 mm处)。

本文在植入部位选择上,自近中向远中分别选取4个标志点,从牵引位点的不同来探讨骨性支抗前方牵引对骨性Ⅲ类错合的影响,所选择的植入位置更贴近临床,且不会伤及牙根。此设计包含临床

常用的前牙区部位,即上颌乳侧切牙与尖牙牙根之间,第1磨牙远中牙槽骨部位也较贴近上颌颧牙槽嵴区,并且增加两个部位,可以更好分析在相同角度、相同牵引力情况下,牵引位点自近中向远中变化时的应力分布特征。

3.3 加载工况

多数学者认为,前牵引力方向为与合平面前下成角 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的某前方牵引角度上,牵引力线可能恰好通过阻抗中心^[15-16]。在前方牵引矫治过程中,临床牵引力为2.94~9.8 N/侧,最常用牵引力为4.9 N/侧。牵引力过大,容易造成牙和骨骼的不等量吸收;牵引力过小,则起不到刺激骨缝生长的矫治效果^[17]。因此,本研究中,前牵引力方向为与合平面前下成角 $30^{\circ}(-30^{\circ})$,牵引力采用500 g/侧(4.9 N/侧)。本文旨在探讨不同牵引位点时骨缝的应力分布特征,故各工况的前提是要保证牵引角度一致,牵引力一致,只有牵引位点为唯一变量。本文共设置4种工况,通过种植体植入位置的变换,研究前牵引位点自近中向远中变化时应力的分布趋势。前牵作用力直接加载于种植体上,可以将牵引力直接传递至上颌骨及其周围骨缝,力求达到没有或更少牙齿代偿的骨性效果。

3.4 各骨缝的应力分布特征

本文结果显示,随着牵引位点从近中向远中移动,与上颌骨发育密切相关的几条骨缝均有应力分布,且应力分布并不均匀,这可能与骨缝的走形和各个骨块的形状不规则有关。

鼻额-额颌缝对儿童面中1/3的生长发育起着重要作用。当牵引位点置于乳侧切牙远中和第1乳磨牙近中时,额颌缝应力最大,应力主要集中于前缘分布,鼻颌缝应力主要集中于此骨缝的上缘,即鼻根部,骨缝受到牵拉继而促进鼻根部、鼻梁周围、鼻翼外侧部新骨沉积,这对改善面中1/3的上1/2凹陷有积极意义。本文结果提示,对于鼻根部凹陷明显的患者前方牵引的部位尽量设计在近中。

当牵引位点置于第1磨牙近中或远中时,颧额缝应力最大,主要集中于前缘分布,颧颞缝应力也相对较大,颅面应力范围主要集中于鼻背两侧和鼻翼外侧部。Kokich等^[18]研究发现,前方牵引时,颧颞缝的改建活动较为活跃;而本文结果表明,应力集中于颧额缝和颧颞缝,推测与两个方面有关:

① 种植体植入在第1磨牙近中或远中,施加载荷点临近颧额缝和颧颞缝,故受到牵引力较大,牵张效果较好。② 颧颞缝骨缝形态为垂直型,较为狭长,相较于其他骨缝,牵引时受到的拉应力更多。因此,将牵引位点置于第1磨牙近中或远中时,对于临床上改善上颌基骨部位凹陷有积极意义。

4 结论

本文结果对临床上患者选择前方牵引位点具有参考价值,即当牵引位点置于乳侧切牙远中和第1乳磨牙近中时,对改善鼻根部凹陷明显的面容有积极意义。当牵引位点置于第1磨牙近中或远中时,对临床上改善上颌基骨部位凹陷有积极意义。

参考文献:

- [1] BACCETTI T, DE CLERCK HJ, CEVIDANES LH, et al. Morphometric analysis of treatment effects of bone-anchored maxillary protraction in growing class III patients [J]. *Eur J Orthod*, 2011, 33(2): 121-125.
- [2] SOUZA RA, RINO NETO J, PAIVA JB. Maxillary protraction with rapid maxillary expansion and facemask versus skeletal anchorage with mini-implants in class III patients: A non-randomized clinical trial [J]. *Prog Orthod*, 2019, 20(1): 35.
- [3] ESENLİKA E, AĞLARCB C, ALBAYRAKA GE, et al. Maxillary protraction using skeletal anchorage and intermaxillary elastics in skeletal class III patients [J]. *Korean J Orthod*, 2015, 45(2): 95-101.
- [4] 胡晓颖,董福生,张铁军,等. 包含骨缝的儿童颅面三维有限元模型的建立及前牵引应力分析初探[J]. *中华口腔医学杂志*, 2013, 48(10): 600-605.
- [5] GHONEIMA A, ABDEL-FATTAH E, HARTSFIELD J, et al. Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2011, 140(4): 510-519.
- [6] HOLBERG C, MAHAINI L, RUDZKI I. Analysis of sutural strain in maxillary protraction therapy [J]. *Angle Orthod*, 2007, 75(4): 586-94.
- [7] GAUTAM P, VALIATHAN A, ADHIKARI R. Skeletal response to maxillary protraction with and without maxillary expansion: A finite element study [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2009, 135(6): 723-728.
- [8] GAUTAM P, VALIATHAN A, ADHIKARI R. Maxillary protraction with and without maxillary expansion: A finite element analysis of sutural stresses [J]. *Am J Orthod*

- Dentofacial Orthop, 2009, 136(3): 362-366.
- [9] GAUTAM P, VALIATHAN A, ADHIKARI R. Skeletal response to maxillary protraction with and without maxillary expansion: A finite element study [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009, 135(6): 723-728.
- [10] BACCETTI T, FRANCHI L, NAMARA JA. Treatment and post-treatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2000, 118(4): 404-413.
- [11] 周彦恒, 丁鹏, 林野. 钛板种植体上颌前方牵引治疗的初步研究[J]. 口腔正畸, 2007, 14(3): 102-105.
- [12] ENACAR A, GIRAY B, PEHLIVANOGLU M, *et al.* Facemask therapy with rigid anchorage in a patient with maxillary hypoplasia and sever oligodontia [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2003, 123(5): 571-577.
- [13] 林锦荣. 一种新的种植体支抗技术在临床中的应用[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2009, 16(1): 38-44.
- [14] 罗晨, 秦晓中, 曾照斌. 不同部位植入微种植钉进行前方牵引时上颌骨旋转趋势[J]. 医用生物力学, 2015, 30(1): 38-42.
- LUO C, QIN XZ, ZENG ZB, *et al.* Rotation trend of maxillary complex with mini-implant assisted protraction in different maxillary positions [J]. J Med Biomech, 2015, 30(1): 38-42.
- [15] 张国华, 蔡中, 陆群, 等. 前牵引上颌的三维有限元研究: 前牵引方向的探讨[J]. 医用生物力学, 2000, 15(4): 208-211.
- ZHANG GH, CAI Z, LU Q, *et al.* Three-dimensional finite element method study on the maxillary protraction: The direction of the protraction [J]. J Med Biomech, 2000, 15(4): 208-211.
- [16] MOON WUK, MACGINNIS M, MACHADO A. The efficacy of maxillary protraction protocols with the micro-implant-assisted rapid palatal expander (MARPE) and the novel N2 mini-implant-A finite element study [J]. Prog Orthod, 2015, 16(1): 1-14.
- [17] YEPES E, QUINTERO P, RUEDA ZV, *et al.* Optimal force for maxillary protraction facemask therapy in the early treatment of class III malocclusion [J]. Eur J Orthod, 2014, 36(5): 586-594.
- [18] KOKICH VG, SHAPIRO PA, OSWALD R, *et al.* Ankylosed teeth as abutments for maxillary protraction: A case report [J]. Am J Orthod, 1985, 88(4): 303-307.

(上接第 147 页)

- [11] 高景华, 林志义, 程灏, 等. 摇拨截手法改善急性外踝扭伤患者功能障碍的疗效观察[J]. 中国中医骨伤科志, 2013, 21(12): 14-16.
- [12] 李建国, 高春雨, 冯敏山, 等. 运动捕捉摇拨截手法治疗踝扭伤运动轨迹相关问题研究[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2018, 26(9): 19-22.
- [13] 吴谦. 医宗金鉴[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1957.
- [14] 王玮, 王冬梅, 李飞跃, 等. 伤科手法治疗腰椎间盘突出症的运动学研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2016, 35(5): 541-547.
- [15] 李建国. 摇拨截手法治疗外侧踝关节扭伤的量化研究及影响因素分析[D]. 北京: 中国中医科学院, 2019.
- [16] GRIMSTON SK, NIGG BM, HANLEY DA, *et al.* Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age [J]. Foot Ankle Int, 1993, 14(4): 215-222.
- [17] 郭世斌. 骨科临床解剖学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2001: 1056.