

• 综述 •

错颌畸形对颞下颌关节结构与功能影响的研究进展

秦毅¹, 冯晓旭¹, 李梓琦¹(综述), 张晶晶^{2*}(审校)

(1.河北医科大学口腔医学院,河北石家庄 050017;2.河北省眼科医院口腔正畸科,河北邢台 054000)

[摘要] 错颌畸形在我国青少年群体中发病率较高,严重者不仅影响面部美观,而且会对口颌系统健康造成不良影响。近年来,颞下颌关节紊乱病(temporomandibular disorders, TMD)的发病率持续上升,国内外学者对错颌畸形与TMD的关联性展开深入研究,本文基于该领域的最新研究成果,对两者的关系展开综述。

[关键词] 牙畸形;颞下颌关节;颞下颌关节紊乱病

doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2026.02.019

[中图分类号] R783.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-3205(2026)02-0244-06

错颌畸形是指在生长发育过程中,由多种因素引起的牙齿、颌骨及颅面结构异常,主要表现为上下颌牙弓关系异常以及颌骨大小、形态或位置异常。颞下颌关节(temporomandibular joint, TMJ)是一个具有持续重塑能力的双侧联动关节^[1],其解剖结构精细而复杂,由颞骨关节窝、关节结节、下颌骨髁突、关节盘、关节囊及其周围韧带共同构成。其中髁突作为下颌骨生长和重塑的中心,与面部骨骼类型的发育或改建存在相关性^[2],其位置及形态的改变能否影响口颌系统正常功能,历来是口腔学界研究且存在争议的核心问题,并有学者^[3]探讨其同心性是否为最佳位置、偏心性是否会对TMJ造成影响。而关节盘位于下颌髁突与关节窝之间,主要由胶原纤维构成,因而具有形变与黏弹性特质,可吸收并分散峰值负荷、适应关节动态几何变化,同时避免应力集中^[4]。作为连接上下颌骨的关键部位, TMJ与上下颌牙列共同构成功能复合体^[5],不仅在咀嚼和言语中起着至关重要的作用,还与面部美学及口腔健康的维持息息相关^[3-4]。本文针对颞下颌关节紊乱病(temporomandibular disorders, TMD)的发病机制及其与错颌畸形的关联、各类错颌畸形对TMJ不同解剖位点的作用机制、治疗后的结构变化及不同年龄段错颌畸形对TMJ影响的差异性表

现,系统梳理最新研究进展并作一综述,以期为临床中错颌畸形的诊疗及此类患者TMD的预防提供参考。

1 TMD的发病机制及其与错颌畸形的关联

TMD的发病机制较为复杂,涉及到咬合因素、神经肌、生物力学、心理等多方面因素的影响^[6]。多项研究^[7]表明,髁突内部骨小梁结构会受到关节窝承载力的影响而造成髁突形态改变,其在关节窝中的位置关系可影响肌骨骼系统的运动与功能,并导致关节间隙的改变,这些改变可能由多种咬合相关因素引起,进而对TMJ产生异常应力而导致TMD^[1, 8-9]。有学者^[10]通过磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)观察到关节盘移位患者的关节间隙和髁突位置发生改变,这提示髁突位置、关节间隙的改变与TMD具有高度相关性。

咬合是一个复杂的系统,受多种神经信号调控,且个体差异显著,在咬合关系形成过程中,中枢神经系统可通过复杂的信号通路调整下颌的位置,进而导致髁突与关节窝之间的相对位置以及TMJ区域内的应力分布发生改变^[11-12]。正常的咬合关系通常伴随着上下颌骨的协调发育,这种平衡的生长模式不仅有助于形成平衡而美观的面部轮廓^[13],还可维持TMJ的稳定结构与生理位置。

错颌畸形与TMD的相关性仍是一个有争议的话题^[11, 14]。TMD患者普遍存在髁突形态不对称和位置异常现象,并常伴有咬合功能紊乱^[15]。研究^[16]显示,该类患者的髁突不对称发生率更高,

[收稿日期]2025-11-10

[基金项目]河北省“三三三人才工程”资助项目(C2024077)

[作者简介]秦毅(2000-),女,河北沙河人,河北医科大学口腔医学院医学硕士研究生,从事口腔正畸及颞下颌关节病诊治研究。

*通信作者。E-mail:jingz3237@126.com

且多表现为高角骨骼形态, 此类患者还可能因舌骨位置异常导致气道体积改变, 进而引发颅颌面发育畸形^[6]。有学者^[17]提出, 关节的重塑可能受牙齿功能的影响, 并证实了在不同的咬合条件下, TMJ的空间关系和形态结构存在显著差异。这种双向作用机制提示错殆畸形与TMJ结构功能之间存在复杂的连锁反应。因此, 维持最佳负荷对于保持TMJ的健康和功能至关重要^[4]。

2 各类错殆畸形对髁突影响的研究进展

对髁突形态与位置有影响的错殆畸形表现为Ⅱ类、Ⅲ类错殆畸形、重度宽度不调以及垂直向异常等, 各类错殆畸形常因下颌骨位置的异常导致长期异常应力刺激, 干扰髁突的正常生长与骨改建的过程。其中髁突负荷改变是引发髁突形态变化的根本机制, 由于关节难以适应新的力学载荷, 进而诱发其在生化代谢、细胞活性及功能表达层面的系列改变^[1]。髁突偏移运动的范围与方向既受关节窝及髁突自身骨形态的调控, 同时也受关节囊与关节盘的约束限制^[7]。

2.1 Ⅱ类错殆畸形对髁突结构与位置影响的研究进展

研究^[18]数据显示, 当覆盖超过7 mm时, 骨性Ⅱ类错殆畸形与TMD之间存在关联。与Ⅰ类错殆畸形患者相比, Ⅱ类错殆畸形患者的髁突内外径与前后径显著偏小, 且髁突高度与颈部宽度亦有所减小^[19]。基于锥形束计算机断层扫描(cone-beam computed tomography, CBCT)的系统研究显示, Ⅱ类患者的髁突体积明显小于Ⅰ类和Ⅲ类患者^[7], 不同牙性错殆畸形(安氏Ⅰ、安氏Ⅱ¹、安氏Ⅱ²)患者的TMJ骨性形态存在差异, 安氏Ⅱ¹与Ⅰ类的髁突宽度与深度相似, 安氏Ⅱ²患者表现为关节结节陡峭、髁突内旋及关节窝窄而深等特征性改变^[20-21]。有研究^[5]明确, 髁突的最佳位置应是在关节窝内居中且同心的位置, 并研究安氏Ⅱ¹的髁突位置更靠前, 而安氏Ⅱ²的髁突位置则更加靠后, 因此在临床上分析TMJ状态时建议区分安氏Ⅱ类的2个分类。

影像学分析显示, 骨性Ⅱ类患者髁突表现出向前内侧移位倾向, 这种关节解剖结构的改变可能导致关节局部应力集中, 进而影响适应性关节重建障碍而导致功能紊乱^[22]。髁突位置与形态特征与垂直骨面型关系更为密切, 尤其在骨性高角患者中, 髁突内部结构改变的发生率显著增高^[1], Ⅱ类高角患者表现为髁突与正中矢状面倾斜度较小、位置靠前, 伴随垂直髁导斜度增大引发的髁

突明显后旋, 且关节上间隙缩小; 低角组则呈现髁突前旋显著、关节上间隙增大的相反特征^[13]。该髁突倾斜与旋转特征会影响TMJ。此外, 髁突前后径与内外径宽度减小、髁突轴与矢状面夹角缩小等形态学特征, 均与高角面型存在显著相关性^[12], 这些研究提示不同垂直面型的髁突位置与形态存在特异性差异。

针对Ⅱ类错殆患者, 通过正畸治疗后可引发TMJ适应性骨改建^[8], 其中安氏Ⅱ²患者经正畸治疗后髁突向前移动至关节窝中央, 同时关节窝宽度、深度及髁突前后径、内外径、体积和表面积均有所增加, 表明患者髁突不仅发生位置改变, 形态也产生变化^[2]。正畸治疗可能促使此类患者髁突发生适应性改建, 同时患者关节窝也产生相应重塑以适应髁突变化。对于生长期下颌后缩的骨性Ⅱ类错殆患者, 使用功能性矫治器能够促进下颌前移和髁突生长, 同时促进颞下颌关节窝的新骨沉积, 改善关节盘与关节窝的关系^[23], 导下颌向前可能同时改善Ⅱ类错殆与TMD, 即改善面型和获得正常盘-髁关系^[24]。通过双侧矢状劈开截骨术(bilateral sagittal split osteotomy, BSSO)进行下颌前移手术, 是针对骨性Ⅱ类错殆伴下颌后缩患者的常见正颌术式, 研究显示未经治疗的下颌后缩Ⅱ类错殆患者比接受BSSO患者的TMD发生率高^[25]。且经长期随访数据进一步的证实, 改善下颌位置后, 对维持关节结构稳定及功能改善方面具有良好的远期疗效, 这为正畸治疗的长期疗效奠定坚实的关节健康基础, 实现关节功能恢复与咬合关系重建的双重治疗目标。

2.2 Ⅲ类错殆畸形对髁突结构与位置影响的研究进展

Ⅲ类患者因长期异常咬合力可促使髁突骨小梁结构发生适应性重塑^[26], 这种重塑过程常伴随骨强度降低、小梁结构复杂度显著下降等改变, 髁突体积更大且处于前移位, 更接近关节窝上壁, 关节结节倾斜度较小^[27], 其关节窝形态呈现宽度增加、深度变浅^[21]的特征。骨性Ⅲ类患者除上述表现外, 髁突体积显著大于Ⅰ类和Ⅱ类患者^[7]。

骨性Ⅲ类错颌患者经掩饰性治疗正畸治疗后, 关节窝高度和前后径增大, 关节结节倾斜角增大, 关节窝变深后更有利于关节盘的稳定; 髁突长度和前后径减小, 髁突发生后上方向的移位, 更趋向于正中位, 加上咬合关系的改善, 前牙可通过提供切导分散后牙的咬合应力, 更有利于TMJ的稳定^[28-29]。有研究^[30]显示, 对于轻中度非低角型骨性Ⅲ类成人患者, 采用多曲方丝弓矫治技

术 (multiloop edgewise arch wire, MEAW) 通过牙齿代偿方式矫正错颌畸形, 这种通过直立后牙建立咬合 (而非强行后退下颌骨) 调整上下颌位置关系的方法, 有效避免了髁突位移和关节间隙的改变, 从而降低了TMD的发生风险。针对成年骨性Ⅲ类错颌畸形患者, 单纯正畸治疗难以完全解决问题, 往往需要配合正颌手术才能达到理想疗效, 双侧矢状劈开下颌骨截骨术 (bilateral sagittal split ramus osteotomy, BSSRO) 和双颌骨截骨术即BSSRO加Lefort 1截骨术是解决骨性Ⅲ类错颌畸形的代表性手术, 可以在一定程度上改善颞骨和髁突的生物力学环境, 减少颞软骨损伤, 更有利于维持双侧TMJ的生物力学平衡及上下颌骨的重建效果^[31]。

2.3 宽度不调、垂直向异常对髁突结构及位置影响的研究进展 Li等^[32]通过CBCT观察单侧后牙锁颌的TMJ形态, 显示这种不对称的咬合状态可能导致髁突体积、表面积及位置的病理改变, 而异常的髁突形态还可能导致髁突与关节盘之间相对位置的异常, 进而引起盘前移位, 这与Suassuna等^[18]研究结果是一致的。Wang等^[33]通过对比单侧后牙锁颌患者双侧TMJ形态, 研究双侧髁突及关节盘位置存在不对称性, 并可限制下颌运动。褚天昊等^[34]通过研究显示, 单、双侧磨牙正锁颌患者的髁突形态短小, 双侧锁颌比单侧锁颌存在更加短小的髁突形态, 并且通过三维有限元分析研究, 锁颌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。因此, 正畸干预应尽早实施, 以避免引发髁突形态异常甚至颞下颌关节不对称。孙舒寒等^[35]采用改良固定舌弓腭杆式矫治器做颌内牵引, 同时配合颌间牵引, 矫治后锁颌侧较非锁颌侧髁突矢状面与标准水平面角度减小, 锁颌侧髁突顶点至正中矢状面的距离增大, 髁突高度增大, 研究解除锁颌后, 下颌骨侧方运动的障碍去除, 髁突有改建的可能。

单侧后牙反颌 (unilateral posterior crossbite, UPC) 患者双侧关节间隙不对称, 患侧髁突体积增大, 且双侧髁突体积存在显著差异, 髁突体积与不同的关节盘移位状态、关节间隙具有显著相关性^[36-37]。上颌骨单侧手术辅助快速扩弓术 (unilateral surgically assisted rapid maxillary expansion, U-SARME) 是治疗此类患者的有效方案, 通过该技术治疗后, 双侧髁突均向前下方向

移位, 整个过程中, 髁突位置可保持对称性, 对TMJ无显著影响^[38]。

严重的深覆颌患者往往伴有TMJ形态学改变及髁突位置异常, 当髁突出现位置偏移、倾斜度改变或高度异常时, 往往提示患者发生TMD的风险显著提高^[17]。通过矫正深覆颌可解除下颌骨的空间限制, 促进髁突前移及适应性重建, 从而增强正畸治疗的长期稳定性^[2]。Ⅱ类深覆颌患者常见髁突后上移位及咀嚼肌力量增强现象^[39], 该类患者正畸治疗有助于髁突的适应性重建, 其在关节窝中的位置从相对偏外上转变为相对居中^[40]。

切导斜度与TMJ的生长和改建有关^[41], 前牙开颌往往会因无切导斜度以及下颌异常运动对TMJ造成压力, 从而引起关节形态及位置异常^[42-43]。一项回顾性研究^[44]表明, 对于因TMJ退行性变导致的前牙开颌患者, 采用种植支抗装置 (temporary skeletal anchorage devices, TSADs) 结合片段弓技术, 在不黏接前牙托槽的情况下对后牙进行压低与远移治疗, 随着上下颌切牙逐渐建立覆颌关系, 研究者观察到患者的关节功能负荷逐步恢复, 并伴随适应性调整。待覆盖关系形成后, 进一步采用固定矫治器联合种植支抗牵引, 以减小覆盖并增加覆颌, 最终建立稳定的尖窝交错咬合关系, 咬合关系的改善可促进TMJ的适应性改建, 而矫治完成后佩戴保持器则有助于维持关节结构的稳定性。

3 各类错颌畸形对关节盘影响的研究进展

诸如安氏Ⅱ类与Ⅲ类错颌、横向宽度不调、咬合平面异常等, 可通过改变髁突位置或重建咬合应力分布模式, 破坏关节盘与髁突的生理性适配关系, 进而导致关节盘出现位置异常、受力不均、稳定性下降等病理表现, 其移位风险也随之显著升高^[9]。关节盘的形变幅度及应力分布特征, 主要取决于外加载荷的力学特性与关节盘组织自身的生物力学参数 (如刚度、强度等)^[4]; 而关节间隙变窄会进一步增加关节盘承受的压缩负荷^[9], 加剧其病理损伤风险。

有研究^[45]通过三维有限元分析安氏Ⅱ¹与正常颌在牙尖交错颌时TMJ的应力分布特征, 显示安氏Ⅱ¹患者下颌骨、髁突、颞骨关节窝等效应力较大, 而关节盘等效应力较小, 但上下表面中间带应力值较大, 这与关节盘前移位时中间带应力分布相符。John等^[46]通过MRI研究安氏Ⅱ²患者更易出现关节盘前内侧移位。此种应力分布的异常,

可能破坏关节组织内的机械负荷平衡,进而加剧TMD的发生风险。安氏Ⅲ类患者在生长发育高峰前期表现为矢状向差异较大、关节盘移位的概率较高^[21],这可能与关节窝较浅有关。

单侧后牙锁颌易通过影响髁突形态与位置导致关节盘前移位^[32],单侧后牙反颌可能导致颌骨发育不对称,进而引发下颌偏斜畸形,关节盘前带区域拉应力增加及中间带压应力升高,这种异常的生物力学分布可能引发关节盘移位甚至穿孔。此外,下颌畸形还会增大髁突与关节盘间的接触压力^[47]。咬合平面(occlusal plane, OP)的旋转会改变传递至颞下颌关节盘及髁突软骨的咬合力强度和方向,同时OP倾斜可影响关节盘的受力模式,使其在力的方向和大小上产生变化^[48]。

4 各类错颌畸形对关节间隙影响的研究进展

颞下颌关节间隙的形成由髁突与关节窝的形态结构决定,且受二者相对空间位置的影响。该间隙直观反映了髁突与关节窝的空间对应关系,其缩小可能对关节盘与髁突形成双重压迫,而间隙的异常变化可作为判断关节盘紊乱的重要指标^[9]。Ⅱ类高角患者常因关节盘移位导致间隙增宽^[1],骨性Ⅱ类高角患者的前关节间隙与上关节间隙均较小,而骨性Ⅱ类低角患者的上关节间隙显著大于骨性Ⅱ类高角患者^[12],且进一步研究^[49]表明,下颌髁突高度与骨骼矢状面错颌存在相关性,Ⅲ类错颌患者的下颌髁突生长潜力高于Ⅰ类和Ⅱ类错颌患者,下颌前突患者较正常人的关节间隙更为狭窄^[50]。单侧后牙锁颌与反颌导致双侧间隙不对称^[36-37]。

5 不同年龄阶段错颌畸形对TMJ的影响

个体20岁前的生长发育期内,下颌髁突生理性改变较少,过度机械应力可引发其非功能性改建,且随年龄增长,下颌髁突的骨性改变会逐步进展并加重^[1]。有研究^[51]显示严重错颌畸形如双颌前突、覆盖过大或过小、深覆颌或开颌、后牙反颌的青少年具有较高的TMD患病率,并显示前伸干扰会增加成年期关节弹响发生概率,但对儿童期无显著影响。有研究^[52]表明,乳牙列期的单侧或双侧后牙锁颌若未在早期进行矫正,可能阻碍上下颌骨的横向及前后向生长,此类畸形极有可能在恒牙列中显现,导致面部不对称及TMD。在Ⅱ类错颌患者中,15~18岁青少年的双侧颞下颌关节间隙存在显著差异,而12~15岁患者的该差异相

对较小^[53]。多数安氏Ⅱ²类成年患者存在髁突后移位^[2],经正畸治疗后,髁突可向前移动至关节窝中心位置,患者关节窝的宽度、深度、前后径、内外径及体积、表面积均会出现不同程度增加。以上研究表明,不同年龄阶段的错颌畸形均可能对TMJ造成影响,一些儿童期的错颌畸形如不及时矫治,则可能在恒牙列期间表现出更为明显的咬合异常甚至颌骨畸形,继而对TMJ产生不利影响。

综上所述,错颌畸形会对TMJ的结构形态、功能及负荷产生影响,主要表现为髁突形态与位置改变、关节盘移位、关节间隙变化以及关节区内的应力分布的改变,但这并不意味着错颌畸形会导致TMD。作为连接TMJ的关键结构,髁突位置与咬合关系密切相关,其形态异常可导致下颌不对称甚至颌面畸形,当异常咬合力超过其适应范围时,髁突会发生功能性重塑,改变其形态和大小,进而影响TMJ负荷,此外,关节间隙的变化会引起关节软骨负荷的改变。咬合关系直接决定下颌功能运动的起始与终止位置,进而间接影响TMJ的形态结构,而TMJ的形态与功能运动相互影响。鉴于错颌畸形对TMJ的影响,在正畸临床工作中,治疗前完善TMJ的检查十分必要,且通过正规的正畸治疗错颌畸形,能够有效改善患者的咬合关系,推动髁突位置及关节盘—髁突关系的稳定重建,解除错颌畸形对TMJ的不利影响,避免TMD的发生,这对于维持正常口腔功能及下颌运动功能具有重要的临床价值。

[参考文献]

- [1] Oliveira DFLM, Fernandes EE, Lopes SLPC, et al. Prevalence of condylar morphological changes in individuals with class II malocclusion[J]. Braz Oral Res, 2024, 38: e060.
- [2] 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.
- [3] Rivero-Millán P, Barrera-Mora JM, Espinar-Escalona E, et al. Comparison of condylar position in normal occlusion, Class II Division 1, Class II Division 2 and Class III malocclusions using CBCT imaging[J]. J Clin Exp Dent, 2021, 13(12): e1216-e1226.
- [4] Xiong X, Ye Z, Tang H, et al. MRI of temporomandibular joint disorders: Recent advances and future directions[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 54(4): 1039-1052.
- [5] Wilkie G, Al-Ani Z. Temporomandibular joint anatomy, function and clinical relevance[J]. Br Dent J, 2022, 233(7): 539-546.

- [6] Surendran A, Daigavane P, Shrivastav S, et al. Comparative evaluation and correlation of hyoid bone position, airway dimension, and psychological status in class II vertical and horizontal malocclusion cases with temporomandibular disorder compared to class I non-temporomandibular disorder cases[J]. *Cureus*, 2024, 16(9):e68648.
- [7] 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.
- [8] Garstka AA, Brzózka M, Bitenc-Jasiejko A, et al. Cause-effect relationships between painful TMD and postural and functional changes in the musculoskeletal system: A preliminary report [J]. *Pain Res Manag*, 2022, 2022:1429932.
- [9] Zhu J, Gong Y, Zheng F, et al. Relationships between functional temporomandibular joint space and disc morphology, position, and condylar osseous condition in patients with temporomandibular disorder [J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(3):193.
- [10] Zhou L, Tao K, Ma J, et al. Relationship between temporomandibular joint space and articular disc displacement [J]. *BMC Oral Health*, 2025, 25(1):611.
- [11] Lekaviciute R, Kriauciunas A. Relationship between occlusal factors and temporomandibular disorders: A systematic literature review[J]. *Cureus*, 2024, 16(2):e54130.
- [12] Shan X, Li Z, Li A, et al. Balkwill angle, mandibular occlusal plane angle and temporomandibular joint morphology: A retrospective study[J]. *BMC Oral Health*, 2025 Nov 22.
- [13] Rathi S, Gilani R, Kamble R, et al. Temporomandibular joint disorder and airway in class II malocclusion: A review [J]. *Cureus*, 2022, 14(10):e30515.
- [14] Al-Khatieeb MM, Nissan LM, Al-Labban YR, et al. Occlusal features and temporomandibular joint disorder: A cross-sectional study[J]. *Int J Dent*, 2024, 2024:8715166.
- [15] Dzalaeva F, Chikunov S, Utyuzh A, et al. Rehabilitation of a Patient with temporomandibular joint disorder and misocclusion requiring full mouth reconstruction, based on the multidisciplinary approach: A clinical case [J]. *Eur J Dent*, 2021, 15(2):401-407.
- [16] Sfondrini MF, Bolognesi L, Bosco M, et al. Skeletal divergence and condylar asymmetry in patients with temporomandibular disorders (TMD): A retrospective study [J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021:8042910.
- [17] Alyafusee ES, Alhammadi MS, Almaqrabi BS, et al. Three-dimensional assessment of temporomandibular joint in skeletal Class I malocclusion with variable degrees of overbite and overjet[J]. *Cranio*, 2024, 42(5):600-610.
- [18] Suassuna TM, de-Barros AVM, da Silva BA, et al. Temporomandibular joint disorders in skeletal class II patients referred to orthognathic surgery: A cross-sectional study[J]. *PLoS One*, 2024, 19(2):e0297944.
- [19] García-Díaz R, Arriola-Guillén LE, Aliaga-Del Castillo A, et al. 2D-3D comparison of the temporomandibular joint in skeletal Class II versus Class I adults: A retrospective study [J]. *Int Orthod*, 2020, 18(4):784-793.
- [20] Fan XC, Ma LS, Chen L, et al. Temporomandibular Joint osseous morphology of class I and class II malocclusions in the normal skeletal pattern: A cone-beam computed tomography study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(3):541.
- [21] Song J, Cheng M, Qian Y, et al. Cone-beam CT evaluation of temporomandibular joint in permanent dentition according to Angle's classification[J]. *Oral Radiol*, 2020, 36(3):261-266.
- [22] Das K, Kour J, Priya B, et al. Volumetric comparison of the temporomandibular joint space in skeletal class I and II patients using cone-beam computed tomography: A cross-sectional study[J]. *Cureus*, 2024, 16(12):e75597.
- [23] 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.
- [24] Leonan-Silva B, de Souza Teodoro Junior R, de Paula BM, et al. The use of front plateau in the treatment of temporomandibular disorders: A case series and literature review[J]. *Prague Med Rep*, 2025, 126(1):17-25.
- [25] Paunonen J, Helminen M, Sipilä K, et al. Temporomandibular disorders in Class II malocclusion patients after surgical mandibular advancement treatment as compared to non-treated patients[J]. *J Oral Rehabil*, 2019, 46(7):605-610.
- [26] Afzoon S, Ghorbani F, Hasani M. Evaluation of the mandibular condyles trabecular structure in patients with severe class III pattern: A computed tomography (CT) fractal analysis study[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):18183.
- [27] Dygas S, Szarmach I, Radej I. Assessment of the morphology and degenerative changes in the temporomandibular joint using CBCT according to the orthodontic approach: A scoping review[J]. *Biomed Res Int*, 2022, 2022:6863014.
- [28] 郭雅萱, 马啸宙, 李洪发, 等. 掩饰性治疗影响成人骨性III类患者颞下颌关节的回顾性研究[J]. *现代口腔医学杂志*, 2021, 35(2):93-97.
- [29] 杜颖, 任娟, 王小琴. 成人骨性III类错颌掩饰性或手术治疗后颞下颌关节变化的研究进展[J]. *现代口腔医学杂志*, 2023, 37(6):414-417.
- [30] Guo Y, Qiao X, Yao S, et al. CBCT Analysis of changes in dental occlusion and temporomandibular Joints before and after MEAW orthotherapy in patients with nonlow angle of skeletal class III [J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020:7238263.
- [31] Luo H, Teng H, Chong DYR, et al. Effects of bilateral sagittal split ramus osteotomy and bimaxillary osteotomies on stress distribution of temporomandibular joints in patients with maxillofacial deformity under asymmetric occlusions [J]. *Med Biol Eng Comput*, 2023, 61(6):1427-1437.
- [32] Li CX, Xie X, Li M, 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.
- [33] Wang G, Feng Y, Tang JQ, et al. Measurement and analysis of condylar morphology and thickness of the roof of the glenoid fossa in patients with unilateral second molar scissor bite [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1):24747.
- [34] 褚天昊, 张雪颖, 王浩丞, 等. 磨牙正锁颌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 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2025, 43(1):114-125.
- [35] 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.
- [36] Dresner R, Mehta S, Upadhyay M, et al. Positional, morphologic, and volumetric differences in TMJ in unilateral posterior crossbites and controls: A retrospective CBCT study [J]. *Int Orthod*, 2024, 22(3):100889.
- [37] 刘旭, 李晨曦, 龚忠诚, 等. 关节盘前移位对颞下颌关节骨性结构关系影响的三维影像学测量研究 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2024, 59(2):157-164.
- [38] Karabiber G, Yilmaz HN. Three-dimensional evaluation of the temporomandibular joints after unilateral surgically assisted rapid maxillary expansion in adults: A preliminary retrospective study [J]. *J Oral Rehabil*, 2023, 50(12): 1432-1438.
- [39] 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.
- [40] 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):9070-9075.
- [41] Li Y, Zhou W, Wu Y, et al. The relation between incisal guidance angle and the growth and development of temporomandibular joint: A multi-cross-sectional retrospective study [J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1):380.
- [42] Derwich M, Mitus-Kenig M, Pawlowska E. Temporomandibular Joints' morphology and osteoarthritic changes in cone-beam computed tomography images in patients with and without reciprocal clicking-A case control study [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(10): 3428.
- [43] 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.
- [44] Hsu LF, Liu YJ, Wang SH, et al. Orthodontic correction of acquired open bite with TMJ degeneration: A retrospective study of outcomes and stability [J]. *J Formos Med Assoc*, 2024, 123(4):452-460.
- [45] 吕儒雅, 王婧, 刘海霞, 等. 安氏 II¹类患者颞下颌关节三维有限元分析 [J]. *口腔医学研究*, 2017, 33(2):194-198.
- [46] John ZAS, Shrivastav SS, Kamble R, et al. Three-dimensional comparative evaluation of articular disc position and other temporomandibular joint morphology in Class II horizontal and vertical cases with Class I malocclusion [J]. *Angle Orthod*, 2020, 90(5):707-714.
- [47] Ma H, Teng H, Li A, et al. The pressure in the temporomandibular joint in the patients with maxillofacial deformities [J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2023, 124(1S):101285.
- [48] Cifter ED. Effects of occlusal plane inclination on the temporomandibular joint stress distribution: A three-dimensional finite element analysis [J]. *Int J Clin Pract*, 2022, 2022:2171049.
- [49] Mohsen AM, Ye J, Al-Nasri A, et al. Three-dimensional evaluation of the mandibular condyle in adults with various skeletal patterns [J]. *Korean J Orthod*, 2023, 53(2):67-76.
- [50] Shin D, Keum HI, Yoo SR, et al. Temporomandibular joint space in mandibular prognathism [J]. *J Craniofac Surg*, 2024, 35(5):e418-e421.
- [51] Mora-Zuluaga N, Soto-Llanos L, Aragón N, et al. Relationship of malocclusions with disorders of the temporomandibular joint in children of CALI-colombia [J]. *Eur J Dent*, 2022, 16(4):781-786.
- [52] Koaban A, Al-Harbi SK, Al-Shehri AZ, et al. Current trends in pediatric orthodontics: A comprehensive review [J]. *Cureus*, 2024, 16(9):e68537.
- [53] Postnikov MA, Andriyanov DA, Chigarina SE, et al. Analiz razmerov kostnykh elementov visochno-nizhnechelyustnogo sustava u detei i podrostkov s distal'noi okklyuziei [Radiological analysis of size of bone elements of the temporomandibular joint in children and adolescents with class II malocclusion] [J]. *Stomatologiya (Mosk)*, 2022, 101(6): 35-42.

(本文编辑:何祯)