

三类错颌前牵引角度及其反作用力的探究

董瑞^{1,2,3*}, 周芹^{2,3,4}, 张君^{1,2,3#}

¹山东大学齐鲁医学院口腔医学院·口腔医院正畸科, 山东 济南

²山东省口腔组织再生重点实验室, 山东 济南

³山东省口腔生物材料与组织再生工程实验室, 山东 济南

⁴山东大学齐鲁医学院口腔医学院·口腔医院特诊科, 山东 济南

Email: 453876572@qq.com, #zhangj@sdu.edu.cn

收稿日期: 2021年7月26日; 录用日期: 2021年8月24日; 发布日期: 2021年8月31日

摘要

目的: 建立并使用颅颌面三维有限元模型, 分析前牵引37°牵引方向反作用力在颌骨和颞下颌关节的应力及位移分布情况, 为正畸临床更好地治疗骨性111类错牙合, 避免对颞下颌关节的损伤提供实验依据。方法: 建立完整的颅颌面三维有限元模型, 模拟前牵引矫治器反作用力, 直接在颞部施以一定大小的力并施力, 测定颌骨和颞下颌关节应力及位移变化。结果: 1、应力方面: 模型产生较明显应力部位有加载部位、上颌项固定部位以及接触部位。下颌最大应力出现在节点力加载部位颞部, 上颌最大应力出现在刚性固定面, 上下颌接触部位如关节窝, 髁突头、颈部应力集中也较为明显。2、位移方面: 以一定力值不同角度施加节点力后, 该模型产生微小的位移变化, 位移最大部位产生在加载部位, 下颌骨位移由颞部到升支部逐渐减小。结论: 1、颅颌面三维有限元模型成功建立; 2、前牵引矫治器在牵引上颌向前的同时, 确实对颌骨及颞下颌关节区产生反作用力, 如下颌的后下旋转, 颞部的应力变形等, 因此临床上在保证上颌牵引效果的同时, 要考虑将其不利的反作用力降到最低; 3、前牵引矫治作用于颞部的反作用力角度37°时应力值和位移值相对较小, 更利于关节组织的健康, 为临床前牵引角度的选择提供一定的参考依据。

关键词

前牵引, 方向, 反作用力, 三维有限元

A Study on the Influence of Reactive Force of Protraction Direction

Rui Dong^{1,2,3*}, Qin Zhou^{2,3,4}, Jun Zhang^{1,2,3#}

¹Department of Orthodontics, School and Hospital of Stomatology, Cheeloo Medical College of Medicine, Shandong University, Jinan Shandong

²Shandong Key Laboratory of Oral Tissue Regeneration, Jinan Shandong

³Shandong Engineering Laboratory for Dental Materials and Oral Tissue Regeneration, Jinan Shandong

⁴Department of Special Clinic, School and Hospital of Stomatology, Cheeloo Medical College of Medicine,

*第一作者。

#通讯作者。

Shandong University, Jinan Shandong
Email: 453876572@qq.com, #zhangj@sdu.edu.cn

Received: Jul. 26th, 2021; accepted: Aug. 24th, 2021; published: Aug. 31st, 2021

Abstract

OBJECTIVE: To offer a scientific basis on treating Class 111 malocclusion more well and avoiding injuring TMJ by establishing and using three-dimensional finite element model (FEM) of Craniomaxillofacial Complex, analyze the influence on Temporomandibular joint (TMJ) of reactive force of different protraction direction. **METHODS:** Establish a complete three-dimensional (3-D) finite element model which includes TMJ, imitate the force pattern of maxillary protraction, exert a given force on chin and change the protraction direction. The displacement and stress distribution in the TMJ were analyzed. **RESULTS:** 1. Stress distribution: the biggest stress points appeared in the loading position after loading nodal force from different points of view. 2. Displacement: In a certain angle on the nodal force, the model produces tiny displacement change. The largest position displacement produced in loading part, mandible displacement decrease from front to rear gradually. When the nodal force and angle change, the nodal displacement increases with the nodal force increases, decreases with the increase of the angle. **CONCLUSIONS:** 1) The mandible rotates clockwise in the process of protraction; 2) 37° is the right angle, not only making the maxillary translation but also protecting the TMJ.

Keywords

TMJ, Protraction, Reactive Force, Three-Dimensional (3-D) Finite Element

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

如上述病例所示, 安氏 111 类错牙合, 尤其是前牙反牙合, 是口腔临床中常见的一种发育畸形, 它对患者造成的影响主要表现在以下几个方面: 容貌外观、功能及心理健康等。有研究表明约半数以上的 111 类错牙合畸形都伴有程度不一的上颌骨发育不足[1]。并且如果不及时采取有效的治疗措施, 随着时间的推移, 症状有不断加重的趋势[2] [3]。对于上颌发育不足的 111 类错牙合畸形最好的治疗方法为促进上颌骨的发育, 从而起到改善面型、简化甚至避免成年后正颌外科手术的效果。前方牵引是临床上常用的促进上颌发育的最有效的方法之一[4]。临床上最常用的牵引角度为与牙合平面成前下 37°。因为有研究表明与牙合平面成前下 37°的牵引角度能达到上颌骨平动的效果。那么在此牵引角度下对颌骨及关节区的反作用力如何呢? 本文拟通过建立完整的颅颌面模型, 采用三维有限元的方法, 模拟前方牵引矫治器的加力模式, 为正畸临床更好地治疗 111 类错牙合提供一定实验依据。

2. 材料与方法

2.1. 建立颅颌面三维有限元模型

a、建模素材

选择 1 名健康(男性青年)作为模拟对象,对其头部进行 CT 扫描,获取用于建立三维有限元模型的相关资料。

b、螺旋 CT 扫描

志愿者保持仰卧位不动,使用西门子公司生产的 SOMATOM Balance 螺旋 CT 机,垂直于面部纵轴自颅骨上方至下进行扫描,然后将图像数据以 DCM 格式存储,并将其直接传入计算机中。

c、图像处理

打开 Mimics,选择 File→Import,将直接以 DICOM3.0 医学数字图像通讯标准存储的一系列二维 CT 图像文件导入该软件,然后利用 Mimics10.01、Magics12.01、MSC.Marc 等软件建立起颅面骨骼的三维有限元模型。

如图 1 所示:

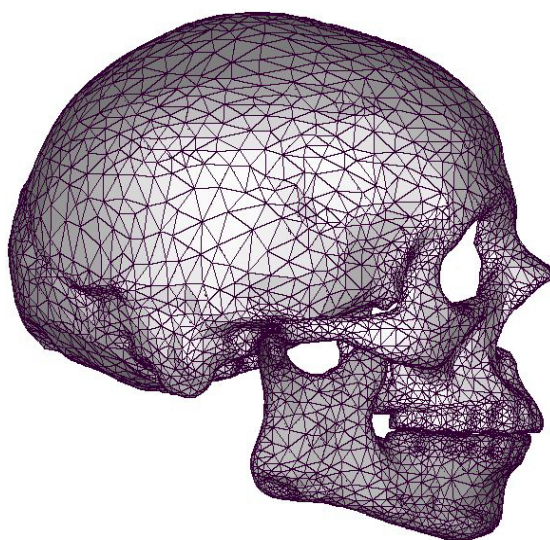


Figure 1. Craniofacial 3D finite element model

图 1. 建立的三维有限元模型

2.2. 分析条件假设

- 1) 模型材料和组织假设为各向同性的连续、均质的线弹性材料。
- 2) 材料受力变形为小变形。
- 3) 假设放松状态下,下颌骨在水平向、垂直向、内外向肌力以及重力达到平衡状态,所以在分析中可以省略咀嚼肌、韧带及重力对下颌骨的影响。

2.3. 边界条件施加

固定对称面所有节点 Z 方向的位移,利用 face foundation 命令在颅骨顶端选取一些网格面定义其刚度为 1000。

2.4. 有限元分析方法

采用美国 Ansys 公司的 Ansys10.0 有限元分析软件进行有限元分析[5] [6]。

2.5. 加载方式

在已建立的颅颌面三维结构模型上,模拟前牵引作用于颈部的反作用力,在颈部施加 5 N 集中力,施力方向与牙合平面成后上方 37°。加载情况图 2 所示:

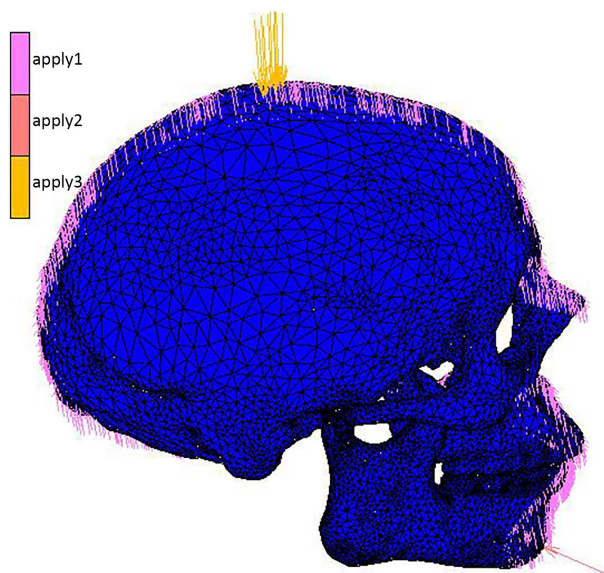


Figure 2. Loading condition
图 2. 加载情况

2.6. 观测分析指标

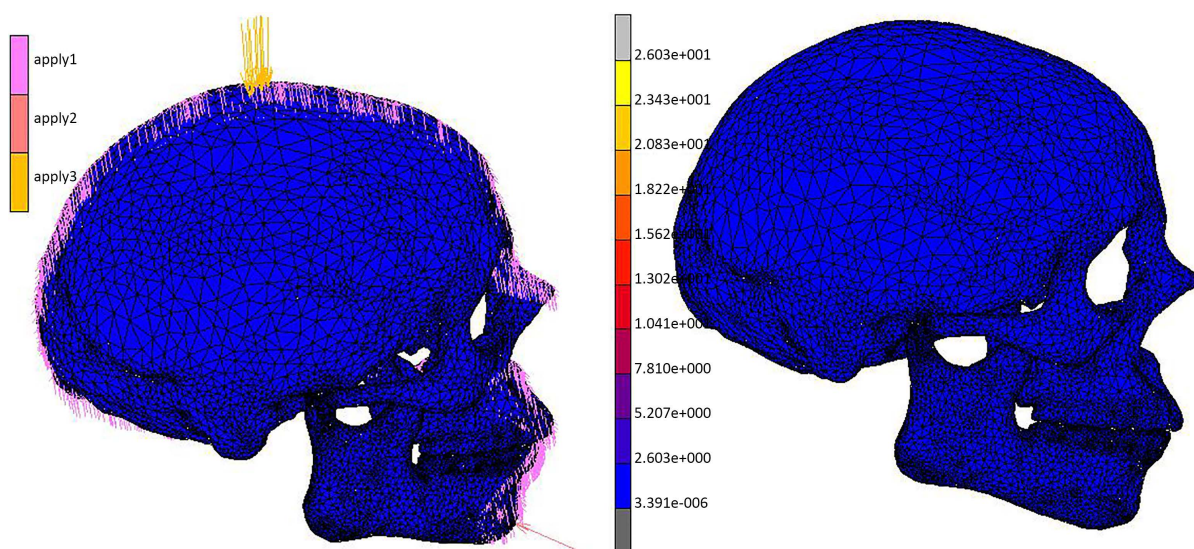
应力：第四强度理论的等效应力(von Mises) [6] [7]。

位移：矢状向或前后向(X 向)，垂直向(Y 向)，水平向或左右向(Z 向)。

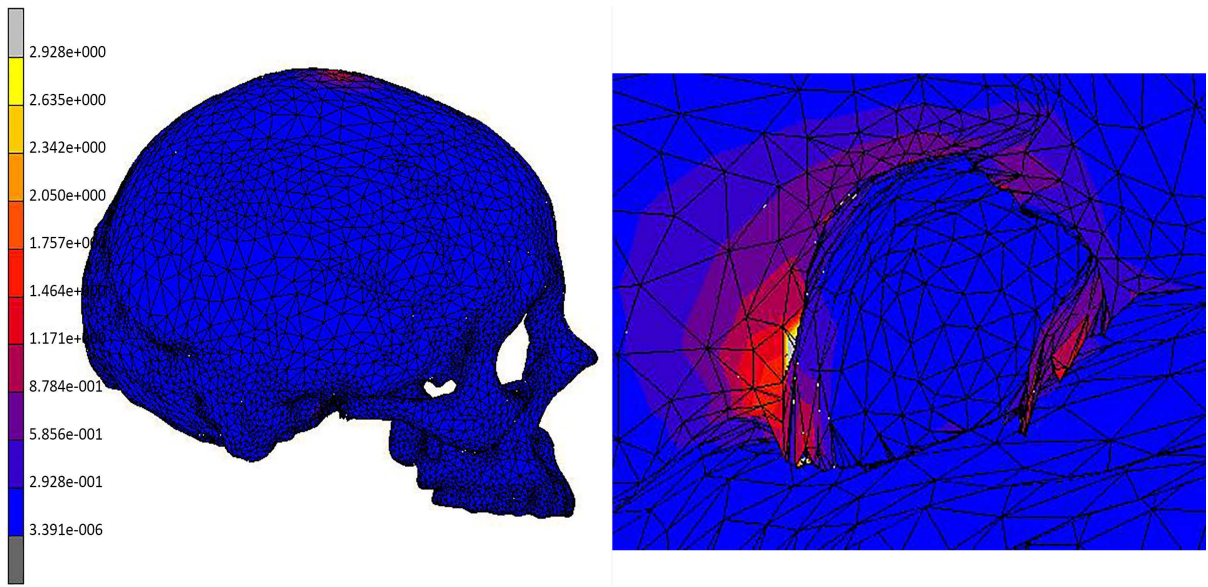
3. 结果

3.1. 颌骨应力

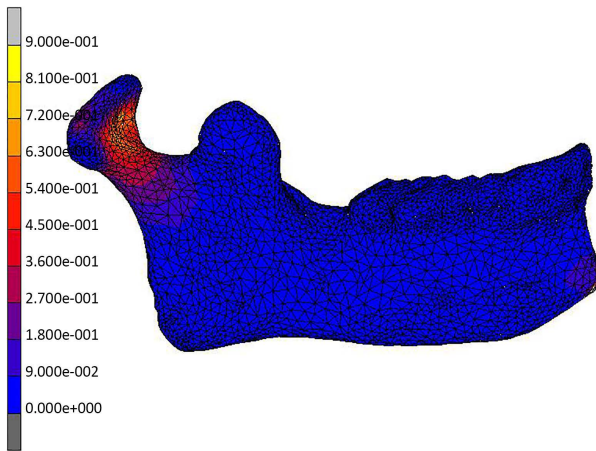
从上下颌应力分布图(图 3)可以看出，模型产生较明显应力部位有加载部位、上颌顶固定部位以及接触部位。下颌最大应力出现在节点力加载部位颈部，整个颅骨最大应力出现在节点力加载部位。上颌最大应力出现在刚性固定面。



整个颅骨最大应力为 2.6 MPa，出现在节点力加载部位。



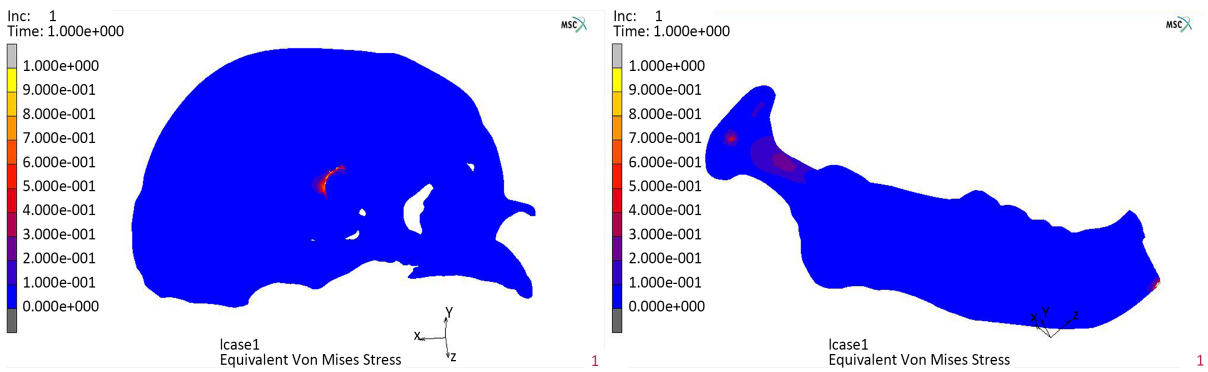
上颌最大应力为 2.93 MPa，出现在刚性固定面。接触部位最大应力约为 2.8 MPa。



下颌骨最大应力为 2.6 MPa，出现在节点力加载部位。接触部位最大应力为 0.9 MPa。

Figure 3. Jaw stress

图 3. 颌骨应力



如图 4 所示，从 37° 角度加载节点力之后产生最大应力点出现在加载部位。

Figure 4. Stress distribution of maxilla and mandible when 37° [2]

图 4. 37° 时观察的上下颌应力分布情况[2]

3.2. 位移变化

上下颌骨位移:

如图 5 所示, 以一定力值施加节点力后, 该模型产生微小的位移变化, 位移最大部位产生在加载部位, 下颌骨位移由颞部到升支部逐渐减小。

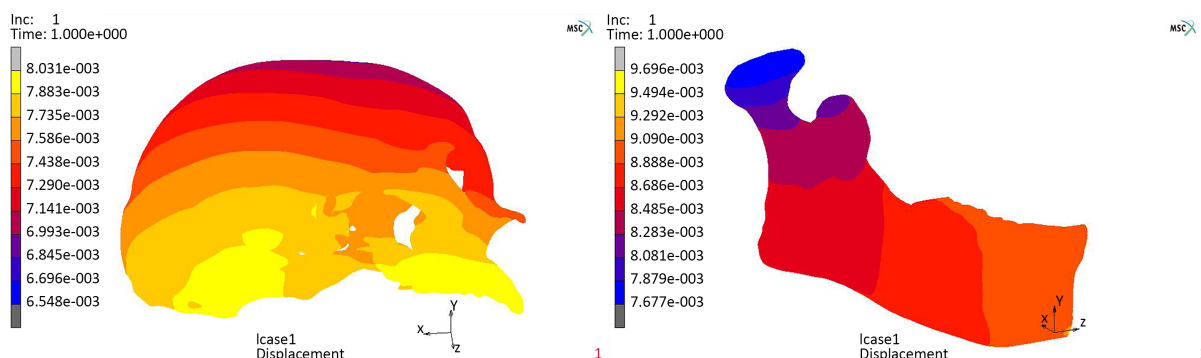


Figure 5. Displacement of maxilla and mandible when 37° [2]

图 5. 37° 时上下颌骨位移[2]

与龅病、牙周病一样, 错颌畸形也是口腔科常见病、多发病, 它的发病率很高, 并且呈逐年上升的趋势。它不仅影响患者的美观、颜值等外部形象, 还会影响发音、咀嚼等内在功能, 严重的还会妨碍社交和个人的身心健康[8]。究其原因, 错颌畸形主要由遗传和环境两大因素引起。遗传, 换言之, 即家族中有类似错颌畸形基因的患儿患有牙齿及颌骨畸形的几率要大很多。环境因素主要指生活习惯和不良习惯。偏好软食, 尤其是在生长发育期的儿童, 颌骨没有得到应有的刺激, 就容易形成牙量与骨量不协调的畸形[8] [9]。不良习惯主要包括舌习惯、口呼吸、咬硬物、吮指、咬唇等。随着经济的发展, 人民生活水平的提高, 以及医学技术的普遍提高, 人类对美的追求也越来越高, 对牙齿及颌骨畸形矫治的需求也就越来越大。正畸医生通过对错位牙齿和颌骨施加相应的矫治力可以达到矫治绝大部分错牙合畸形的目的, 改善患者美观, 因此越来越受到患者及家属的青睐。在正畸临床中, 力的分类方式有很多种, 其中按照力的作用效果可分为正畸力和矫形力。正畸力力量一般较弱, 主要作用在牙齿、牙弓上。而矫形力力值较强, 主要作用在颌骨上。前牵引矫治器产生的力就属于矫形力。前牵引矫治器在临床应用十分广泛, 学者们对其作用机制等的研究也十分多见。其中上颌前方牵引角度问题成为研究的热点[10]。从生物力学角度讲, 与合平面呈 37° 斜向下进行牵引, 可使上颌骨发生平动, 而不出现顺或逆时针的旋转[11] [12] [13]。然而, 在正畸实施过程中, 力和反作用力就像一对孪生姐妹, 总是如影随形。同样临床使用面架进行上颌骨前方牵引在产生刺激上颌骨向前的同时, 也会产生反作用力, 它的反作用力由额部和颞部承担。作用于额部的反作用力为水平向后由额骨承当, 而作用于颞部的反作用力则为向后上方传递至关节区[8] [9]。正畸医生在临床上应用力产生治疗效果时, 当然希望将其反作用力的负面效应控制在最小。由于前方牵引矫治器采用的矫形力值较大, 且每日至少佩戴时间亦长, 因此在正畸治疗反牙合的过程中, 是否会引颞下颌关节不可逆的损伤值得我们深入研究。因此本文直接在颞部加载固定力值 5 N, 以 37° 为例, 通过本文的研究, 得出作用于颞部的反作用力角度 37° 应力和位移值较小。

4. 结论

综上所述, 本研究建立的颅颌面三维有限元模型网格质量良好, 完全可以满足模拟上颌骨前方牵引矫治中作用于颞部的反作用力的研究要求; 前牵引矫治器在对上颌骨产生效应的同时, 也对颌骨及颞下

颌关节区产生反作用力。所以临床上在使用前牵引矫治器时,在保证上颌骨牵引效应的同时,也要将其不利的反作用力考虑在内;前牵引矫治作用于颞部的反作用力角度 37° 应力值和位移值相对小,更利于关节组织的健康。

参考文献

- [1] Chen, L., Chen, R., Yang, Y., Ji, G.P. and Shen, G. (2012) The Effects of Maxillary Protraction and Its Long-Term Stability—A Clinical Trial in Chinese Adolescents. *European Journal of Orthodontics*, **34**, 88-95. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq185>
- [2] 董瑞, 王旭霞, 张文娟, 李静, 郑德华, 张君. 前牵引颞部反作用力对颞下颌关节影响的三维有限元分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2013, 48(12): 740-744.
- [3] Mandall, N., DiBiase, A., Littlewood, S., Nute, S., Stivaros, N., McDowall, R., *et al.* (2010) Is Early Class III Protraction Facemask Treatment Effective? A Multicentre, Randomized, Controlled Trial: 15-Month Follow-Up. *Journal of Orthodontics*, **37**, 149-161. <https://doi.org/10.1179/14653121043056>
- [4] 贾绮林, 王海岚, 王以玲. 前方牵引对于乳牙期骨性 111 类错牙合牙颌结构的影响[J]. 口腔正畸学, 2003, 10(4): 156-158.
- [5] 张君, 王旭霞, 马士良, 步捷, 任旭升. 埋伏牙牙周应力分布的三维有限元分析[J]. 华西口腔医学杂志, 2008, 26(1): 19-22.
- [6] 沙焱, 邓瑛, 傅石雨, 吕超贤, 闫晓军, 杨琳. 前方牵引下颅面复合体骨缝应力特征的三维有限元分析[J]. 上海口腔医学, 2009, 18(3): 277-281.
- [7] 张晓慧, 丁寅, 刘冬, 王燕, 毕惠贤. 颅上颌复合体三维有限元模型的建立[J]. 中国美容医学, 2005, 14(2): 194-196.
- [8] 傅民魁. 口腔正畸学[M]. 第 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [9] 林久祥. 现代口腔正畸学[M]. 第 2 版. 北京: 北京医科大学出版社, 2000: 204-209.
- [10] 林伟就, 邹敏, 刘小兰, 郑玉莹. 上颌前方牵引方向的有限元分析[J]. 上海口腔医学, 2010, 19(5): 475-479.
- [11] 赵志河, 赵美英. 前方牵引矫形力的部位和方向对鼻上颌复合体内部位移和应力的影响[J]. 口腔正畸学, 1994, 1(1): 25-26.
- [12] 张彤. 颅面复合体三维有限元模型的建立及上颌前牵引的生物力学研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国人民解放军军医进修学院, 2007: 11-41.
- [13] 沈毅, 孙坚, 李军, 王冬梅, 王成焘. 正常人上颌骨的生物力学分析[J]. 组织工程与重建外科杂志, 2009, 5(1): 25-28.

附录

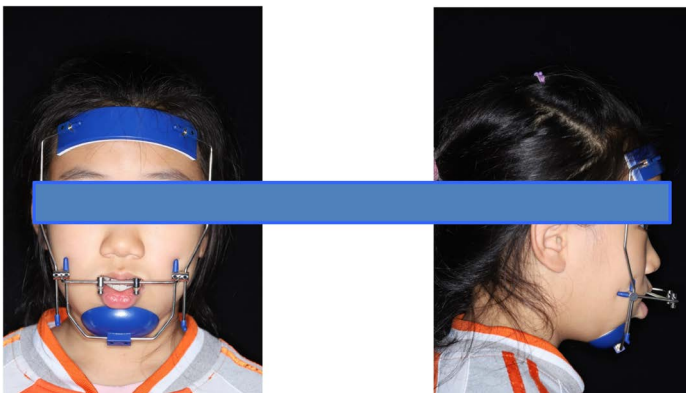
治疗前面像



治疗前口内像



治疗中面像



治疗中口内像



治疗后面像



治疗后口内像

