

磨牙正锁殆患者颞下颌关节形态学及咬合应力下髁突三维有限元分析

褚天昊^{1,2} 张雪颖¹ 王浩丞¹ 马浩杰¹ 刘媛媛^{1,2}

1. 山东第二医科大学口腔医学院, 潍坊 261053;

2. 山东第二医科大学附属医院口腔科, 潍坊 261000

[摘要] **目的** 通过测量单、双侧磨牙正锁殆患者的双侧颞下颌关节的形态及位置并模拟咬合时下颌骨受力变形情况,旨在为单、双侧磨牙正锁殆患者的颞下颌关节紊乱病的诊断提供依据。**方法** 本研究为回顾性研究,根据纳入标准,选择成人安氏 I 类错殆患者 20 例作为对照组,10 例单侧磨牙正锁殆患者(单侧组)、10 例双侧磨牙正锁殆患者(双侧组)作为实验组。患者拍摄锥形束 CT,通过测量关节窝宽度、关节窝高度、关节结节倾斜度、髁突长轴、髁突短轴、髁突水平角及颞下颌关节间隙的大小,比较颞下颌关节形态和位置。利用软件模拟患者咬合情况,进行下颌骨形态三维有限元分析,评估下颌骨的受力变形情况,进一步探讨下颌骨形态受力与患者可能存在的颞下颌关节紊乱症状的关系。**结果** 比较对照组左侧、单侧组锁殆侧、双侧组左侧颞下颌关节,结果显示关节上间隙单侧组小于对照组 ($P<0.05$);髁突长轴单、双侧组均小于对照组 ($P<0.05$),且单侧组大于双侧组 ($P<0.05$);髁突短轴双侧组小于对照组 ($P<0.05$);髁突水平角单、双侧组均大于对照组 ($P<0.05$)。对比对照组右侧、单侧组正常侧、双侧组右侧关节形态和位置,结果显示关节上间隙单、双侧组均小于对照组 ($P<0.05$),髁突长轴双侧组小于对照组 ($P<0.05$),髁突短轴单侧组正常侧大于双侧组。三维有限元分析:后牙正锁殆患者的髁突是咬合变形集中区域,锁殆侧第一磨牙咬合时,X 轴与 Z 轴方向上,变形最大区位于髁突。X 轴方向上,髁突变形量锁殆侧大于正常侧,在 Z 轴方向,正常侧大于锁殆侧。X 轴方向局部变形最大值点在锁殆侧髁突内极横嵴前后,而局部变形最小值点在正常侧髁突内极中 1/3 前斜面处;Z 轴方向局部变形最大值点位于正常侧髁突外极及外极下方;对不同咬合情况进行模拟发现,髁突 X 轴变形值在正常侧磨牙咬合、Y 轴变形值在正常侧前磨牙咬合以及 Z 轴变形值在正中咬合最大,髁突变形值在锁殆时并不最为显著。**结论** 单、双侧磨牙正锁殆髁突形态短小,双侧组相对单侧组存在更加短小的髁突形态。磨牙正锁殆患者的髁突是不良咬合变形集中区域,其变形最大点分布于髁突内外极横嵴附近。不良咬合情况对髁突变形值有影响,但不能说明二者之间是否有明确因果关系。

[关键词] 正锁殆; 颞下颌关节; 形态; 有限元分析

[中图分类号] R782.6 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2024169



本文链接 开放科学标识码

Three-dimensional finite element feature analysis of the mandible and morphology and position of temporomandibular joint in patients with unilateral and bilateral molar scissor bite

Chu Tianhao^{1,2}, Zhang Xueying¹, Wang Haocheng¹, Ma Haojie¹, Liu Yuanyuan^{1,2}

1. School of Stomatology, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, China; 2. Dept. of Stomatology, Affiliated Hospital of Shandong Second Medical University, Weifang 261000, China

Supported by: Weifang Health Commission Program (WFWSJK-2023-377)

[收稿日期] 2024-05-02; **[修回日期]** 2024-08-05

[基金项目] 潍坊市卫生健康委员会项目 (WFWSJK-2023-377)

[第一作者] 褚天昊, 住院医师, 硕士, E-mail: 1072615131@qq.com

[通信作者] 刘媛媛, 副主任医师, 博士, E-mail: liuyuan113@si-na.com

Correspondence: Liu Yuanyuan, E-mail: liuyuan113@si-na.com

[Abstract] **Objective** The objective of this study is to measuring the morphology and position of bilateral temporomandibular joints in patients with unilateral and

bilateral molar scissor bite and simulating the deformation of the mandible during occlusion, in order to provide thesis for the diagnosis of temporomandibular joint disease in patients with unilateral and bilateral molar scissor bite. **Methods** This study was a retrospective study. A total of 10 patients with unilateral molar scissor bite (the unilateral molar scissor bite group) and 10 patients with bilateral molar scissor bite (the bilateral molar scissor bite group) were selected as the experimental group, and 20 adult patients with class I of angle classification of similar ages were selected as the control group. All patients underwent cone beam computed tomography scans, by measuring the width of the fossa, height of the fossa, articular eminence inclination, long axis of the condyle, minor axis of the condyle, horizontal angle of the condyle and the space of the temporomandibular joint, compare temporomandibular joint morphology and position. The three-dimensional finite element analysis of the mandible morphology was carried out to evaluate the force and deformation of the mandible by using software to simulate the occlusion of the patients. It was further explored the relationship between the force of the mandible morphology and the possible temporomandibular joint disorder symptoms of the patients. **Results** Intergroup comparisons for the unilateral molar scissor bite group and left sides of the other groups revealed that the superior articular space in the group with unilateral molar scissor bite was shorter than that in the control group ($P<0.05$); the long axis of the condyle in the unilateral and bilateral molar scissor bite group were both shorter than that of the control group ($P<0.05$); among which the unilateral group was larger than the bilateral group, and the minor axis of the condyle in bilateral molar scissor bite group was smaller than in the control group ($P<0.05$), and the unilateral and bilateral condylar groups were larger than the control group ($P<0.05$); and the condylar horizontal angle in the unilateral and bilateral groups were larger than that in the control group ($P<0.05$). The normal sides of the unilateral molar scissor bite group and right sides of the other groups had smaller superior articular space than the control group ($P<0.05$); and the condylar long-axis in bilateral group was smaller than the control group ($P<0.05$); and the normal side of the condylar short-axis unilateral group was larger than that of the bilateral condylar group. Three-dimensional finite element analysis: the condyle of patients with molar scissor bite was a concentrated area of deformation during the bite of the mandible, when the first molar occlusion of the scissors bite side was simulated, the maximum deformation was located in the condyle in the X-axis and Z-axis directions. The amount of deformation was greater than that of the scissor bite side in the X-axis direction, while in the Z-axis direction, the normal side was greater than the scissor bite side. The maximum sites of local deformation in the X-axis direction were located in anterior and posterior the transverse crest of scissor bite side, and the minimum sites of local deformation was at 1/3 of the anterior slope of the inner pole of the normal side, the maximum local deformation sites in the Z-axis direction were located in the outer pole and below the outer pole of the normal side. The X-axis deformation value was the largest in the molars occlusion on the normal side, the Y-axis deformation value was in the premolars occlusion on the normal side, and the Z-axis deformation value was the largest in the centric occlusion, the deformation value of the condyle was not most significant in molar scissor bite. **Conclusion** Unilateral and bilateral molar scissor bite resulting in a short condyle morphology, and the bilateral group had a shorter condylar morphology than the unilateral group. The condyle of the patient with molar scissor bite is a concentrated area of poor occlusal deformation, and the largest sites of deformation are distributed near the transverse ridge of the inner and outer poles of the condyle. Different occlusion conditions have an effect on condylar deformation values, but do not indicate whether there is a clear association between them.

[Key words] scissor bite; temporomandibular joint; morphology; finite element analysis

正锁颌是临床常见的错颌畸形,以第二磨牙正锁颌最为常见,可发生于单侧或双侧^[1],以单侧多见。此类患者存在牙弓宽度不调、面部不对称和下颌侧方运动阻碍^[2],造成咬合异常,其中开口型异常增加了颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)与咀嚼肌的功能负荷,从而影响面部对称性,最终影响TMJ形态与位置。部分研究^[3-6]

表明正锁颌可能诱发颞下颌关节紊乱病(temporomandibular disorders, TMD)。然而,对于不良咬合与TMD之间的关系仍存在争议,咬合导致TMD尚无完善的纵向研究和循证医学研究支持,甚至,Manfredini等^[7]表明咬合与TMD没有特异性关联。

本研究通过比较单、双侧第二磨牙正锁颌患者双侧颞下颌关节形态及位置差异,同时构建三

维模型进行有限元分析，通过设计异常咬合状态下的应力负载，观察下颌骨受力变形情况，在此基础上进一步探讨颞下颌关节形态与患者可能存在的TMD之间的关系，为临床诊疗TMD提供参考。

1 材料和方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性研究，2022年7月4日—2023年12月1日于山东第二医科大学附属医院口腔科就诊并拍摄锥形束CT (cone beam computer tomography, CBCT) 的成年患者中筛选20例作为研究对象，其中10例双侧磨牙正锁殆患者作为双侧组，10例单侧磨牙正锁殆患者作为单侧组；同期选择骨性I类、后牙咬合基本正常且年龄相近的安氏I类错殆患者20例作为对照组。本研究经山东第二医科大学附属医院伦理委员会审查批准 [伦理编号: wyfy-2024-ky-089]。

单侧组和双侧组纳入标准：1) 恒牙列 (第三磨牙除外)，单侧或双侧至少1对磨牙且必须包含第二磨牙正锁殆；2) 牙列中无其他反殆、开殆或内倾型深覆殆。排除标准：1) 先天颌面部发育异常者；2) 颌面部外伤史及有严重颞下颌关节疾病

者；3) 正畸治疗史；4) 后牙牙体缺损严重或有修复体者。

对照组纳入标准：1) 恒牙列 (第三磨牙除外)，安氏I类；2) 上下牙列无严重拥挤 (拥挤度 ≤ 8 mm)；3) 前牙无开殆、反殆；4) 后牙咬合中性。排除标准同上。

1.2 研究方法

1.2.1 CBCT影像的获取

CBCT拍摄及三维重建：使用SS-X10010Dplus型CBCT扫描机 (合肥美亚光电技术股份有限公司) 采集图像，可视范围 16×10 ，CBCT曝光时间6 s (脉冲模式8 s)，球管电压60~100 kV，电压值可调，电流4~10 mA，电流值可调。所有CBCT拍摄受试者患者自然站立，采取正中咬合位，面部保持与地面垂直，面部中线与正中矢状面一致，法兰克福线 (水平线) 位于患者眶耳平面上。

1.2.2 测量项目

在颞下颌关节界面下通过鼻尖-鼻中隔-枕骨大孔中心的连线为正中矢状线，选取髁突最大面积轴位图像，过髁突长轴中点并垂直于该连线的平面为矢状面，测量项目见表1及图1。所有测量均由同一位医师在相同条件下完成，每个项目进行3次测量，以平均值作为最终测量值。

表 1 颞下颌关节测量项目及内容

Tab 1 TMJ measurements and meanings

名称	英文	测量项目含义
关节窝宽度	width of the fossa, WF	在垂直于髁突长轴的矫正斜矢状位下，连接关节窝后壁最下点和关节结节最下点，此连线位于关节窝内的部分为关节窝宽度
关节窝高度	height of the fossa, HF	在垂直于髁突长轴的矫正斜矢状位下，连接关节窝后壁最下点和关节结节最下点，关节窝最上点到此连线的垂直距离为关节窝高度
关节结节倾斜度	articular eminence inclination, AEI	关节结节最下点与关节窝最上点连线与关节结节最下点与关节窝后壁最下点连线的交角
髁突长轴	long axis of the condyle, LAC	在髁突面积最大的横断面上测量髁突的最大内外径
髁突短轴	minor axis of the condyle, MAC	在髁突面积最大的横断面上测量髁突的最大前后径
髁突水平角	horizontal angle of the condyle, HAC	髁突长轴与冠状水平线间的夹角
关节前间隙	anterior joint space, AJS	过关节窝顶点向髁突前斜面作切线，切点与关节结节后斜面的最短距离
关节上间隙	superior joint space, SJS	关节窝顶点与髁突顶点连线的距离
关节后间隙	posterior joint space, PJS	过关节窝顶点向髁突后斜面作切线，切点与关节窝后壁的最短距离

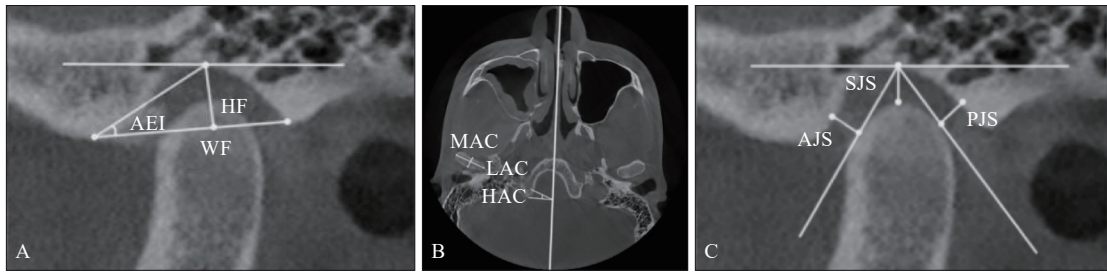
1.2.3 下颌骨3D模型的获取及处理

将全部纳入对象的DICOM文件数据导入Mimics Research 21.0 (Materialise公司，比利时) 软件，通过调整“阈值”“区域增长”和“智能充填”等功能选项分离出下颌骨并计算生成三维立体图像 (图2)，以STL格式保存，初步得到下颌骨3D模型。

将下颌骨模型的STL文件导入逆向工程3D软

件Geomagic Wrap 2017 (3D Systems公司，美国)，通过“重划网格”“去除特征”“松弛”和“减少噪点”等功能对下颌骨模型进一步光滑处理，最后将文件以WRP及STEP格式保存 (图3)。

将光滑处理后的模型导入SolidWorks 2024软件 (SolidWorks公司，美国) 中，通过“装配体”“配合”等功能将下颌骨与下颌牙列装配并导出为STEP格式 (图4)。



A: 关节窝测量项目; B: 髁突测量项目; C: 关节间隙测量项目。

图 1 TMJ测量项目

Fig 1 TMJ measurements

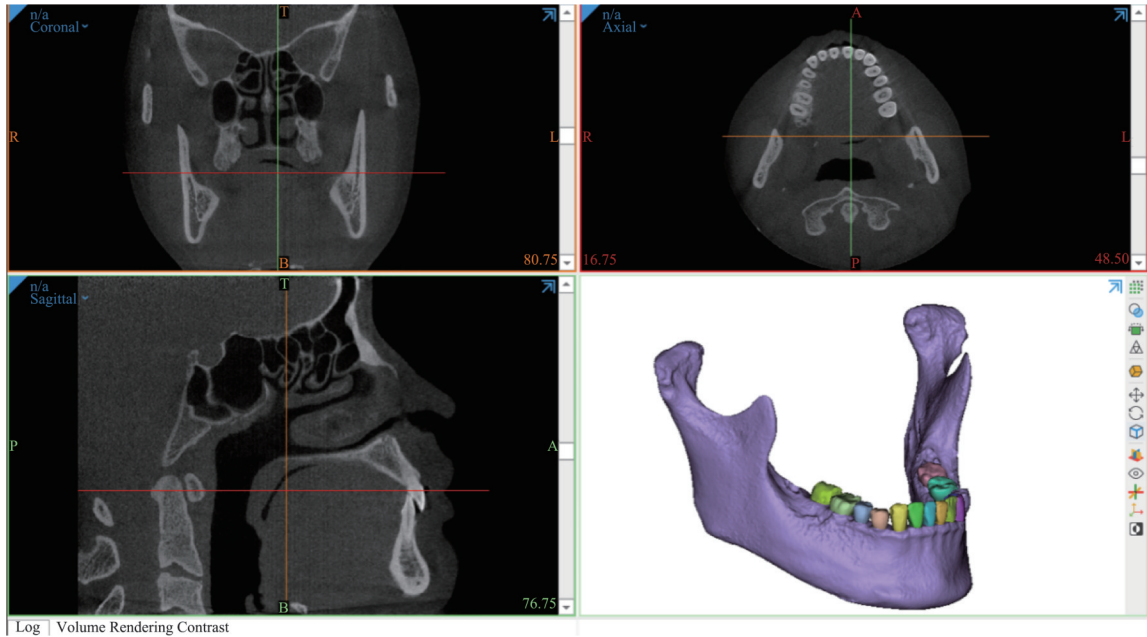


图 2 应用Mimics Research 21.0初步提取下颌骨模型

Fig 2 Apply Mimics Research 21.0 to preliminarily extract the mandible model

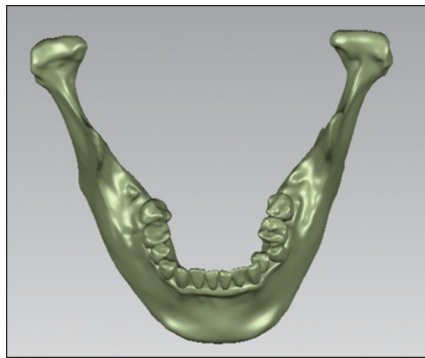


图 3 应用Geomagic Wrap 2017对模型进一步光滑处理

Fig 3 Apply Geomagic Wrap 2017 to further smooth the model

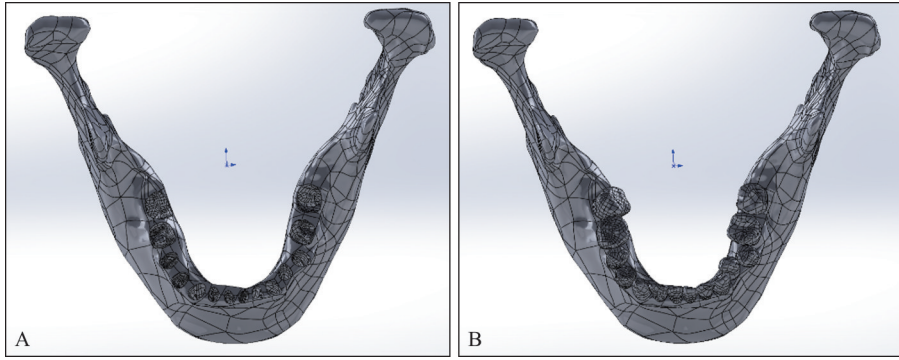
最后用有限元分析软件 Ansys Workbench 2022 R1 (ANSYS公司, 美国) 建立有限元模型, 设置材料属性并导入下颌骨模型及网格模型构建 (图 5) 进行下颌骨应力分析 (图 6、7)。

咬合力量的负载参考郭维鹏等^[8]的研究, 后牙咬合的最大咬合力为 30 kg, 采用最大咬合力的

20%~30%负载, 选用双侧后牙咬合方式, 并施加最大载荷的 20% 即 6 kg 力。并参考杨文华^[9]等的研究, 模拟 6 种咬合情况: 前牙咬合、正中咬合、锁殆侧磨牙咬合、正常侧磨牙咬合、锁殆侧前磨牙咬合、正常侧前磨牙咬合。

加载部位的确定: 前牙咬合为左右下颌中切牙、侧切牙、尖牙切缘颊舌向一个网格; 锁殆侧磨牙咬合为锁殆侧第一磨牙殆面; 正常侧磨牙咬合为正常侧第一、二磨牙殆面; 锁殆侧前磨牙咬合为锁殆侧第一、二前磨牙殆面; 正常侧前磨牙咬合为正常侧第一、二前磨牙殆面; 正中咬合为除锁殆牙之外所有牙位。加载方式: 确定咬合方式的加载部位后, 于选择区域平均分配力的大小, 方向垂直于选定区域中心部位网格。

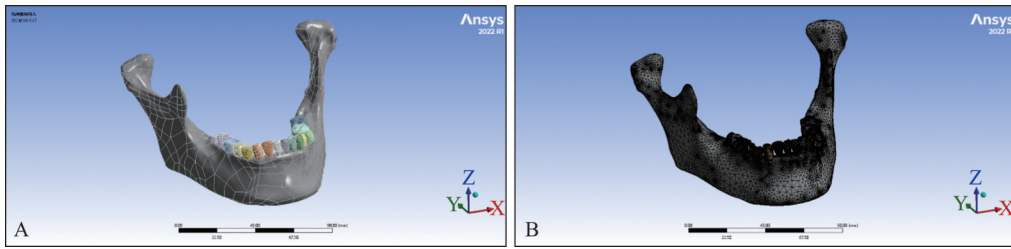
参考张渊等^[10]的研究在模型中将下颌角区的自由度设置为 0, 观察下颌骨模型在咬合时发生的变形情况。



A: 牙槽窝的构建; B: 下颌骨与下颌牙列的装配。

图 4 应用SolidWorks 2024进行牙齿与下颌骨的装配

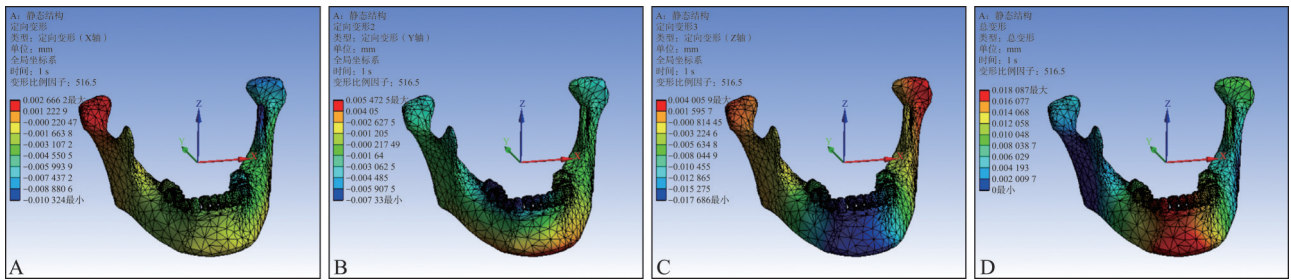
Fig 4 Apply SolidWorks 2024 to assemble tooth and mandible



A: 模型网格; B: 具材料属性的下颌骨实体模型。

图 5 使用Ansys Workbench 2022 R1导入模型及模型网格划分

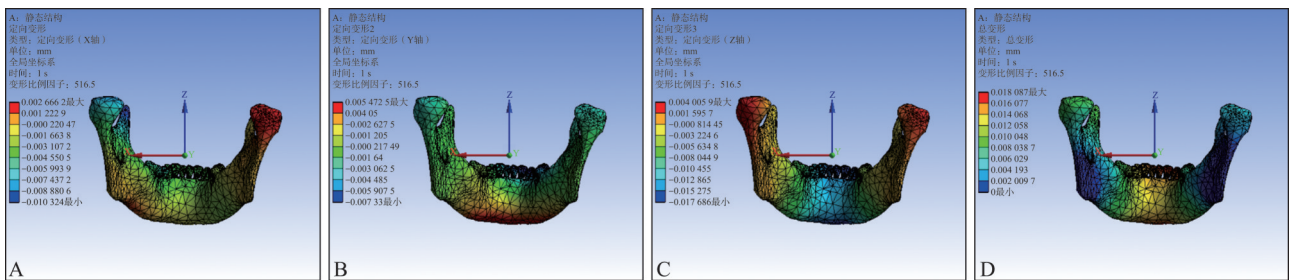
Fig 5 Use Ansys Workbench 2022 R1 imports and meshes models



A: X轴; B: Y轴; C: Z轴; D: 总变形。

图 6 对模型进行应力负载定向变形(正面观)

Fig 6 Directional deformation results of the model under stress load (frontal view)



A: X轴; B: Y轴; C: Z轴; D: 总变形。

图 7 对模型进行应力负载定向变形(后面观)

Fig 7 Directional deformation results of the model under stress load (rear view)

假设模型中的所有材料都是弹性和各向同性的,模型组成成分的材料力学参数^[10-11]为:下颌骨的弹性模量取皮质骨和松质骨的均值 1.1×10^4 MPa,

泊松比0.30;牙列的弹性模量为 3.0×10^4 MPa,泊松比0.30。

1.3 统计学分析

使用SPSS 26.0 (IBM公司,美国)对研究数据进行分析。运用Shapiro-Wilks检验行样本测量值正态性检测,对于符合正态分布的计量资料,行配对t检验;对于不符合正态分布的计量资料,行Kruskal-Wallis秩和检验(显著性水平 $\alpha=0.05$)。

2 结果

2.1 错殆畸形分类

根据安氏分类法及分析头影测量骨性分类对单侧组10例患者[男4例,女6例,平均年龄(26.33±2.71)岁]、双侧组10例患者[男5例,女5例,平均年龄(23.22±4.24)岁]和对照组20例患者[男12例,女8例,平均年龄(25.63±4.68)岁]进行错殆畸形分类。比较单侧组和双侧组患者安氏分类发现,其差异无统计学意义($\chi^2=1.533, P=0.675$),见表2;比较单侧组、双侧组和对照组骨性分类发现,其差异无统计学意义($\chi^2=1.818, P=0.178$),见表3。

表2 单侧组和双侧组患者安氏分类情况

Tab 2 Angle's classification of patients in the unilateral group and the bilateral group n/%

组别	安氏 I 类	安氏 II 类	安氏 III 类	其他
单侧组	7/70.0	2/20.0	0/0.0	1/10.0
双侧组	5/50.0	3/30.0	1/10.0	1/10.0

注:“其他”指双侧安氏分类不对称的情况。

表3 单侧组、双侧组和对照组患者骨性分类情况

Tab 3 Osseous classification of patients in the unilateral group, the bilateral group and the control group n/%

组别	骨性 I 类	骨性 II 类	骨性 III 类
单侧组	7/70.0	3/30.0	0/0.0
双侧组	4/40.0	6/60.0	0/0.0
对照组	9/45.0	11/55.0	0/0.0

2.2 单侧组、双侧组与对照组患者颞下颌关节的形态和位置的组内比较

比较对照组、单侧组及双侧组组内双侧颞下颌关节测量值差异均无统计学意义(表4~6)。

2.3 单侧组、双侧组与对照组患者颞下颌关节形态和位置的组间比较

比较单侧组锁殆侧、双侧组与对照组患者左侧颞下颌关节形态和位置(表7),结果显示关节上间隙单侧组小于对照组($P<0.05$);髁突长轴单、双侧组均小于对照组($P<0.05$),其中单侧组

大于双侧组($P<0.05$);髁突短轴双侧组小于对照组($P<0.05$);髁突水平角单、双侧组均大于对照组($P<0.05$);关节前间隙单、双侧组均小于对照组,但差异无统计学意义($P>0.05$);关节窝高度、宽度单、双侧组均大于对照组,但差异无统计学意义($P>0.05$)。

表4 对照组双侧关节形态和位置的比较

Tab 4 Comparison of bilateral joint morphology and position measurements in the control group

项目	左侧	右侧	P值
关节上间隙/mm	3.91±1.12	3.92±0.92	0.975
关节前间隙/mm	2.61±0.96	2.95±1.50	0.435
关节后间隙/mm	1.97±0.39	2.09±0.43	0.639
髁突长轴/mm	20.94±2.11	20.97±2.17	0.943
髁突短轴/mm	8.66±1.01	8.35±0.76	0.111
关节窝高度/mm	5.82±1.43	5.57±0.95	0.503
关节窝宽度/mm	15.29±1.86	16.47±0.80	0.180
关节结节斜度/°	35.86±7.37	35.57±10.78	0.948
髁突水平角/°	15.23±4.95	17.94±6.36	0.374

表5 单侧组双侧关节形态和位置的比较

Tab 5 Comparison of bilateral joint morphology and position in the unilateral group

项目	锁殆侧	正常侧	P值
关节上间隙/mm	2.48±0.44	2.64±0.20	0.234
关节前间隙/mm	2.48±0.85	2.24±0.61	0.603
关节后间隙/mm	1.80±0.44	1.76±0.38	0.852
髁突长轴/mm	18.76±2.11	18.55±3.57	0.807
髁突短轴/mm	8.02±1.43	7.99±1.49	0.932
关节窝高度/mm	6.33±1.08	5.85±1.08	0.157
关节窝宽度/mm	16.73±1.73	16.74±2.79	0.984
关节结节斜度/°	35.60±6.48	36.02±7.80	0.872
髁突水平角/°	23.32±7.93	21.71±7.66	0.421

表6 双侧组双侧关节形态和位置的比较

Tab 6 Comparison of bilateral joint morphology and position in the bilateral group

项目	左侧	右侧	P值
关节上间隙/mm	2.94±0.74	2.66±0.78	0.344
关节前间隙/mm	2.44±0.68	2.64±1.12	0.720
关节后间隙/mm	2.04±0.45	1.73±0.33	0.239
髁突长轴/mm	16.71±1.43	19.28±2.26	0.419
髁突短轴/mm	6.83±1.11	6.64±1.25	0.675
关节窝高度/mm	6.10±0.92	6.57±0.42	0.305
关节窝宽度/mm	15.76±2.25	15.91±1.38	0.871
关节结节斜度/°	34.78±2.93	36.79±2.62	0.292
髁突水平角/°	25.44±7.40	25.71±8.67	0.888

比较单侧组正常侧与对照组、双侧组的右侧颞下颌关节形态和位置(表8),结果显示关节上

间隙单、双侧组均小于对照组 ($P<0.05$)；髁突长轴双侧组小于对照组 ($P<0.05$)；髁突短轴单侧组正常侧大于双侧组 ($P<0.05$)；关节前、后间隙单、双侧组均小于对照组，但结果差异无统计学

意义 ($P>0.05$)；关节窝高度、宽度和关节结节斜度以及髁突水平角单、双侧组均大于对照组，但差异无显著统计学意义 ($P>0.05$)。

表 7 对照组左侧、单侧组锁骀侧、双侧组左侧关节形态和位置的比较

Tab 7 Comparison of the morphology and position of the left joint in the control group and the scissor bite side of the unilateral group and the left joint in the bilateral group

项目	对照组左侧	单侧组锁骀侧	双侧组左侧	F值/H值*	P值
关节上间隙/mm	3.91±1.12	2.48±0.44 ^a	2.94±0.74	6.297*	0.031*
关节前间隙/mm	2.61±0.96	2.48±0.85	2.44±0.68	0.306*	0.858*
关节后间隙/mm	1.97±0.39	1.80±0.44	2.04±0.45	0.628	0.544
髁突长轴/mm	20.94±2.11	18.76±2.11 ^{a,c}	16.71±1.43 ^b	7.777	0.003
髁突短轴/mm	8.66±1.01	8.02±1.43	6.83±1.11 ^b	3.725	0.043
关节窝高度/mm	5.82±1.43	6.33±1.08	6.10±0.92	0.354	0.706
关节窝宽度/mm	15.29±1.86	16.73±1.73	15.76±2.25	1.071	0.363
关节结节斜度/°	35.86±7.37	35.60±6.48	34.78±2.93	0.062	0.940
髁突水平角/°	15.23±4.95	23.32±7.93 ^a	25.44±7.40 ^b	3.706	0.044

注：*采用Kruskal-Wallis秩和检验；^a单侧组与对照组比较， $P<0.05$ ；^b双侧组与对照组比较， $P<0.05$ ；^c单侧组与双侧组比较， $P<0.05$ 。

表 8 对照组右侧、单侧组正常侧、双侧组右侧关节形态和位置的比较

Tab 8 Comparison of the shape and position of the right joint in the control group, the normal side in the unilateral group and the right joint in the bilateral group

项目	对照组左侧	单侧组锁骀侧	双侧组左侧	F值/H值*	P值
关节上间隙/mm	3.92±0.92	2.64±0.20 ^a	2.66±0.78 ^b	9.2185*	0.010*
关节前间隙/mm	2.95±1.50	2.24±0.61	2.64±1.12	1.488	0.251
关节后间隙/mm	2.09±0.43	1.76±0.38	1.73±0.33	1.749	0.201
髁突长轴/mm	20.97±2.17	18.55±3.57	19.28±2.26 ^b	4.319	0.028
髁突短轴/mm	8.35±0.76	7.99±1.49 ^c	6.64±1.25	3.458	0.052
关节窝高度/mm	5.57±0.95	5.85±1.08	6.57±0.42	2.240	0.134
关节窝宽度/mm	16.47±0.80	16.74±2.79	15.91±1.38	0.480*	0.787*
关节结节斜度/°	35.57±10.78	36.02±7.80	36.79±2.62	0.043	0.958
髁突水平角/°	17.94±6.36	21.71±7.66	25.71±8.67	1.656	0.217

注：*采用Kruskal-Wallis秩和检验；^a单侧组与对照组比较， $P<0.05$ ；^b双侧组与对照组比较， $P<0.05$ ；^c单侧组与双侧组比较， $P<0.05$ 。

2.4 有限元模型的建立结果

将模型处理完毕后，使用有限元分析软件 Ansys Workbench 2022 R1 重划网格有限元建模，采用一阶线性四面体单元划分网格，共获得1 195 925 个单元 (253 988 节点) (图 5)。对下颌骨模型进行应力负载的定向变形结果 (图 6、7) 及模型定向变形值 (表 9)。

2.5 下颌骨变形情况分析

由于本研究关注点为颞下颌关节，因此下颌骨变形情况关注点仅为下颌切迹以上的髁突部分。模拟锁骀侧第一磨牙咬合时 (图 8、9)，在 X 轴与 Z 轴方向上，变形最大区位于髁突。在 X 轴方向，髁突变形量锁骀侧大于正常侧，而在 Z 轴方向，髁突变形量正常侧大于锁骀侧。通过“创建局部最大探针”“创建局部最小探针”选项 (由于变形量

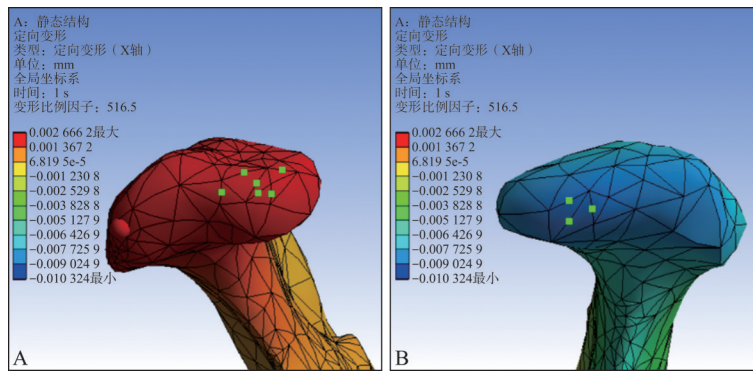
为矢量，所以变形量取绝对值比较大小)，发现 X 轴方向局部变形最大值点在右侧 (锁骀侧) 髁突内极横嵴前后，而局部变形最小值点在左侧 (正常侧) 髁突，位于髁突内极中 1/3 前斜面处 (图 8)；而 Z 轴方向变形量相对于 X 轴方向小，局部变形最大值点位于左侧 (正常侧) 髁突外极及外极下方 (图 9)；对于 Y 轴方向 (图 5B)，髁突表面相对于 X、Z 轴变形量不明显。

2.6 不同咬合情况下对模型进行应力负载的定向变形值

对前牙咬合、正中咬合、锁骀侧磨牙咬合、正常侧磨牙咬合、锁骀侧前磨牙咬合、正常侧前磨牙咬合 6 种咬合情况下髁突 X、Y、Z 轴变形值进行分析，因变形值为矢量，故取绝对值进行比较 (表 9)。

表 9 不同咬合情况下模型定向变形值

Tab 9 Directional deformation values of the model under different occlusal conditions		mm		
咬合方式	定向变形	X轴	Y轴	Z轴
前牙咬合	最大定向变形值	0.002 7	0.007 7	0.002 7
	最小定向变形值	-0.005 9	-0.011	-0.021
正中咬合	最大定向变形值	0.002 7	0.005 5	0.004
	最小定向变形值	-0.002 9	-0.007 3	0.017
锁殆侧磨牙咬合	最大定向变形值	0.001 8	0.003 4	0.001 6
	最小定向变形值	-0.003 2	-0.004 4	-0.011
正常侧磨牙咬合	最大定向变形值	0.008 4	0.002 2	0.002 6
	最小定向变形值	-0.007 7	-0.003	-0.007 2
锁殆侧前磨牙咬合	最大定向变形值	0.002 1	0.005 8	0.001 9
	最小定向变形值	-0.004 1	-0.006 1	-0.015
正常侧前磨牙咬合	最大定向变形值	0.007 7	0.005 1	0.002
	最小定向变形值	-0.004 2	-0.01	-0.016



A: 右侧髁突; B: 左侧髁突。

图 8 创建局部最大、最小探针 (X轴)

Fig 8 Create local maximum and minimum probes (X-axis)

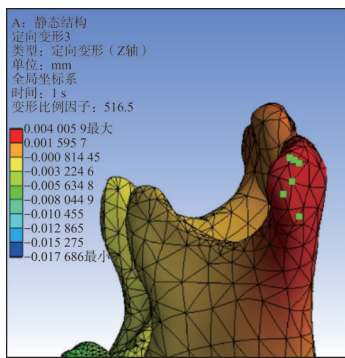


图 9 创建局部最大、最小探针 (Z轴)

Fig 9 Creating local maximum and minimum probes (Z-axis)

X轴变形值: 正常侧磨牙咬合 (正向) > 正常侧前磨牙咬合 (正向) > 前牙咬合 (负向) > 锁殆侧前磨牙咬合 (负向) > 锁殆侧磨牙咬合 (负向) > 正中咬合 (负向)。

Y轴变形值: 正常侧前磨牙咬合 (负向) > 前牙咬合 (正向) > 正中咬合 (正向) > 锁殆侧前磨牙咬合 (负向) > 锁殆侧磨牙咬合 (负向) > 正常侧磨牙咬合 (负向)。

Z轴变形值: 正中咬合 (正向) > 正常侧前磨牙咬合 (负向) > 正常侧磨牙咬合 (负向) > 锁殆侧前磨牙咬合 (负向) > 锁殆侧磨牙咬合 (负向) > 前牙咬合 (正向)。

3 讨论

3.1 单、双侧磨牙正锁殆患者TMJ形态与位置

咬合对称性与双侧髁突形态对称性存在一定关系^[12], 既往研究^[13-14]表明, 磨牙正锁殆可引起下颌骨和髁突的不对称, 体现在髁突、下颌升支高度、下颌高度的不对称指数^[14-15]以及髁突形态评价与测量^[16]等方面。

多数研究^[1,13,17]认为单侧磨牙正锁殆可影响髁突形态及其位置, 但未得出一致结论。本研究显示单侧组和双侧组髁突长轴、短轴均小于对照组, 这与国内学者^[13]研究结果相同, 除生长发育的影响外, 其与不良的咬合力及咬合状态等因素有关。本研究还发现双侧组相对于单侧组的髁突更短小,

关节上间隙更小。Guercio-Monaco等^[18]发现髁突大小与关节功能相关,其中不可复性关节盘前移位患者髁突尺寸较小,且不同TMD患者的髁突尺寸不同。有研究^[19]发现偏侧咀嚼患者习惯侧髁突整体变小,且发生上移位。还有研究^[17,20]发现关节后间隙锁骀侧大于正常侧,单侧磨牙正锁骀患者锁骀侧关节上间隙大于非锁骀侧,说明患者可能存在髁突发育受限的情况,与本研究结果一致。颞下颌关节紊乱综合征伴偏侧咀嚼患者存在髁突水平角偏大的问题,而偏侧咀嚼患者与后牙正锁骀同样存在咬合不平衡的问题^[21],在本研究单侧组和双侧组髁突水平角相对于对照组更大,说明患者髁突发生了旋转。目前对于髁突倾斜旋转方向与关节盘位置的关系仍有争议,部分研究认为髁突倾斜度随关节盘的位置不同而不同,髁突水平内旋以及髁突后移位与盘前移位关系密切^[22],也有研究^[23]认为髁突长轴倾斜与关节盘移位无关。青少年髁突水平角的大小与下颌三维方向生长之间的关系密切,但还需进一步研究^[24]。

TMJ形态与咀嚼模式、肌肉活动及咀嚼负荷力有关,大部分单侧后牙正锁骀患者咀嚼侧为非锁骀侧^[25],髁突形态与骨骼和咀嚼功能有关,非双侧咀嚼患者髁突形态偏圆形,双侧咀嚼患者髁突形态更加平坦^[26]。也有相似研究^[27]发现,不同咬合类型能显著影响髁突高度。髁突位置对TMD患者有一定影响,TMD患者正畸治疗后髁突位置有改变^[28],而正畸治疗可以改善锁骀侧关节位置但对髁突形态改变不明显^[29]。髁突位置与不同程度的TMD有关^[30],不可复性盘前移位会导致髁突骨小梁密度的增加从而影响髁突发育^[28,31],同时髁突后移位、咀嚼模式、咀嚼压力都是影响髁突软骨成骨生长的重要因素^[32]。

对于磨牙正锁骀患者颞下颌关节状况的分析诊断,需结合患者临床检查、CBCT、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等方法进一步诊断,且双侧磨牙正锁骀患者相对于单侧更需提高警惕,本研究提示患者的关节间隙、髁突大小以及髁突横嵴的形态可作为观察对象。

3.2 下颌骨有限元模型的建立

本研究通过Mimics、Geomagic Wrap、Solid-Works及Ansys Workbench等软件,成功建立了下颌骨的三维有限元模型,比较全面的模拟了不同咬合情况时下颌骨的变形情况,计算分析应力负载时模型变形量,发现了磨牙正锁骀患者的髁突是变形集中的区域,这为磨牙正锁骀与颞下颌关

节疾病可能存在的联系提供相关实验支持。

有限元分析常用于颞下颌关节的研究^[11,33-34],通过有限元分析下颌骨应力加载实验,表明髁突是应力集中的区域^[35-37]。有研究^[38]表明髁突颈部是关节盘的最大拉应力区,也有研究^[19]发现夜磨牙患者髁突前斜面及颈部可能发生吸收性改建,且髁突有变小趋势。本研究结果显示锁骀侧第一磨牙咬合时X轴、Z轴方向变形最大区域位于髁突,局部变形最大值点在髁突横嵴、前斜面或横嵴外侧面,但Y轴方向变形较小。这提示磨牙正锁骀患者髁突顶端是危险区,结合本研究第一部分TMJ的测量结果,这可能导致磨牙正锁骀患者的髁突形态短小及不对称。说明患者不良的咬合对髁突形态及位置均存在不利影响,最终可能导致髁突发生不同程度的退行性变。

通过模拟不同咬合情况下模型定向变形值发现,不同方向上的模型定向变形值在正常侧咬合与锁骀侧咬合之间存在差异,部分结果表现为正常侧咬合的变形值大于锁骀侧,但也有部分结果存在相反情况,即不良咬合情况下的髁突变形不一定比正常咬合情况下更为明显,提示不同咬合情况对髁突变形值有影响,但这种影响是多方向且复杂的。Manfredini等^[7,37]研究表明咬合与TMD之间缺乏临床相关性,但提示正中关系-最大牙尖交错位不协调和侧方骀干扰与TMD可能相关。在本研究仅凭单纯模拟咬合情况尚不能说明二者之间是否有特异性关联。因此临床实践中应综合考虑各种咬合因素,以更准确地评估和预测髁突形态。

本研究不足之处在于,实验未将生长发育因素考虑在内,故不能明确在下颌骨发育过程中异常的咬合对于下颌骨发育的影响。其次,本实验在处理下颌骨模型时并未完全模拟真实咬合时的复杂情况,模型精确度与下颌骨的实际形态可能存在偏差,且仍未明确咬合与TMD是否有关联,仍需增加实验方法对下颌骨及其周围组织建模再进一步研究。

单、双侧磨牙正锁骀患者的髁突形态短小,双侧组相对于单侧组存在更加短小的髁突形态。本研究通过三维有限元分析,模拟咬合应力负载观察髁突变形情况,结果发现锁骀侧第一磨牙咬合时髁突是不良咬合变形集中区域,其变形最大点位分布于髁突内外极横嵴附近,提示此类患者与颞下颌关节退行性改变密切相关。但由于咬合是一个复杂的活动过程,实验中单纯模拟不同咬

合情况下髁突变形值大小未得出明确的比较结果,也证实了咬合与TMD之间的关系仍存在争议,进一步说明咬合状况在髁突变形分析中的重要性和复杂性。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] 叶莉娜,何家才.单侧后牙正锁殆、反殆对下颌升支及髁突对称性影响的临床观察[J].口腔颌面外科杂志,2020,30(6):382-386.
Ye LN, He JC. Clinical observation of the effect of unilateral posterior scissors-bite and crossbite on the symmetry of mandibular ramus and condyle[J]. J Oral Maxillofac Surg, 2020, 30(6): 382-386.
- [2] Baik UB, Kim Y, Sugawara J, et al. Correcting severe scissor bite in an adult[J]. Am J Orthod Dentofac Orthop, 2019, 156(1): 113-124.
- [3] Lambourne C, Lampasso J, Buchanan WC Jr, et al. Malocclusion as a risk factor in the etiology of headaches in children and adolescents[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007, 132(6): 754-761.
- [4] Thilander B, Rubio G, Pena L, et al. Prevalence of temporomandibular dysfunction and its association with malocclusion in children and adolescents: an epidemiologic study related to specified stages of dental development [J]. Angle Orthod, 2002, 72(2): 146-154.
- [5] Egermark I, Magnusson T, Carlsson GE. A 20-year follow-up of signs and symptoms of temporomandibular disorders and malocclusions in subjects with and without orthodontic treatment in childhood[J]. Angle Orthod, 2003, 73(2): 109-115.
- [6] Tomonari H, Kubota T, Yagi T, et al. Posterior scissors-bite: masticatory jaw movement and muscle activity[J]. J Oral Rehabil, 2014, 41(4): 257-265.
- [7] Manfredini D, Lombardo L, Siciliani G. Temporomandibular disorders and dental occlusion. A systematic review of association studies: end of an era[J]. J Oral Rehabil, 2017, 44(11): 908-923.
- [8] 郭维鹏,李亚兰,唐志雄,等.包含颞下颌关节的下颌骨有限元建模[J].生物医学工程研究,2013,32(3):162-166.
Guo WP, Li YL, Tang ZX, et al. Finite element modeling of the mandible with temporomandibular joint[J]. J Biomed Eng Res, 2013, 32(3): 162-166.
- [9] 杨文华,赵宝莲,孙庚林,等.下颌骨颞部正中骨折二维与三维坚强内固定的三维有限元研究[J].实用口腔医学杂志,2011,27(4):495-500.
Yang WH, Zhao BL, Sun GL, et al. Three-dimensional finite element study of two-and three-dimensional internal fixation for mandibular symphysis fracture[J]. J Pract Stomatol, 2011, 27(4): 495-500.
- [10] 张渊,王美青,凌伟.用于分析殆面形态与颞下颌关节生物力学关系的三维有限元模型的建立[J].医用生物力学,2004,19(4):249-252.
Zhang Y, Wang MQ, Ling W. Establishment of three-dimensional FEM model for evaluation of biomechanical relationship between temporomandibular joint morphology and bilateral condyles[J]. J Med Biomech, 2004, 19(4): 249-252.
- [11] Tanne K, Tanaka E, Sakuda M. Stress distribution in the temporomandibular joint produced by orthopedic chin-cup forces applied in varying directions: a three-dimensional analytic approach with the finite element method [J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996, 110(5): 502-507.
- [12] 王美青,姚秀芳,颜朝云,等.咬合与髁状突形态的对称性间的相关关系解剖学[J].实用口腔医学杂志,2001,17(2):147-150.
Wang MQ, Yao XF, Yan CY, et al. An anatomic study on the relationship between occlusion symmetry and condyle symmetry[J]. J Pract Stomatol, 2001, 17(2): 147-150.
- [13] 李爽,马啸宙,谢冰鑫,等.单、双侧磨牙正锁殆患者颞下颌关节形态和位置的锥形束CT研究[J].中华口腔正畸学杂志,2023,30(2):81-85.
Li S, Ma XZ, Xie BX, et al. The cone beam CT study of temporomandibular joint morphology and position in patients with unilateral and bilateral molar scissors bite[J]. Chin J Orthod, 2023, 30(2): 81-85.
- [14] 仲晓飞,杜原宏.磨牙正锁殆对髁突形态的影响[J].中国临床实用医学,2014,5(5):8-10.
Zhong XF, Du YH. Effect of posterior buccal crossbite on condylar morphology[J]. Chin Clin Pract Med, 2014, 5(5): 8-10.
- [15] 陈志兴,郑怡,王瑶,等.双侧第二磨牙正锁殆对下颌骨发育和位置的影响[J].中华口腔正畸学杂志,2016,23(2):89-93.
Chen ZX, Zheng Y, Wang Y, et al. The effect of bilateral scissor bite of second molars on the growth and position

- of mandible[J]. *Chin J Orthod*, 2016, 23(2): 89-93.
- [16] 李爽, 张洪宇, 易周, 等. 单、双侧第二磨牙正锁颌与颞下颌关节退行性关节病的CBCT研究[J]. *实用口腔医学杂志*, 2023, 39(6): 774-778.
- Li S, Zhang HY, Yi Z, et al. A CBCT study on the relationship between unilateral and bilateral second molar scissors bite and temporomandibular joint degenerative joint disease[J]. *J Pract Stomatol*, 2023, 39(6): 774-778.
- [17] 魏子明, 林丽佳, 李旻劼, 等. 青少年单侧后牙正锁颌畸形患者双侧髁突在关节窝内位置及其形态变化研究[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2019, 12(7): 426-429.
- Wei ZM, Lin LJ, Li MJ, et al. Analysis of the position and morphology of the bilateral condyles in the articular fossa in adolescent patients with unilateral scissors-bite posterior molar[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2019, 12(7): 426-429.
- [18] Guercio Monaco E, De Stefano AA, Hernandez-Andara A, et al. Correlation between condylar size on CT and position of the articular disc on MRI of the temporomandibular joint[J]. *Cranio*, 2022, 40(1): 64-71.
- [19] 柴明珠, 李新. 夜磨牙、偏侧咀嚼患者颞下颌关节的锥形束CT研究[C]//第20次全国颞下颌关节病学及胎学研讨会暨第七届亚洲颞下颌关节学术大会. 北京: 中华口腔医学会颞下颌关节病学及胎学专业委员会, 2023: 347-348.
- Chai MZ, Li X. Conical beam CT study of temporomandibular joints in patients with night molar and lateral chewing[C]//Proceedings of the 20th annual meeting of society of temporomandibular disorders & occlusion and the 7th Asian academic congress for temporomandibular joint. Beijing: Professional Committee of Temporomandibular Arthropathy and Occlusion of Chinese Stomatological Association, 2023: 347-348.
- [20] Li CX, Xie X, Li MJ, et al. A pilot investigation of condylar position and asymmetry in patients with unilateral posterior scissors-bite malocclusion based on three-dimensional reconstructive imaging technique[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1): 253.
- [21] 吕云松, 李朝晖. 颞下颌关节紊乱综合征伴偏侧咀嚼患者锥形束CT特征分析[J]. *上海口腔医学*, 2022, 31(6): 653-656.
- Lü YS, Li ZH. Cone beam CT imaging findings in patients with temporomandibular joint disorder syndrome and unilateral chewing[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2022, 31(6): 653-656.
- [22] de Stefano AA, Guercio-Monaco E, Hernández-Andara A, et al. Association between temporomandibular joint disc position evaluated by magnetic resonance imaging and mandibular condyle inclination evaluated by computed tomography[J]. *J Oral Rehabil*, 2020, 47(6): 743-749.
- [23] Amorim MY, Alves MGO, Almeida JD, et al. Inclination of the condylar long axis is not related to temporomandibular disc displacement[J]. *J Invest Clin Dent*, 2019, 10(1): e12375.
- [24] 韩婧文, 王蕾, 任诗琦, 等. 青少年颞下颌关节形态特征与下颌骨三维方向生长的相关性研究[J]. *国际口腔医学杂志*, 2024, 51(4): 456-466.
- Han JW, Wang L, Ren SQ, et al. Correlation between morphological characteristics of the temporomandibular joint and three-dimensional mandibular growth in adolescents[J]. *Int J Stomatol*, 2024, 51(4): 456-466.
- [25] Tomonari H, Kubota T, Yagi T, et al. Posterior scissors-bite: masticatory jaw movement and muscle activity[J]. *J Oral Rehabil*, 2014, 41(4): 257-265.
- [26] Sritara S, Matsumoto Y, Lou YX, et al. Association between the temporomandibular joint morphology and chewing pattern[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(13): 2177.
- [27] Sezgin OS, Celenk P, Arici S. Mandibular asymmetry in different occlusion patterns[J]. *Angle Orthod*, 2007, 77(5): 803-807.
- [28] 孙舒寒, 马若晗, 衷尔静, 等. 单侧后牙正锁颌治疗前后髁突位置和形态CBCT研究[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2020, 27(4): 205-211.
- Sun SH, Ma RH, Zhong EJ, et al. The CBCT study of condylar positions and morphology changes in unilateral posterior scissors bite before and after orthodontic treatment[J]. *Chin J Orthod*, 2020, 27(4): 205-211.
- [29] 岳强, 车霄楠, 海云, 等. 基于CBCT分析正畸前后单侧后牙正锁颌的髁突变化[J]. *口腔医学*, 2017, 37(10): 910-913.
- Yue Q, Che XN, Hai Y, et al. Study on the condylar morphology and location of unilateral scissors bite posterior molar patients with orthodontic treatment based on CBCT[J]. *Stomatology*, 2017, 37(10): 910-913.
- [30] Paknahad M, Shahidi S. Association between mandibular condylar position and clinical dysfunction index[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2015, 43(4): 432-436.
- [31] Chang MS, Choi JH, Yang IH, et al. Association be-

- tween condylar bone density and disk displacement in the temporomandibular joint[J]. J Clin Densitom, 2022, 25(2): 215-222.
- [32] 牟婷琛,冯剑颖,阎帆,等.不同咀嚼压力对幼兔髁突软骨成骨的影响研究[J].口腔医学,2018,38(10):868-871.
- Mou TC, Feng JY, Yan F, et al. Effect of altered mastication on the osteogenesis of condylar cartilage[J]. Stomatology, 2018, 38(10): 868-871.
- [33] Tanaka E, Tanaka M, Watanabe M, et al. Influences of occlusal and skeletal discrepancies on biomechanical environment in the TMJ during maximum clenching: an analytic approach with the finite element method[J]. J Oral Rehabil, 2001, 28(9): 888-894.
- [34] Feng Y, Shu J, Liu Y, et al. Biomechanical analysis of temporomandibular joints during mandibular protrusion and retraction motions: a 3D finite element simulation[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2021, 208: 106299.
- [35] 武付花,黄迪炎,郭振国,等.三维有限元分析下颌骨不同部位受力髁突的力学应变[J].中国组织工程研究,2015,19(29):4667-4671.
- Wu FH, Huang DY, Guo ZG, et al. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution of mandibular condylar under indirect force[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2015, 19(29): 4667-4671.
- [36] 孙健,张富强,王冬梅,等.3种加载方式下正常人下颌骨三维有限元应力分布分析[J].上海口腔医学,2004,13(1):41-43.
- Sun J, Zhang FQ, Wang DM, et al. Stress analysis of the mandible by 3D FEA in normal human being under three loading conditions[J]. Shanghai J Stomatol, 2004, 13(1): 41-43.
- [37] Manfredini D, Perinetti G, Stellini E, et al. Prevalence of static and dynamic dental malocclusion features in subgroups of temporomandibular disorder patients: implications for the epidemiology of the TMD-occlusion association[J]. Quintessence Int, 2015, 46(4): 341-349.

(本文编辑 洪潇)

《口腔种植临床解剖学》出版发行

书籍名称: 口腔种植临床解剖学

主编: 邹多宏

出版日期: 2024年6月

出版社: 辽宁科学技术出版社

内容简介: 口腔种植学是近几十年中世界口腔医学领域里发展较快的一个专业。临床上,只有通过

对颌面部解剖学细节的把握,才能够避免对神经、血管等周围组织造成不必要的损伤,同时可以优化手术方案,提高手术的精准性。掌握颌面部与临床种植相关口腔解剖结构,并深刻理解解剖结构及其空间关系,是每一位口腔种植医生都需要面临的问题。本书基于对头颅颌面部的解剖结构记录,立足于剖析口腔临床种植技术的角度,遵循临床诊疗思路,描述了颌面部骨骼、神经、肌肉组织及其他重要解剖结构的临床解剖学特征。本书共有解剖原图照片1600余张,配合示意图简洁明了地对口腔种植临床解剖的要点及种植操作进行解释说明,使读者可以直观地了解其中的细节。本书不仅详细剖析了与口腔种植相关的局部解剖结构,还探讨了多种复杂手术方式的相关解剖结构,并进行种植示教,帮助读者更好地理解手术的过程、效果和潜在风险,从而提高对手术的信心。

