

成年女性高角骨性突面畸形患者颞下颌关节髁突锥形束CT三维影像研究

黄辉¹ 魏雅芹² 陈玉婷¹ 吴敏婷² 林嘉豪¹

¹华南理工大学附属第六医院口腔正畸科,佛山 528200; ²佛山市第二人民医院口腔科,佛山 528000

通信作者:黄辉,Email:344583013@qq.com

【摘要】目的 研究成年女性高角骨性突面畸形患者在正畸前后颞下颌关节(TMJ)髁突的锥形束计算机断层摄影术(CBCT)三维形态学变化,并探讨正畸治疗对TMJ结构的潜在影响。**方法** 本研究为对照研究,纳入2018年1月至2023年12月期间在华南理工大学附属第六医院和佛山市第二人民医院口腔科就诊的27例Ⅰ类高角骨性突面畸形和28例Ⅱ类高角骨性上颌前突面畸形的成年女性。所有患者在治疗前后均接受了颅颌面CBCT检查。测量参数包括关节上间隙、关节前间隙、关节后间隙、髁顶高度/表面积/体积、髁突高度/表面积/体积、关节窝高度/表面积/体积、下颌平面角(MP-SN)、后前面高比(S-Go/N-Me)和Y轴角,用以评估正畸治疗前后TMJ髁突的位置及形态变化。采用配对 t 检验(组内比较)和独立样本 t 检验(组间比较)对数据进行分析。**结果** 本研究成年女性Ⅰ类高角骨性突面畸形患者正畸治疗前后TMJ参数均未出现显著变化。Ⅱ类高角骨性上颌前突面畸形患者治疗后,髁突高度从 (16.28 ± 2.57) mm降低至 (14.00 ± 2.56) mm,差异有统计学意义($t=3.168, P=0.004$);体积从 $(1\ 512.46 \pm 223.50)$ mm³减少至 $(1\ 360.96 \pm 230.94)$ mm³,差异有统计学意义($t=2.377, P=0.025$);MP-SN角度从 $(40.99 \pm 3.97)^\circ$ 降低至 $(36.96 \pm 4.05)^\circ$,差异有统计学意义($t=3.580, P=0.001$);Y轴角从 $(69.72 \pm 3.38)^\circ$ 下降至 $(62.82 \pm 3.36)^\circ$,差异有统计学意义($t=7.145, P<0.001$);关节后间隙从 (2.23 ± 0.40) mm增加至 (2.50 ± 0.36) mm,差异有统计学意义($t=-2.476, P=0.020$);关节前间隙从 (2.83 ± 0.36) mm缩小至 (2.55 ± 0.34) mm,差异有统计学意义($t=2.843, P=0.008$);关节窝形态参数无显著变化。组间对比显示,Ⅱ类患者的髁突高度变化量($P=0.011$)、体积变化量($P=0.031$)及Y轴角变化量($P<0.001$)均大于Ⅰ类患者,差异均有统计学意义。**结论** 高角突面畸形患者的正畸治疗通过垂直向控制改善咬合关系。Ⅰ类患者的TMJ结构在治疗后保持稳定,关节间隙、髁突及关节窝形态均未发生显著改变;而Ⅱ类患者髁突表现出明显的适应性前下移位,提示针对Ⅱ类高角上颌前突患者的正畸设计需关注髁突适应性改建对咬合功能及颌骨位置的影响。

【关键词】 骨性突面畸形; 成人女性; 高角; 颞下颌关节; 髁突; 锥形束计算机断层摄影术
基金项目: 佛山市自筹经费类科技创新项目(2220001004517)

引用著录格式: 黄辉,魏雅芹,陈玉婷,等.成年女性高角骨性突面畸形患者颞下颌关节髁突锥形束CT三维影像研究[J/OL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2025,19(1):41-48.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.01.006

Three-dimensional cone-beam CT study on temporomandibular condylar changes before and after orthodontic treatment in adult female patients with high-angle protrusive malocclusion

Huang Hui¹, Wei Yaqin², Chen Yuting¹, Wu Minting², Lin Jiahao¹

¹Department of Orthodontics, The Sixth Affiliated Hospital of South China University of Technology, Foshan 528200, China; ²Department of Stomatology, The Second People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, China

Corresponding author: Huang Hui, Email: 344583013@qq.com

【Abstract】 Objective To investigate the three-dimensional morphological changes of the temporomandibular joint (TMJ) condyle in adult females with high-angle skeletal maxillary protrusion before and after orthodontic treatment using cone-beam computed tomography (CBCT), and to assess the

structural adaptation of TMJ induced by orthodontic treatment. **Methods** This controlled study enrolled 27 class I and 28 class II high-angle skeletal maxillary protrusion patients treated between January 2018 and December 2023 in the Sixth Affiliated Hospital of South China University of Technology and the Second People's Hospital of Foshan. Pre- and post-treatment CBCT scans were analyzed for joint spaces, condylar/articular fossa morphology (height/volume/surface area), and skeletal parameters (MP-SN angle, S-Go/N-Me ratio, Y-axis angle). Paired and independent *t*-tests were applied for within- and between-group comparisons ($\alpha = 0.05$). **Results** In class I high-angle patients, no significant post-treatment changes were observed in TMJ parameters: Superior joint space [(3.19 ± 0.62) mm vs. (3.02 ± 0.67) mm, $t = 0.998$, $P = 0.328$], anterior joint space [(2.44 ± 0.32) mm vs. (2.52 ± 0.48) mm, $t = -0.859$, $P = 0.398$], posterior joint space [(2.48 ± 0.34) mm vs. (2.43 ± 0.28) mm, $t = 0.603$, $P = 0.552$], condylar apex height [(6.54 ± 0.74) mm vs. (6.69 ± 0.74) mm, $t = -0.801$, $P = 0.431$], condylar apex volume [(452.91 ± 35.90) mm³ vs. (472.18 ± 57.97) mm³, $t = -1.407$, $P = 0.171$], condylar height [(18.18 ± 2.44) mm vs. (18.92 ± 4.30) mm, $t = -0.819$, $P = 0.420$], and condylar volume [(1 690.07 ± 214.94) mm³ vs. (1 754.38 ± 348.92) mm³, $t = -0.869$, $P = 0.393$]. Articular fossa morphology and skeletal parameters also remained stable. In class II high-angle patients, significant post-treatment reductions were observed: Condylar height [(16.28 ± 2.57) mm vs. (14.00 ± 2.56) mm, $t = 3.168$, $P = 0.004$], condylar volume [(1 512.46 ± 223.50) mm³ vs. (1 360.96 ± 230.94) mm³, $t = 2.377$, $P = 0.025$], MP-SN angle [(40.99 ± 3.97)° vs. (36.96 ± 4.05)°, $t = 3.580$, $P = 0.001$], Y-axis angle [(69.72 ± 3.38)° vs. (62.82 ± 3.36)°, $t = 7.145$, $P < 0.001$], with concurrent adjustments in joint spaces [posterior: (2.23 ± 0.40) mm vs. (2.50 ± 0.36) mm, $t = -2.476$, $P = 0.020$; anterior: (2.83 ± 0.36) mm vs. (2.55 ± 0.34) mm, $t = 2.843$, $P = 0.008$]. Intergroup comparisons revealed greater post-treatment changes in class II for condylar height ($P = 0.011$), condylar volume ($P = 0.031$), and Y-axis angle ($P < 0.001$). **Conclusions** Orthodontic vertical control effectively improved occlusion in high-angle malocclusion patients. In class I cases, TMJ structures remained stable after treatment, with no significant changes in joint space, condylar morphology, and articular fossa. In contrast, class II patients exhibited biomechanical adaptation through anterior-inferior condylar repositioning, accompanied by significant reductions in condylar volume and Y-axis angle. These findings underscored the necessity of individualized treatment strategies to harmonize occlusal function with condylar remodeling, particularly in class II high-angle maxillary protrusion cases.

[Key words] Skeletal protrusive malocclusion; Adult female; High-angle; Temporomandibular joint; Condyle; Cone-beam computed tomography

Fund program: Self-financed Science and Technology Innovation Projects of Foshan (2220001004517)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.01.006

近年来,随着锥形束计算机断层摄影术(cone-beam computed tomography, CBCT)的广泛应用,临床研究得以更全面地分析颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)在正畸治疗过程中的适应性重塑。既往研究表明,高角突面畸形患者由于解剖特征,如髁突负荷分布不均和下颌平面角较大,其TMJ在咬合力或正畸力作用下更易发生适应性变化,尤其在骨性II类患者中表现显著^[1]。传统的二维影像难以全面量化这些变化,而CBCT通过高精度三维重建,可准确测量关节间隙、髁突体积及位置变化^[2]。

TMJ的适应性改建是正畸学研究的重要方向^[3-4],尤其在成人患者中, TMJ结构的稳定性和功能适应

性对正畸治疗结果具有重要影响。II类骨性高角上颌前突患者因上颌前突、下颌相对后缩,在正畸治疗的垂直向控制及下颌位置调整中可能通过髁突的适应性变化缓解关节负荷,进而影响关节窝和髁突的三维结构。

本研究旨在利用CBCT三维影像数据,探讨骨性I类和II类高角患者的TMJ变化及其与不同拔牙方案的关系。骨性I类采用上4下4拔牙方案,结合上下颌支抗钉以控制垂直向变化;而骨性II类由于下颌后缩的特征,采用上4下5拔牙方案,仅在上颌使用支抗钉,矫治目标聚焦于上颌后牙压低及下颌逆旋。通过对比两类患者的TMJ变化,明确拔牙方案与矫治目标对TMJ结构适应性的具体影响。

资料与方法

一、研究对象

本研究为临床对照研究,纳入2018年1月至2023年12月期间在华南理工大学附属第六医院和佛山市第二人民医院口腔科就诊的27例Ⅰ类高角突面畸形患者和28例Ⅱ类骨性高角上颌前突突面畸形患者,共计55例成人女性患者作为研究对象。所有患者的治疗均有签署知情同意书,治疗开始平均年龄(23.35 ± 3.76)岁,治疗平均总时长(35.01 ± 5.97)个月。所有患者均保留有治疗前后的口腔CBCT及头颅侧位影像检查,以评估髁突、颌骨位置、关节间隙和下颌骨位置的变化情况。本研究获得佛山市南海区人民医院医学伦理委员会的批准(批准号:2022215)。

二、研究的纳入和排除标准

1. 纳入标准:(1)年龄18~30岁。(2)错殆分类:符合骨性高角突面畸形拔除4颗前磨牙矫治的标准。①Ⅰ类高角双颌前突突面畸形(图1):符合骨性Ⅰ类双颌前突错殆, $SNA > 84^\circ$ 且 $ANB = -2^\circ \sim 4.7^\circ$;②Ⅱ类骨性高角上颌前突突面畸形:符合Ⅱ类骨性错殆, $SNA > 84^\circ$ 且 $ANB > 4.7^\circ$ 。(3)高角特征:下颌平面角(MP-SN)为高角型,矫治前 $MP-SN \geq 37^\circ$ 或后前面高比(S-Go/N-Me) $\leq 62\%$ ^[5]。(4)治疗方案:

由所有患者的治疗由同一医师实施,均采用MBT固定矫治技术,根据不同患者的骨骼特征选择拔牙方案和支抗策略。①骨性Ⅰ类高角患者:采用上4下4拔牙方式,即拔除上颌第一前磨牙和下颌第一前磨牙,同时在上下颌均使用支抗钉(上颌支抗钉位于第二前磨牙和第一磨牙之间,下颌支抗钉位于外斜线区域),以实现全面的垂直向控制,防止后牙伸长。②骨性Ⅱ类高角患者:采用上4下5拔牙方式,即拔除上颌第一前磨牙和下颌第二前磨牙,仅在上颌使用支抗钉,主要用于上颌后牙压低,从而改善下颌逆旋及前移。由于下颌后缩的特征,下颌未使用支抗钉,力学调整通过其他方式完成。所有患者的正畸治疗均以改善咬合关系和控制颌平面为目标,磨牙前移目标为1~2 mm。施力参数设定为100~200 g,结合0.019英寸 \times 0.025英寸(1英寸=25.4 mm)不锈钢弓丝控制牙齿移动,并通过滑动法关闭间隙。(5)牙列要求:完整恒牙列(不包括第三磨牙),无严重磨耗,且无明显偏侧咀嚼习惯,偏侧咀嚼的判定由临床医师通过口腔功能检查和患者自述进行记录。(6)影像数据:治疗前后均具备有清晰的CBCT影像数据,CBCT扫描参数为电压90 kV、电流11 mA、曝光时间10.4 s、视野16 cm \times 18 cm(范围涵盖TMJ区域)、体素0.3 mm,选择最佳质量模式。

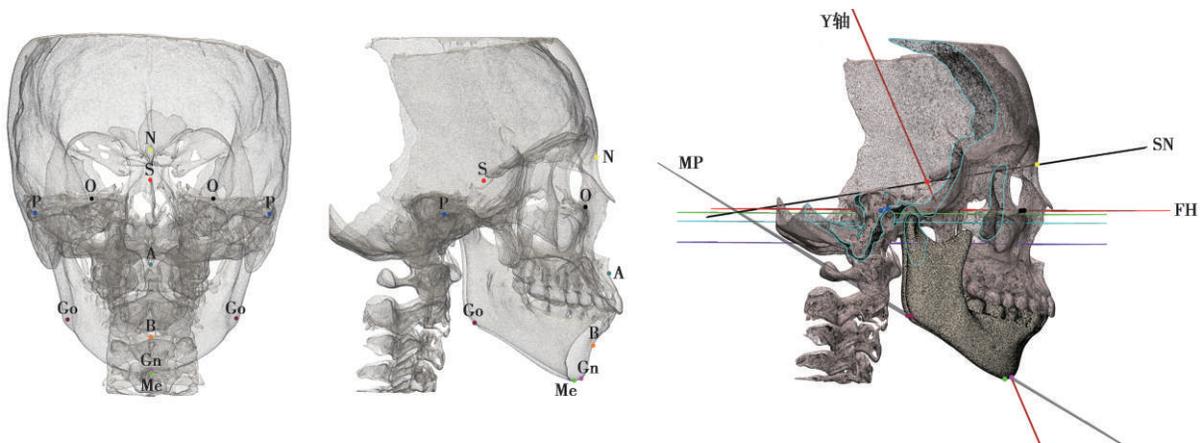


图1 口腔锥形束CT头面部骨骼三维构建标志点、参考平面及分割界面示意图 关键标志点:鼻根点(Nasion),即鼻额缝最前点;蝶鞍点(S),即垂体窝中心点;眶点(O),即眶下缘最低点;耳点(P),即外耳道上缘中点;上齿槽座点(A),即上颌前鼻棘与上中切牙槽嵴连线中点;下齿槽座点(B),即下颌颌前点与下中切牙槽嵴连线中点;下颌角点(Go),即下颌角后下最突出点;颌顶点(Gn),即颌部最前下点;颌下点(Me),即下颌下缘最低点。参考平面:下颌平面(MP),通过下颌角点(Go)与颌顶点(Gn)连线;眼耳平面(FH),通过耳点(P)与眶点(O)连线;前颅底平面(SN),通过蝶鞍点(S)与鼻根点(N)连线;以及Y轴,通过蝶鞍点(S)与颌顶点(Gn)连线的矢状轴。分割界面基于眼耳平面(FH)平行构建,绿色平面为通过髁突最高点的冠状切面,蓝色平面为通过关节结节最低点的矢状切面,紫色平面为通过乙状切迹最低点的水平切面。角度和比值: SNA 角为蝶鞍点(S)、鼻根点(N)与上齿槽座点(A)构成的角度; SNB 角为蝶鞍点(S)、鼻根点(N)与下齿槽座点(B)构成的角度; ANB 角为上齿槽座点(A)、鼻根点(N)与下齿槽座点(B)构成的角度。下颌平面角($MP-SN^\circ$)为下颌平面(MP)与前颅底平面(SN)的交角;Y轴角($SGn-FH^\circ$)为蝶鞍点(S)与颌顶点(Gn)连线(SGn)与眼耳平面(FH)相交的下前角;后前面高比(S-Go/N-Me%)为后面高(S-Go)与全面高(N-Me)的比值。

2. 排除标准:(1)颞下颌关节紊乱:TMJ功能障碍量表(Helkimo指数)量化评分结合CT影像,排除有明确颞下颌关节紊乱症状的患者,包括关节疼痛、弹响或张口受限等。(2)影像异常:排除影像显示TMJ有明显骨质吸收、骨皮质不连续,或双侧影像对称性差异显著(骨量差异超过10%或明显影像学异常)。(3)面部不对称:面部结构明显不对称的患者不纳入研究,具体标准为颞点偏离面部中线 $\geq 3\text{ mm}$ ^[6]。偏差的测量由CBCT影像上对称性分析完成,所有测量均由经验丰富的影像分析人员进行,以确保测量精度。(4)既往病史:排除既往有唇腭裂、颌面部外伤或TMJ创伤史的患者,确保无潜在的骨结构影响因素。(5)全身性疾病:排除可能影响TMJ形态的全身性疾病患者,包括风湿性关节炎、强直性脊柱炎及其他骨代谢类疾病。(6)治疗史:排除既往接受过正畸治疗或颌骨手术的患者,确保所有患者为首次接受正畸治疗。(7)异常咬合:鉴别通过CBCT影像和临床咬合检查相结合。

三、样本量计算

本研究使用G*Power软件(3.1,英国基尔大学)进行样本量计算,以确保组间对照设计的统计效能。具体参数设置^[7]为显著性水平 $\alpha=0.05$,统计功效为80%,并假设效应量为0.8。考虑到本研究需比较高角I类和II类两组间的差异,选择独立样本 t 检验作为统计分析方法。计算结果显示,为确保数据的完整性并减少因失访或影像数据不合格可能带来的偏差,每组至少需要26例患者才能达到预期的统计效能。实际最终纳入了55例患者,其中高角I类组27例、高角II类组28例(图2)。

四、研究方法

1. 数据采集:所有研究对象均在矫治前后接受CBCT扫描,使用口腔CBCT(NewTom GIANO,意大利)采集影像。为确保头颅位置一致性,所有受试者均采用额板和颌托固定颅面部位置,并保持在头姿势位和最大牙尖交错位。影像数据以DICOM格式导出,作为三维重建和分析的标准化影像基础。

2. 图像重建:将DICOM格式的影像数据导入Mimics 21.0软件(Materialise,比利时)进行处理。调整头颅角度,以确保正中矢状线通过鼻中隔和枕骨大孔的中心线,且轴位与眶耳平面平行。使用灰度阈值调整精确提取TMJ轮廓,并在必要时采用半自动分割法进行手动调整,去除关节周围多余组织。通过区域增长工具选择髁突区域,生成三维模型并

导出为STL格式。随后,使用Geomagic Wrap 2021(Oqton,美国)优化表面,最后在3-Matic 18.0(Materialise,比利时)中完成髁突三维数据的测量和分析(图1、3)。

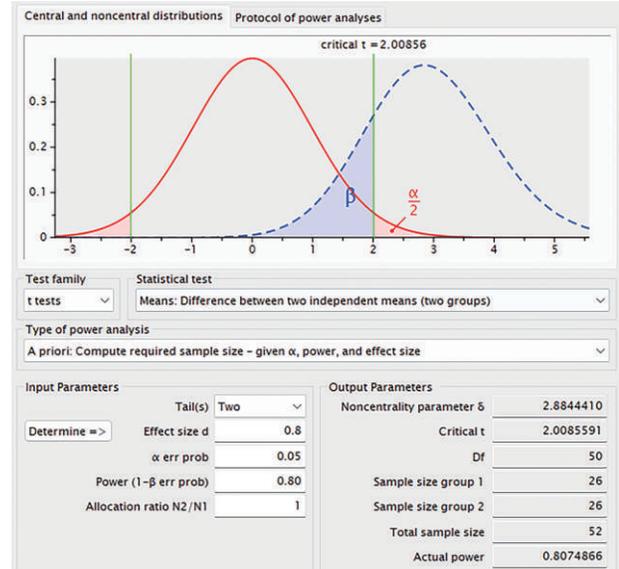


图2 成年女性高角骨性突面畸形患者样本量经G*Power软件计算

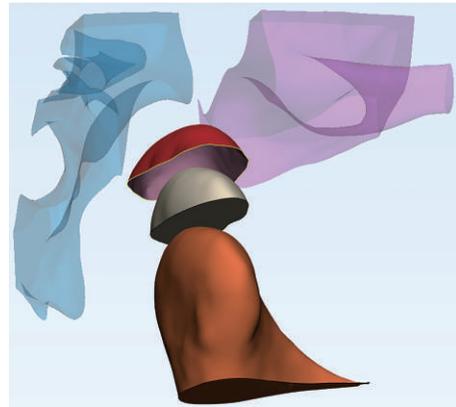


图3 颞下颌关节三维分割重建示意图 红色区域为关节窝整体,灰色为髁突顶部(髁顶),褐色为髁突主体。关节窝沿矢状方向均分为前后两部分,前1/2区域以紫色标注,后1/2区域以蓝色标注。分割基于锥形束CT数据,通过空间定位区分髁顶、髁突及关节窝不同解剖区域,以直观对比三维形态特征。

3. 测量项目:使用颌骨影像三维重建技术对颞颌关节、下颌位置进行量化分析。测量参数共15项,包括关节上间隙、关节前间隙、关节后间隙、髁顶高度/表面积/体积、髁突高度/表面积/体积、关节窝高度/表面积/体积、下颌平面角FMA、Y轴角及S-Go/N-Me比例。测量项目名称及定义见表1。

五、统计学处理方法

在本实验中,TMJ的三维重建和指标测量均由同一位正畸医生在连续时间内独立完成。为验证

表1 颞下颌相关测量项目及定义

测量项目	定义
关节上间隙(superior joint space, Sjs)	髁突上曲面和通过关节窝最高点的最短距离
关节前间隙(anterior joint space, Ajs)	髁突前曲面与关节窝前壁之间的最短距离
关节后间隙(posterior joint space, Pjs)	髁突后曲面与关节窝后壁之间的最短距离
髁顶高度(height of condyle head, Hch)	从关节结节最低点平行于眶耳平面做切面,髁突顶点与该切面的垂直距离
髁顶面积(surface area of the condyle head, Sch)	从关节结节最低点平行于眶耳平面做切面,分割出髁顶的三维模型,并测量表面积
髁顶体积(volume of the condyle head, Vch)	从关节结节最低点平行于眶耳平面做切面,分割出髁顶的三维模型,并测量体积
髁突高度(height of the condyle, Hc)	从乙状切迹最低点平行于眶耳平面做切面,髁突顶点与该切面的垂直距离
髁突面积(surface area of the condyle, Sc)	从乙状切迹最低点平行于眶耳平面做切面,分割出髁突的三维模型,并测量表面积
髁突体积(volume of the condyle, Vc)	从乙状切迹最低点平行于眶耳平面做切面,分割出髁突的三维模型,并测量体积
关节窝高度(height of the glenoid fossa, Hgf)	从颞下颌关节窝最外侧缘点平行于眶耳平面做切面,关节窝顶点与该切面的垂直距离
关节窝面积(surface area of the glenoid fossa, Sgf)	从颞下颌关节窝最外侧缘点平行于眶耳平面做切面,分割出关节窝的三维模型,并测量表面积
关节窝体积(volume of the glenoid fossa, Vgf)	从颞下颌关节窝最外侧缘点平行于眶耳平面做切面,分割出关节窝的三维模型,并测量体积
下颌平面角(MP-SN)	下颌平面(MP)与前颅底平面(FH)的交角
后前面高比(S-Go/N-Me)	后面高(S-Go)与全面高(N-Me)的比值
Y轴角(SGn-FH)	蝶鞍中心与颞顶连线(SGn)与眶耳平面(FH)相交的下前角

测量结果的可靠性,所有项目在初次测量后2周重复测量,并通过计算组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)进行一致性分析。结果显示,所有测量指标的ICC值均大于0.9,表明一致性良好。因此,最终统计分析基于2次测量的平均值,以提高结果的稳定性和可靠性。

本研究的统计分析通过SPSS 27.0统计学软件完成。首先,使用Shapiro-Wilk检验评估数据的正态性,使用Levene检验评估方差齐性。对于符合正态分布且满足方差齐性的数据,组内比较使用配对样本 t 检验,组间比较使用独立样本 t 检验;对于不符合正态分布的数据,分别使用Wilcoxon符号秩检验(组内)和Mann-Whitney U 检验(组间)进行分析。在组间比较中,若Levene检验显示方差齐性假设不成立($P < 0.05$),则使用Welch's t 检验以确保结果的准确性。

此外,为进一步比较两组患者在各测量参数变化量(差值)上的差异,根据差值的正态性和方差齐性,选择独立样本 t 检验或Mann-Whitney U 检验进行分析。为控制多重比较导致的假阳性率增加,研究采用Benjamini-Hochberg校正方法调整显著性水平。检验水准双侧 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

一、患者基本情况

对比I类高角突面畸形和II类高角骨性上颌前突面畸形患者的年龄差异,独立样本 t 检验显

示,27例I类高角突面畸形患者平均年龄为(22.48±3.56)岁,28例II类高角骨性上颌前突面畸形患者为(24.18±3.75)岁,两组间年龄差异无统计学意义($t = -1.687, P = 0.097$)。

二、正畸治疗前后颞颌髁突、关节窝及相关指标的变化及组内组间对比情况

1. I类高角骨性突面畸形患者正畸治疗前后颞颌髁突、关节窝及相关指标的变化:骨性I类高角患者在治疗中应用上下颌支抗钉,其关节间隙、髁突、髁顶和关节窝等指标在治疗前后均未出现显著变化($P > 0.05$,表2),表明其TMJ结构稳定性较好,矫治方案对关节形态影响有限。

2. II类高角骨性上颌前突面畸形患者正畸治疗前后颞颌髁突、关节窝及相关指标的变化:II类高角骨性上颌前突面畸形患者仅在上颌使用支抗钉,治疗前后;髁突、髁顶、关节间隙、MP-SN角度、后前面高比S-Go/N-Me和Y轴角变化差异具有统计学意义($P < 0.05$),关节窝变化差异不明显($P > 0.05$)。正畸治疗后,髁顶高度从(6.04±0.82)mm降低至(5.65±0.77)mm,髁顶面积由(271.36±32.69)mm²减少至(237.29±45.59)mm²,髁顶体积从(422.30±48.74)mm³下降至(393.39±46.45)mm³,关节上间隙由(2.91±0.68)mm增加至(3.39±0.77)mm,关节后间隙由(2.23±0.40)mm增加至(2.50±0.36)mm,关节前间隙从(2.83±0.36)mm缩小至(2.55±0.34)mm,这些变化伴随下颌平面角MP-SN从(40.99±3.97)°

表2 骨性 I 类高角患者正畸治疗前后颞颌髁突、关节窝及相关治疗的变化及组内组间对比

指标	I 类($\bar{x} \pm s$)			II 类($\bar{x} \pm s$)			术前组间对照		术后减术前差值组间对照	
	术前	术后	t 值	P 值	术前	术后	t 值	P 值	t 值	P 值
关节上间隙(mm)	3.19±0.62	3.02±0.67	0.998	0.328	2.91±0.68	3.39±0.77	-2.296	0.030*	1.570	0.122
关节后间隙(mm)	2.48±0.34	2.43±0.28	0.603	0.552	2.23±0.40	2.50±0.36	-2.476	0.020*	2.424	0.019*
关节前间隙(mm)	2.44±0.32	2.52±0.48	-0.859	0.398	2.83±0.36	2.55±0.34	2.843	0.008*	-4.187	0.000*
关节窝高度(mm)	5.10±0.50	5.10±0.47	0.005	0.996	4.63±0.46	4.57±0.43	0.470	0.642	3.594	0.001*
关节窝面积(mm ²)	333.26±35.99	320.22±43.01	1.228	0.231	304.72±40.78	292.47±49.38	1.075	0.292	2.698	0.009*
关节窝体积(mm ³)	671.95±90.16	702.56±119.30	-1.141	0.264	615.33±95.43	589.02±103.10	0.944	0.353	2.219	0.031*
髁顶高度(mm)	6.54±0.74	6.69±0.74	-0.801	0.431	6.04±0.82	5.65±0.77	2.374	0.025*	2.333	0.023*
髁顶面积(mm ²)	250.74±36.37	273.04±46.15	-1.900	0.069	271.36±32.69	237.29±45.59	2.837	0.009*	-2.172	0.034*
髁顶体积(mm ³)	452.91±35.90	472.18±57.97	-1.407	0.171	422.30±48.74	393.39±46.45	2.593	0.015*	2.597	0.012*
髁突高度(mm)	18.18±2.44	18.92±4.30	-0.819	0.420	16.28±2.57	14.00±2.56	3.168	0.004*	2.759	0.008*
髁突面积(mm ²)	811.07±101.66	840.34±115.49	-0.977	0.338	755.59±92.02	679.61±132.48	2.740	0.011*	2.084	0.042*
髁突体积(mm ³)	1 690.07±214.94	1 754.38±348.92	-0.869	0.393	1 512.46±223.50	1 360.96±230.94	2.377	0.025*	2.947	0.005*
MP-SN(°)	38.72±3.23	38.81±5.07	-0.051	0.960	40.99±3.97	36.96±4.05	3.580	0.001*	-2.240	0.029*
S-Go/N-Me(°)	63.26±1.35	62.67±1.54	1.448	0.160	60.44±1.49	62.16±1.50	-4.018	0.000*	7.222	0.000*
Y轴角(°)	62.49±2.85	62.17±3.34	0.365	0.718	69.72±3.38	62.82±3.36	7.145	0.000*	-8.394	0.000*

注: *表示差异具有统计学意义。

减小至(36.96 ± 4.05)°,后前面高比 S-Go/N-Me 由(60.44 ± 1.49)%升高至(62.16 ± 1.50)%,Y轴角由(69.72 ± 3.38)°下降至(62.82 ± 3.36)°。提示,通过上颌支抗钉限制上颌后牙伸长,逆旋下颌,有利于改善TMJ负荷分布,结果显示 II 类患者在正畸治疗过程中 TMJ 结构发生适应性调整,髁突向前下方位移。

3. I 类高角骨性突面畸形患者与 II 类高角骨性上颌前突突面畸形患者正畸治疗前和正畸治疗后组内前后差值的颞颌髁突、关节窝及相关指标的组间对比:(1)正畸治疗前组间对比, II 类高角骨性上颌前突突面畸形患者的关节前后间隙、髁顶、髁突、关节窝、MP-SN 角度、后前面高比 S-Go/N-Me,以及 Y 轴角与 I 类高角突面畸形患者差异有统计学意义($P < 0.05$),关节上间隙与 I 类高角突面畸形患者差异无统计学意义($P > 0.05$)。正畸治疗后差值组间对比:(2) II 类高角骨性上颌前突突面畸形患者的关节间隙、髁顶、髁突、MP-SN 角度、后前面高比 S-Go/N-Me,以及 Y 轴角改变量与 I 类高角突面畸形患者差异有统计学意义($P < 0.05$),关节窝改变量与 I 类高角突面畸形患者差异无统计学意义($P > 0.05$)。

讨论

一、锥形束 CT 在颞下颌关节三维评估中的优势

近年来,CBCT 的应用显著提高了正畸学对 TMJ 结构的三维观察精度,尤其在髁突形态、关节窝深度和空间位置的量化分析上提供了可靠支持。相比于传统二维影像技术,CBCT 能够清晰展现 TMJ 的复杂三维结构,如髁突的高度、体积及空间角度,从而大幅提升了分析的准确性和灵敏度。传统 Cohlma 法^[8-9]仅能获得二维平面数据,难以全面捕捉髁突及关节窝的微小形态变化。而 Almashraqi 等^[10]通过系统评价影像学方法的可靠性与全面性,提出高分辨率、宽视野、0.3 mm 体素分辨率的多角度 CBCT 重建(包括线性、角度、表面积和体积测量)能为 TMJ 量化测量提供科学支持。

在本研究中,CBCT 的高精度三维重建影像数据用于准确量化髁顶高度、髁突体积和关节间隙等参数。结果显示, I 类高角突面畸形患者正畸治疗前后髁突差异无统计学意义,而 II 类高

角骨性上颌前突患者的髁突体积从($1\ 512.46 \pm 223.50$) mm显著降低至($1\ 360.96 \pm 230.94$) mm,差异有统计学意义($t=2.377, P=0.025$),表明CBCT对髁突体积细微变化的高敏感性。同样地,CBCT在髁突高度变化的监测中也具有独特优势,能够检测到Ⅱ类患者髁突高度从(16.28 ± 2.57) mm显著降低至(14.00 ± 2.56) mm,差异有统计学意义($t=3.168, P=0.004$)。此外,CBCT还为下颌骨平面角(如MP-SN角度)提供了精确数值,为全面的TMJ结构分析提供了重要技术支持。

二、Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形的解剖特征

Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形在TMJ关节窝和髁突形态上存在一定的特征和区别:Ⅰ类高角突面畸形患者后牙关系较为稳定,下颌平面角通常较大,Y轴角偏高,后前面高比偏小,具有较为明显的面部高角特征,TMJ及髁突位置相对恒定;Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形患者髁突形态较易受到上颌前突的影响,与之相关的生长发育刺激与Ⅰ类亦有所不同,关节窝一般较浅,下颌平面角、Y轴角及后前面高比值通常比Ⅰ类高角患者更大,骨性Ⅱ类高角度错殆患者的TMJ结构不稳定,控制面高和促进逆旋是成功治疗该类畸形的关键^[11]。

三、Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形支抗使用差异性分析

骨性Ⅰ类高角患者采用上下颌支抗钉的方案,治疗中垂直向控制充分,髁突及关节间隙变化不明显($P>0.05$),提示其TMJ适应性稳定。这可能与其矢状和垂直向力学分布均衡、后牙关系稳定有关。骨性Ⅱ类高角患者仅在上颌使用支抗钉,通过上颌后牙压低和矫治力的调整,显著改善了下颌逆旋及髁突负荷分布。研究结果显示其髁突体积和高度显著下降,同时Y轴角和MP-SN角显著变化($P<0.05$),表明该方案在改善TMJ适应性方面的有效性。这一设计避免了因下颌后缩特征增加种植钉负荷的风险,同时实现了下颌功能和美观的优化。

四、Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形颞下颌关节适应性变化的原因分析

本研究显示了Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸患者在正畸治疗过程中TMJ适应性改建的不同表现。Ⅰ类高角突面畸形患者在髁突高度、体积和关节间隙等方面的变化不显著,提示其TMJ结构相对稳定,正畸治疗对TMJ结构

的影响有限。Ⅰ类患者通常具有较稳定的后牙关系,其矢状和垂直向的力学分布更均衡,因此TMJ承受的负荷较小,髁突的适应性变化相对较小。

相比之下,Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸患者在髁突高度、体积、髁顶面积和关节上、前间隙方面均出现显著变化($P<0.05$),其上颌前突、下颌相对靠后的解剖特征导致髁突负荷较大,正畸治疗的力学调整会引起髁突在TMJ中的适应性位置变化^[12-13],导致髁突向前、下方位移^[14-15]。CBCT数据显示正畸治疗后Ⅱ类患者的髁顶及髁突体积显著减少。Shi等^[16]研究认为,髁突表现出的体积减小可能与髁突受到的压力调整及关节负荷的变化相关。本研究认为,这一变化还可能与正畸治疗咬合位置调整的终末目标位及髁突和下颌测量所采用的参考平面有关。矫治前后Ⅰ类高角骨性突面畸形和Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形患者均无显著的关节窝形态变化。Lin等^[17]研究认为,尽管关节窝可能受到不同功能负荷和咬合力的影响,可能与关节窝形态在成年后趋于稳定,其关节窝形态的适应性变化空间较小,从而导致矫治前后关节窝的显著变化不明显,正畸治疗对其影响有限。这与Zhou等^[18]研究一致,认为尽管关节窝可能受到不同功能负荷和咬合力的影响,可能与关节窝形态在成年后趋于稳定,其关节窝形态的适应性变化空间较小,从而导致矫治前后关节窝的显著变化不明显,正畸治疗对其影响有限。

五、Ⅱ类高角骨性上颌前突患者下颌逆旋的重要性和潜在机制

在本研究中,Ⅱ类高角骨性上颌前突突面畸形患者正畸治疗后下颌平面角(MP-SN)和Y轴角的显著变化($P<0.05$)显示出下颌的逆旋趋势。这一现象对TMJ的适应性改建具有重要意义,逆时针旋转的下颌平面不仅能够改善面部美观,还能在髁突和关节窝之间的负荷分布中起到减压作用,从而减少TMJ区域的局部应力积聚^[19],以实现关节功能的稳定^[20]。

本研究中,垂直向控制主要通过种植体支抗限制上颌后牙的向下伸长,同时压低后牙,控制颌平面,从而有效抑制了面部的垂直伸长趋势,减轻了下颌的被动后退。通过这些力学控制措施,使下颌获得逆时针旋转的条件,实现了下颌向前、向上的移动。这种逆时针旋转不仅减少了面部下1/3的垂直高度,改善了面部的突度,还对咬合关系产生了积极的调整效果,使患者的面部轮廓更为协调,为Ⅱ类高角突面畸形患者带来了更理想的正畸治疗效果。

六、研究局限性及未来方向

本研究主要集中在成年女性高角骨性突面畸形患者TMJ结构变化上。未来研究应进一步扩大样本量,纳入不同年龄段、不同性别的患者,以全面评估正畸治疗对TMJ适应性改建的长期效果^[17,21]。此外,建议结合多维度数据,包括功能性磁共振成像(MRI)和力学建模,进一步探索TMJ适应性变化的生物力学机制,通过整合CBCT的三维结构数据与力学模型,可优化个体化正畸治疗方案,实现TMJ结构的稳定性与矫治效果的最佳平衡。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 黄辉:论文修改、经费支持;魏雅芹、陈玉婷:数据整理、统计分析;吴敏婷、林嘉豪:实验设计、数据采集

参 考 文 献

- [1] 李晨. 不同垂直骨面型骨性Ⅱ类成年女性颞下颌关节骨性结构的三维分析[D]. 西安:第四军医大学, 2016.
- [2] Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: Assessment of treatment outcomes and indications for its use [J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2015, 44(1):20140282. DOI: 10.1259/dmfr.20140282.
- [3] Zheng J, Zhang Y, Wu Q, et al. Three-dimensional spatial analysis of the temporomandibular joint in adult patients with class II division 2 malocclusion before and after orthodontic treatment: A retrospective study[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1):477. DOI: 10.1186/s12903-023-03210-9.
- [4] Rustia S, Lam J, Tahir P, et al. Three-dimensional morphologic changes in the temporomandibular joint in asymptomatic patients who undergo orthodontic treatment: A systematic review[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2022, 134(3):397-406. DOI: 10.1016/j.oooo.2022.05.003.
- [5] 韦钰, 张国瑞, 刘一宁, 等. 骨性Ⅱ类错颌伴高角成人下颌垂直向高度控制与颌下颞下颌关节变化的锥形束CT分析[J]. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(11): 1147-1155. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20220301-00086.
- [6] 周境, 刘怡. 不同垂直骨面型骨性Ⅱ类青少年女性颞下颌关节锥形束CT测量分析[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2021, 53(1):109-119. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2021.01.017.
- [7] 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.
- [8] Chen Y, Wang J, Li Y, et al. Age-related variations in position and morphology of the temporomandibular joint in individuals with anterior openbite and crossbite: A multi-cross-sectional comparative study [J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 200. DOI: 10.1186/s12903-022-02236-9.
- [9] Chae JM, Park JH, Tai K, et al. Evaluation of condyle-fossa relationships in adolescents with various skeletal patterns using cone-beam computed tomography [J]. *Angle Orthod*, 2020, 90(2):224-232. DOI: 10.2319/052919-369.1.
- [10] Almashraqi AA, Sayed BA, Mokli LK, et al. Recommendations for standard criteria for the positional and morphological evaluation of temporomandibular joint osseous structures using cone-beam CT: A systematic review [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(5):3126-3140. DOI: 10.1007/s00330-023-10248-4.
- [11] 沈丹阳, 胡丽华, 左思慧, 等. 骨性Ⅱ类高角错颌正畸治疗的稳定性随访[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2018, 25(1):52-55. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-5760.2018.01.012.
- [12] Koide D, Yamada K, Yamaguchi A, et al. Morphological changes in the temporomandibular joint after orthodontic treatment for Angle class II malocclusion [J]. *Cranio*, 2018, 36(1): 35-43. DOI: 10.1080/08869634.2017.1285218.
- [13] 沈刚. SGTB矫形诱发髁突改建的生物机制及临床意义[J]. *上海口腔医学*, 2018, 27(3): 225-229. DOI: 10.19439/j.sjos.2018.03.001.
- [14] 毛渤海, 田雅婧, 王雪东, 等. 骨性Ⅱ类高角患者拔牙矫治前后的面部软硬组织变化[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2024, 56(1):111-119. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2024.01.018.
- [15] Lin Y, Lin Y, Fang F, et al. The effect of orthodontic treatment on temporomandibular joint morphology in adult skeletal class II deep overbite patients [J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(8):9070.
- [16] Shi Q, Gu Z, Lai D, et al. Three-dimensional evaluation of condylar morphology after orthodontic treatment in adult patients with class II malocclusion by cone-beam computed tomography [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 48. DOI: 10.1186/s12903-023-03728-y.
- [17] Lin M, Xu Y, Wu H, et al. Comparative cone-beam computed tomography evaluation of temporomandibular joint position and morphology in female patients with skeletal class II malocclusion [J]. *J Int Med Res*, 2020, 48(2): 300060519892388. DOI: 10.1177/0300060519892388.
- [18] Zhou J, Yang H, Li Q, et al. Comparison of temporomandibular joints in relation to ages and vertical facial types in skeletal class II female patients: A multiple-cross-sectional study [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 467. DOI: 10.1186/s12903-024-04219-4.
- [19] 王明锋, 李爽, 刘琳. 减小后牙殆平面倾斜度对安氏Ⅱ类高角畸形髁突位置影响的研究[J]. *上海口腔医学*, 2018, 27(4): 386-389. DOI: 10.19439/j.sjos.2018.04.010.
- [20] 郑泉, 满城, 郑德鑫, 等. 罕见右侧颞下颌关节骨性强直伴同侧颌面部广泛异位骨化1例及文献复习[J]. *口腔颌面外科杂志*, 2020, 30(2): 120-124. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4979.2020.02.012.
- [21] Hasebe A, Yamaguchi T, Nakawaki T, et al. Comparison of condylar size among different anteroposterior and vertical skeletal patterns using cone-beam computed tomography [J]. *Angle Orthod*, 2019, 89(2):306-311. DOI: 10.2319/032518-229.1.

(收稿日期:2024-10-11)

(本文编辑:王嫒)