

咬合平面特征与颞下颌关节关系的研究进展

韩林艺^{1,2} 张丽媛^{1,2}

1. 内蒙古医科大学附属医院口腔科 呼和浩特 010050;

2. 内蒙古医科大学口腔医学院 呼和浩特 010059

[摘要] 在口颌系统中, 咬合平面(OP)和颞下颌关节(TMJ)相互关联并且协同作用, OP不仅影响牙齿形态和咀嚼功能, 当OP出现异常时还会改变下颌的空间位置, 破坏关节盘-髁突之间的正常对应关系, 进而成为颞下颌关节紊乱病的潜在诱发因素。在临床正畸治疗中, 随着咬合关系的调整, TMJ会进行适应性重塑来维持口颌系统的平衡, 这种适应性变化有助于恢复生理性咬合接触, 促进TMJ结构和功能的恢复。近年来, 三维影像技术和数字化咬合分析等技术的发展为研究OP和TMJ之间的关系提供了新途径, 本文通过梳理相关研究成果, 旨在明确两者之间的联系, 为临床正畸治疗提供理论支持和实践参考。

[关键词] 咬合平面; 颞下颌关节; 颞下颌关节紊乱病

[中图分类号] R782.6 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026127



本文链接

OSID 码

Research progress on the relationship between occlusal plane characteristics and temporomandibular joint

Han Linyi^{1,2}, Zhang Liyuan^{1,2}

1. Dept. of Stomatology, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, China; 2. School of Stomatology, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, China

Supported by: Inner Mongolia Medical University General Project (YKD2025MS019)

Correspondence: Zhang Liyuan, Email: 13847197306@163.com

[Abstract] Within the stomatognathic system, the occlusal plane (OP) and the temporomandibular joint (TMJ) are closely interrelated and function synergistically. OP influences tooth morphology and masticatory function, and abnormalities in OP may alter the spatial position of the mandible, thereby disrupting the normal relationship between the articular disc and the condyle and acting as a potential predisposing factor for temporomandibular disorders. During clinical orthodontic treatment, as occlusal relationships are adjusted, the TMJ undergoes adaptive remodeling to maintain the functional balance of the stomatognathic system. These adaptive changes facilitate the restoration of physiological occlusal contacts and promote the recovery of TMJ structure and function. Recent advances in three-dimensional imaging techniques and digital occlusal analysis have provided new approaches for investigating the relationship between OP and TMJ. In this paper, relevant studies are reviewed and synthesized to elucidate the association between OP and TMJ, aiming to provide theoretical support and practical guidance for clinical orthodontic treatment.

[Key words] occlusal plane; temporomandibular joint; temporomandibular joint disorder

颞下颌关节 (temporomandibular joint, TMJ)

是人体中的一个结构较为复杂的滑膜关节, 它由下颌骨髁突、颞骨关节窝以及关节盘共同构成^[1], 该关节不仅是保障咀嚼和言语等生理功能正常运行的关键结构, 还是下颌生长发育的核心部位, 其健康状态与咬合功能密切相关, 并具有根据咬合变化进行适应性改建的能力^[2]。咬合平面 (oc-

[收稿日期] 2025-05-09; [修回日期] 2026-02-08

[基金项目] 内蒙古医科大学面上项目 (YKD2025MS019)

[第一作者] 韩林艺, 医师, 硕士, Email: 2656251673@qq.com

[通信作者] 张丽媛, 主任医师, 硕士, Email: 13847197306@163.com

clusal plane, OP) 是 Downs 定义的一个假想平面, 它是牙齿和牙槽骨生长发育形成的功能性平面, 在咬合系统中占据重要地位。颌面部的形态、TMJ 功能的维持和咀嚼吞咽等生理活动都与 OP 存在紧密关联^[3], 特别是其倾斜度的变化会影响下颌骨相对于上颌的位置和形状, 所以在相关治疗中对 OP 的调整须谨慎进行, 以免对 TMJ 产生不良影响^[4]。

尽管 OP 与 TMJ 之间的关系的取得了一定进展, 但现有成果缺乏系统性整合, 本文通过总结近年来相关研究, 探讨 OP 对 TMJ 的影响, 以期未来的基础研究和临床实践提供借鉴。

1 OP 概述

1.1 OP 的定义与测量

OP 是上下颌牙列间的一个功能界面, 随着咬合关系的建立而逐渐形成, Lamarque^[5]把 OP 称为“正畸的工作台”, 这一说法充分展现出了 OP 的重要性, 确定 OP 的方法众多, 不同学者对其的定义略有不同。1948 年, Downs^[6]提出殆平面的定义为上下第一恒磨牙咬合中点与上下中切牙切缘间中点的连线, 也称为解剖殆平面 (anatomical occlusal plane, AOP), 这一定义为 OP 的研究奠定了基础, 使研究者从解剖学角度认识到了 OP 在口腔中的位置和形态, 随后其他学者^[7]对 OP 的定义进行了补充和发展, 1975 年, Jacobsons 提出了功能殆平面 (functional occlusal plane, FOP), 即均分上下第一恒磨牙和上下第一前磨牙或第一乳磨牙的咬合接触点, 是与上下切牙无关的殆平面, 此外还有学者将殆平面分为上、下殆平面来研究, 分别为通过上下第一恒磨牙咬合中点与上下中切牙切缘的连线, 当上下颌的 OP 在垂直方向上存在显著差异时, 尤其是在开殆患者中, 此时上、下殆平面能够更好地反映患者上下颌的咬合关系, 但这些定义都将殆平面定义为一条直线, 无法体现出后牙区咬合面较为陡峭的特征。随着研究的深入, 学者们逐渐发现 OP 并非一条直线, 它在矢状方向和冠状方向均呈现曲线特征, 因此曲面则是对殆平面更精确的描述, Fushima 等^[8]为了更直观、准确地表现殆曲线而将殆平面细分为前牙殆平面 (anterior occlusal plane) 和后牙殆平面 (posterior occlusal plane), 上颌中切牙切缘与上颌第二前磨牙颊尖顶连线是前牙殆平面, 上颌第二前磨牙颊

尖顶与上颌第二磨牙咬合面中点连线是后牙殆平面。在 2008 年 Tanaka 等^[9]补充, 如果存在第三磨牙, 后牙殆平面为上颌第二前磨牙颊尖顶与上颌第三磨牙咬合面中点的连线, 此外还补充了乳牙期和替牙期殆平面的概念。前、后牙殆平面的定义能更准确地反映出实际的殆曲线曲度, 可以说明后牙相对于前牙的萌出距离, 而且在临床正畸治疗中能更全面地评估患者的咬合关系, 确定存在的问题, 并有利于结合个体差异进行前后牙殆平面的衔接设计。在临床实践中, OP 是正畸诊断和治疗中的关键环节, 传统的测量方法多基于头颅侧位片, 以前以颅底平面 (SN 平面) 和法兰克福平面 (FH 平面) 为参考进行头影测量^[10]。近年来, 随着计算机技术、锥形束计算机断层扫描 (cone-beam computed tomography, CBCT)、3D 打印及口腔内扫描等技术的快速发展, 为数字化模型在口腔正畸学中的应用提供了有力支持, 三维数字化模型相较于传统石膏模型, 能够以高精度重建 OP 的形态特征, 并且在准确性、可视性和再现性方面表现出显著优势, 为正畸临床诊断提供了更可靠的工具^[11-12]。

1.2 OP 的特征与影响因素

OP 的特征体现在其形态结构与功能协调两方面, 从形态角度来看, OP 的倾斜度以及殆曲线曲度是其最为显著的特征, 在临床中, OP 倾斜度常以 FH 平面为参照基准, 二者形成的交角具有重要的临床意义^[6], 该角度正常约为 $8^{\circ} \pm 4^{\circ}$, 这个角度参数不仅决定了 OP 的空间定位, 还直接影响下颌运动轨迹及咀嚼效能, Andrews 在其“口颌面协调六要素”理论中也涉及了 OP, 强调其在正畸治疗中的重要性, 如功能殆平面与水平面的角度应为 $2^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。有学者^[13]提出, 矢状面与冠状面的殆曲线构成了一个 10.16 cm (4 英寸) 的球面 (Monson 球面), 矢状面的殆曲线称为 Spee 曲线, 是连接下颌切牙切缘、尖牙牙尖、前磨牙颊尖和磨牙近远中颊尖的矢状曲线, 深度通常为 0~2.5 mm, 它在咀嚼过程中具有生物力学的功能, 过深的 Spee 曲线可能导致后牙接触不良以及容易导致牙齿磨损, 影响咀嚼效率和下颌运动的稳定性, 所以正畸治疗中通常需要整平过深的 Spee 曲线, 这对正畸治疗后维持牙列的长期稳定性具有重要意义^[14]。冠状面的殆曲线称为 Wilson 曲线, 是连接双侧同名磨牙颊舌尖形成的曲线, 它的形态特征反映了上下颌牙弓的匹配程度^[15], 上下颌牙列的

Wilson曲线相互吻合,使上下颌牙齿在咀嚼过程中保持紧密接触,同时该曲线还是评价后牙颊舌向倾斜的重要指标,合理的颊舌向倾斜度也是建立稳定后牙咬合的重要因素。

从功能协调方面来看,OP对下颌运动以及TMJ功能状态均具有重要意义。有研究发现:殆平面每旋转 1° ,上下颌间关系就会变化0.5 mm,殆平面倾斜度的变化会改变髁突对其适应性反应以及下颌相对于上颌咬合面的位置,在咀嚼运动中,具有下颌向上颌咬合面进行三维运动的特点,所以OP能够影响下颌的运动轨迹。正常的OP能够使后牙均匀稳定的接触并且均匀磨耗,避免某些牙齿承受过大的压力产生磨损,在下颌前伸、侧方运动过程中免受殆干扰,从而确保咬合力合理分布以及保持下颌运动的稳定性^[16],但当OP陡度较大时,下颌的位置会更加后缩,不利于下颌骨的向前移动,还会导致切导与髁导的运动不协调,关节负荷不一致,更进一步影响TMJ的健康^[17]。

值得注意的是,OP具有动态变化的特性,在生长发育阶段其形态会随着牙列发育、牙槽骨改建和颌骨的生长而逐渐形成,在成年后仍会随着牙齿磨耗、牙槽骨吸收等生理性变化持续调整,随着年龄增长,OP呈逆时针旋转趋势。影响OP形态的因素主要包括牙齿排列状况、颌骨发育模式、咬合力分布特征以及口颌系统功能状态等,牙齿的倾斜度和位置会直接影响OP的形态,例如上颌第二磨牙垂直高度不足与后牙OP陡峭显著相关。骨性错殆畸形患者的OP通常与正常OP存在显著差异,骨性Ⅱ类错殆畸形患者的OP通常较为陡峭,上颌后端垂直向发育不足,下颌后旋,易发生后牙干扰和后牙段磨损,而骨性Ⅲ类错殆畸形患者的OP则较为平坦,上颌后端垂直向发育过度,下颌前旋,升支较长,易发生后牙段分离和前牙磨损^[18]。若存在咬合干扰以及OP的不对称等异常,会改变TMJ的负荷,有研究^[19]显示:若殆平面倾斜 5° ,可能会引起下颌运动轨迹发生偏斜等口颌系统的功能异常,进而容易对TMJ的健康产生不利影响。

综上所述,一个科学、合理的OP设计是正畸治疗成功且具有稳定疗效的重要保障之一,合理的OP不仅能优化咬合力的分布,使咀嚼时受力更均匀,还能有效预防牙齿过度磨耗以及TMJ相关疾病的发生。

2 OP特征与TMJ的关系

Niles在1977年提出,TMJ可称为“第四磨牙”,他认为髁突与关节窝的关系和下颌磨牙的颊尖与相应上颌磨牙中央窝的关系极为相似,这一类比凸显出了TMJ与咬合系统之间的紧密关联。

2.1 OP的形态特征与TMJ的关系

有研究^[20]表明,OP倾斜度的变化对关节的形态结构存在潜在影响,Camacho-Álvarez等^[21]通过多变量分析发现:OP倾斜度对关节结节倾斜度存在显著影响,即当OP倾斜度增加时,关节结节倾斜度减小,关节结节是TMJ的关键解剖结构之一,倾斜度越大,髁突在向前运动时产生的垂直运动就越大。金田玉^[22]的研究发现:OP角与髁突体积大小改变、关节间隙的改变存在显著相关性,当OP越陡时,髁突体积越小,关节前间隙增大,髁突在关节窝中的位置也相对更加靠后,Rong等^[23]从后牙殆平面角度出发,对55例骨性Ⅰ类错殆畸形患者的CBCT测量研究发现:不同后牙殆平面倾斜度的患者,髁突最大轴向面积和内外径不同,且倾斜度小的髁突轴向多为长椭圆形,倾斜度大的为椭圆形,而后牙殆平面角与关节间隙、关节窝深度等指标不相关。在大多数研究中,OP倾斜度会影响TMJ形态结构这一观点基本达成一致,但与关节不同测量项目之间的相关性仍存在争议。

殆曲线曲度变化对咬合接触及TMJ也具有重要影响,Spee曲线曲度影响髁突在关节窝中的位置,曲度越深,髁突位置越靠后,曲度越浅,髁突位于关节窝的位置越靠前,而髁突的位置异常也可能是导致关节杂音的原因之一。李博等^[24]通过模型测量发现:Spee曲线越趋于平直,TMJ出现弹响的概率越高,Spee曲线过深或过平均会破坏咬合与关节受力的平衡状态,进而对TMJ的健康产生不利影响。因此,在临床治疗中,恢复Spee曲线的适宜曲度至关重要^[25]。此外,亦有观点认为发生异常变化的Wilson曲线也更容易导致关节疾病的发生,但目前相关研究较少。

单纯的OP形态变化并不一定导致疾病,但形态异常可能是颞下颌关节紊乱病(temporomandibular disorder, TMD)的诱发因素,该问题引发了众多研究和广泛讨论。Keller等^[26]研究发现:TMD患者的关节结节后表面与后牙殆平面所成夹角显著小于无症状组,表明该角度变化在TMD患

者中显著减小可能能够作为预测 TMD 的指标之一。Yurchenko 等^[27]则指出, 轻度 OP 形态的不对称可以通过人体的自然适应机制进行补偿, 不会导致 TMD, 但其研究证实了 TMD 患者的咬肌静息张力较高, 因咬肌和二腹肌张力与 OP 倾斜存在联系, 所以推测 OP 的形态不对称可能是 TMD 发展中的一个促进因素。总体而言, OP 的倾斜度与殆曲线曲度对 TMJ 形态及功能均存在一定的潜在影响, 但 TMD 的发生和发展是由多种因素共同作用的结果^[28], 尽管已有大量研究探讨了咬合相关改变在 TMD 中的作用, 但目前仍无法明确 OP 的具体影响。OP 倾斜角度、不对称性和咬合干扰等因素可能通过影响 TMJ 的形态、应力分布和咀嚼力的平衡而间接影响 TMD 的发生和发展, 未来的研究可以采用更统一的研究方法和更全面的评估指标, 以进一步阐明 OP 改变在 TMD 中的具体作用。

2.2 OP 的功能特征与 TMJ 的关系

OP 另一特征在于功能协调性, 这意味着 OP 并非一个静态的解剖结构, 而是一个在下颌运动与 TMJ 功能中发挥重要作用的功能性界面, 它决定了牙齿接触时如何引导下颌骨运动, 从而直接影响髁突在关节窝内的运动路径。OP 对下颌骨的功能定位有很大影响, Tanaka 等^[9]通过纵向研究表明, 陡峭的后牙殆平面会限制下颌前伸, 而平坦的后牙殆平面则促进下颌前突, 这种相关性在骨性 II 类和 III 类错殆畸形中表现更明显, 并且随着生长发育过程愈发显著。刘之奥等^[29]通过 CBCT 也研究发现: 后牙殆平面越大, 下颌骨的体积越小, 位置更靠后, 且下颌骨处于后旋状态, 下颌在前移过程中, 后牙无法正常分离, 从而可能形成相应的殆干扰, 影响下颌骨运动及生理功能的行使。

TMJ 作为下颌运动的支点, 其髁突的位置和运动轨迹直接受上下牙咬合接触的引导^[30], Ogawa 等^[31]选取 38 名安氏 I 类错殆畸形年轻受试者, 利用三维下颌运动分析系统测量其轻叩和咀嚼运动, 结果发现: 随着 OP 的倾斜度变化, 肌肉会根据其方向诱导咀嚼运动, OP 与咀嚼时下颌闭合路径在矢状面上保持几乎垂直的关系, 这反映了形态与功能之间的和谐关系, 这种垂直关系有助于将咬合力更好地传递到牙齿, 从而减少 TMJ 的负担。虽然 TMJ 可以随咬合的变化而发生适应性重建, 但长期错殆畸形以及过于倾斜的 OP 可能会打破这一平衡关系, 改变咀嚼运动的力学环境。Hu 等^[32]

研究发现: 骨性 II 类错殆畸形高角患者的 OP 倾斜度较大, 髁突的内外径减小, 髁突在关节窝中的位置也发生异常, 这种变化会削弱 TMJ 的稳定性, 增加关节位移或 TMD 的发病风险, 同时较小的髁突尺寸与关节窝的连接不够紧密, 在功能运动中会更容易出现异常摩擦或错位。从力学角度来看, OP 会影响传递到颞下颌关节盘和髁突软骨的力的大小和方向, Cifter^[33]运用三维有限元分析方法研究发现: OP 顺时针旋转会使髁突上的压缩应力增加并且力一直位于髁突内侧; Toro-Ibacache 等^[34]运用三维有限元分析进一步发现: OP 倾斜度变化除较极端的变化外, 在一定范围内对髁突存在力学影响但是较为有限, 下颌骨和髁突头的整体应变分布规律也未发生改变, 这可能对正颌手术后的下颌稳定性具有重要意义, 在某些情况下可以适当调整 OP 而不必过于担心对 TMJ 的负面影响。从组织病理学角度, 长期的不平衡负荷可能引发病理改变, Yoshikawa 等^[35]通过动物实验发现: OP 改变会加剧 TMJ 软骨细胞的凋亡, 其中关节结节比髁突损伤更为严重, 修复过程更为迟缓。

关节结构的异常改变不仅直接影响关节功能, 还可能导致下颌骨整体结构的适应性调整^[36]。钟嘉伟等^[37]通过对 306 名患者的 CBCT 和头颅侧位片研究发现: 颞下颌骨关节病患者普遍存在 OP 陡峭、下颌骨后下旋转及升支发育不足的现象; Kwon 等^[38]也发现: 颞下颌关节盘移位可能增加下颌支高度降低、下颌骨尺寸减小以及下颌支后旋的可能性; 此外, 还有研究^[39]表明, OP 过陡与颞下颌关节骨关节病互为因果, 是一种双向关系。结合相关研究可以推测, OP 陡峭、下颌骨后旋与关节盘移位等关节病变可能构成相互促进的病理循环, 互为因果关系, 异常的咬合关系改变关节负荷, 进而引发骨骼改建, 而改建后的下颌位置可能造成关节的功能状态异常, 这又会进一步加重 OP 的异常, 但目前关于 TMJ 的改变和关节疾病对 OP 影响的相关研究较少, 未来的研究可以更深入地探讨这种双向关系。

3 OP 调整对 TMJ 的影响

OP 的控制的正畸治疗中是至关重要的, 控制 OP 可以通过以下方法实现: 1) 控制上下颌磨牙的垂直高度, 避免不必要的伸长; 2) 控制前牙区的垂直高度, 尤其是上颌前牙。这些措施有助于

维持OP的稳定性,减少对TMJ的不良影响,正畸治疗需要考虑OP和TMJ的相互关系,以避免治疗过程中出现TMJ问题^[40]。

3.1 OP调整对TMJ形态位置的影响

正畸、修复治疗或进行手术干预等措施是调整OP的有效手段,有助于恢复咬合的垂直高度,纠正OP的异常倾斜度,并改善髁突和下颌的位置,为下颌的有利旋转提供空间。OP较为陡峭的患者,大多同时存在髁突后上移位以及前斜面的吸收,这就会影响髁突正常的生长发育,例如骨性Ⅱ类错殆畸形患者, Lin等^[41]通过CBCT测量该类患者治疗后的TMJ形态和位置,结果发现:髁突和关节窝的形态发生了改变,且治疗后使髁突位置前移和居中的患者增多,达到了良好的临床效果。此外,骨性Ⅱ类错殆畸形患者中高角往往是治疗的难点, Wang等^[42]研究了42名骨性Ⅱ类高角错殆畸形患者,对治疗前后分别进行头影测量分析后发现:后牙殆平面倾斜度对垂直向控制更重要;王明锋等^[43]通过多曲唇弓来增加后牙区垂直向高度,使后牙殆平面平坦化,并引导下颌向前,结果显示:治疗后TMJ髁突后间隙和上间隙增加,髁突向前下方移位,下颌骨也发生了有利的逆时针旋转。

与骨性Ⅱ类错殆畸形患者相比,骨性Ⅲ类错颌畸形患者OP则较为平坦,髁突在关节窝中位置相对更靠前,且关节窝浅而宽^[44],通常存在下颌骨突出、上颌骨后退或两者的组合,不同的OP角度的患者面部类型也不同^[45]。De Clerck等^[46]对25名骨性Ⅲ类错殆畸形患者采用颌骨支抗配合Ⅲ类牵引远移下颌牙列、调整OP,结果发现:治疗后关节窝后壁发生了显著的骨吸收,髁突向后移位,下颌也随之后移,对骨性Ⅲ类错殆畸形患者下颌前突的问题有所改善。

3.2 OP调整对TMJ功能与运动的影响

在TMJ形态得到调整的基础上,OP的改善也会影响TMJ功能, Lu等^[47]使用微型螺钉对骨性Ⅱ类错殆畸形患者下颌后牙和上颌前牙同时进行了控制,这种联合控制OP的方法实现了更大幅度的下颌骨逆旋,进行了长期的随访后显示:OP调整后患者TMJ的功能得到了持续改善。Marlière等^[48]研究了2名不同面部特征和OP倾斜度的Ⅲ类错殆畸形患者,通过双颌正颌手术对高角患者的殆平面进行逆旋,对低角患者的殆平面进行顺旋,从而达到使下颌旋转的目的,术后不仅改善了咬合

关系, TMJ及咬合也均具有良好的长期稳定性。

有研究^[49]表明:通过调整OP不仅能增强髁突的稳定性,维持稳定的正畸矫治效果,在协调下颌运动方面也具有重要作用,在具体治疗中,如存在过深的Spee曲线病例,临床通常使用平面导板、摇椅弓等措施调整过深的Spee曲线,能够增加颌间高度,优化OP,确保下颌能够实现稳定的前伸运动,有助于维护TMJ的健康和功能,还可以预防和减少TMD的发生。Hoshi等^[50]报道了1名通过使用微种植钉调整倾斜OP的患者,治疗后建立了理想的咬合关系,恢复了正常的下颌运动功能,并且原有的关节不适和疼痛也改善明显,避免了传统正颌手术。相关文献均显示:OP的调整对于TMJ形态功能以及疾病存在一定影响,但文献多为个案报道,截至目前的研究仍缺乏更具体的、大样本的研究。大多数的学者并不否认OP对于TMJ的意义及影响,所以进一步认识OP与TMJ之间的关系具有非常重要的实际指导意义。

4 结论与展望

综上所述,OP的形态以及功能特性均对TMJ的解剖形态和生理功能存在一定影响,异常的OP可能成为TMD的重要致病因素之一,而通过科学的OP调整,在改善患者临床症状、恢复咀嚼效能及提高生活质量方面表现出良好的临床效果。然而,目前的研究仍存在很多未被解决的问题,缺乏纵向研究,缺乏咬合调整对TMJ初诊的长期影响,OP调整的长期稳定性和个性化治疗方案在未来值得进一步探索。未来的研究可以更多地结合数字化技术,深入探究OP与TMJ相互作用的内在机制,为临床治疗提供更多理论支撑和实践指导,进而更好地通过咬合调整来达到更健康的TMJ状态。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

5 参考文献

- [1] Stocum DL, Roberts WE. Part I : development and physiology of the temporomandibular joint[J]. Curr Osteoporos Rep, 2018, 16(4): 360-368.
- [2] 沈刚. 伴颞下颌关节病错殆畸形的正畸治疗原则与方案[J]. 上海口腔医学, 2021, 30(4): 337-343.
Shen G. The orthodontic therapeutic principles for

- malocclusions concurring with temporomandibular joint disorders[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2021, 30(4): 337-343.
- [3] Han S, Shin SM, Choi YS, et al. Morphometric analysis for evaluating the relation between incisal guidance angle, occlusal plane angle, and functional temporomandibular joint shape variation[J]. *Acta Odontol Scand*, 2018, 76(4): 287-293.
- [4] Li JL, Kau C, Wang M. Changes of occlusal plane inclination after orthodontic treatment in different dentoskeletal frames[J]. *Prog Orthod*, 2014, 15(1): 41.
- [5] Lamarque S. The importance of occlusal plane control during orthodontic mechanotherapy[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1995, 107(5): 548-558.
- [6] Downs WB. Variations in facial relationships; their significance in treatment and prognosis[J]. *Am J Orthod*, 1948, 34(10): 812-840.
- [7] 傅民魁. 口腔正畸学[M]. 6版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 83.
- Fu MK. *Orthodontics*[M]. 6th Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 83.
- [8] Fushima K, Kitamura Y, Mita H, et al. Significance of the cant of the posterior occlusal plane in Class II division 1 malocclusions[J]. *Eur J Orthod*, 1996, 18(1): 27-40.
- [9] Tanaka EM, Sato S. Longitudinal alteration of the occlusal plane and development of different dentoskeletal frames during growth[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008, 134(5): 602.e1-602.e11, 603.
- [10] Haynes S, Chau MN. The reproducibility and repeatability of the Wits analysis[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1995, 107(6): 640-647.
- [11] Du BR, Li KC, Shen ZL, et al. Feasibility of occlusal plane in predicting the changes in anteroposterior mandibular position: a comprehensive analysis using deep learning-based three-dimensional models[J]. *BMC Oral Health*, 2025, 25(1): 42.
- [12] 秦一飞, 许天民. 在数字化牙颌模型上确定殆平面的可重复性[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2015, 47(3): 536-540.
- Qin YF, Xu TM. Reproducibility and repeatability of the determination of occlusal plane on digital dental models[J]. *J Peking Univ Health Sci*, 2015, 47(3): 536-540.
- [13] 何三纲. 口腔解剖生理学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 70.
- He SG. *Oral anatomy and physiology*[M]. 8th Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2020: 70.
- [14] Alkhalaf ZA, Sghaireen MG, Issrani R, et al. The effect of accentuation of curve of spee on masticatory efficiency—a systematic review and meta-analysis[J]. *Children (Basel)*, 2023, 10(3): 511.
- [15] Barrera JM, Llamas JM, Espinar E, et al. Wilson maxillary curve analyzed by CBCT. A study on non-mocclusion and malocclusion individuals[J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2013, 18(3): e547-e552.
- [16] Sato M, Motoyoshi M, Hirabayashi M, et al. Inclination of the occlusal plane is associated with the direction of the masticatory movement path[J]. *Eur J Orthod*, 2007, 29(1): 21-25.
- [17] 朱锦怡, 龚衍吉, 郑芳杰, 等. 咬合异常与颞下颌关节紊乱症的关系再思考[J]. *口腔医学*, 2024, 44(1): 24-30.
- Zhu JY, Gong YJ, Zheng FJ, et al. Reevaluation of the association between the malocclusion and temporomandibular disorders[J]. *Stomatology*, 2024, 44(1): 24-30.
- [18] Čelar A, Tafaj E, Graf A, et al. Association of anterior and posterior occlusal planes with different Angle and skeletal classes in permanent dentitions: a lateral cephalometric radiograph study[J]. *J Orofac Orthop*, 2018, 79(4): 267-276.
- [19] Guo DH, Gao J, Qin W, et al. Correlation of occlusion asymmetry and temporomandibular disorders: a cross-sectional study[J]. *Int Dent J*, 2025, 75(3): 2053-2061.
- [20] Li XX, Shan XL, Zhang ST, et al. The correlation analysis between incisal guidance angle and occlusal plane angles and temporomandibular joint morphology[J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(8): 455.
- [21] Camacho-Álvarez FE, Martínez-Contreras SP, Rodríguez-Chávez JA, et al. Characteristics of the occlusal plane associated with unilateral and bilateral articular eminence inclination: a cross-sectional CBCT study[J]. *Dent J*, 2024, 12(10): 316.
- [22] 金田玉. 骨性 I 类成人颞下颌关节形态结构与牙

- 齿咬合特征的相关性分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2023.
- Jin TY. Correlation between temporomandibular joint morphological structure and occlusal characteristics in adults with skeletal class I malocclusion [D]. Nanchang: Nanchang University, 2023.
- [23] Rong H, Long HQ, Liu LX, et al. Clinical study on the posterior occlusal plane and morphology of temporomandibular joint[J]. *Int J Morphol*, 2019, 37(4): 1347-1352.
- [24] 李博, 胡晟爽, 常新. 牙列咬合特征与颞下颌关节紊乱综合征关系研究[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2016, 9(7): 423-426.
- Li B, Hu SS, Chang X. The relationship between occlusal features and temporomandibular disorders[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2016, 9(7): 423-426.
- [25] Yildirim E, Karacay S, Erkan M. Condylar response to functional therapy with Twin-Block as shown by cone-beam computed tomography[J]. *Angle Orthod*, 2014, 84(6): 1018-1025.
- [26] Keller DC, Carano A. Eminence-posterior occlusal plane angle in patients with temporomandibular disorders[J]. *Cranio*, 1991, 9(2): 159-164.
- [27] Yurchenko M, Hubáľková H, Charvát J. Selected muscle tone and asymmetry of the occlusal plane in case of intracapsular temporomandibular joint disorder[J]. *Cranio*, 2024, 42(3): 267-278.
- [28] Pascu L, Haiduc RS, Almășan O, et al. Occlusion and temporomandibular disorders: a scoping review [J]. *Medicina*, 2025, 61(5): 791.
- [29] 刘之奥, 徐卫华, 郑之峻. 基于CBCT的后段殆平面和下颌骨形态间相关性研究[J]. *口腔医学研究*, 2019, 35(11): 1078-1083.
- Liu ZA, Xu WH, Zheng ZJ. Correlation between posterior occlusal plane and mandibular morphology: a CBCT study[J]. *J Oral Sci Res*, 2019, 35(11): 1078-1083.
- [30] Coro JC, Velasquez RL, Coro IM, et al. Relationship of maxillary 3-dimensional posterior occlusal plane to mandibular spatial position and morphology [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2016, 150(1): 140-152.
- [31] Ogawa T, Koyano K, Suetsugu T. The relationship between inclination of the occlusal plane and jaw closing path[J]. *J Prosthet Dent*, 1996, 76(6): 576-580.
- [32] Hu HN, Lin WR, Wu J, et al. Research on the correlation between the size of condyle and occlusion plane in skeletal Class II malocclusions[J]. *Clin Exp Dent Res*, 2022, 8(6): 1547-1554.
- [33] 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.
- [34] Toro-Ibacache V, Montecino M, Espinosa S. The mechanical response of the condylar process of the mandible under changes of the occlusal plane inclination[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2025, 53(6): 674-680.
- [35] Yoshikawa S, Nodai E, Habu M, et al. Influence of altered occlusal plane on rabbit temporomandibular joint cartilage[J]. *J Oral Pathol Med*, 2008, 37(1): 30-37.
- [36] Gong YJ, Zhu JY, Zheng FJ, et al. Associations between condylar height relative to occlusal plane and condylar osseous condition and TMJ loading based on 3D measurements and finite element analysis[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 28919.
- [37] 钟嘉伟, 范佩迪, 胡首杉, 等. 前后殆平面与颞下颌骨关节病关系的影像研究[J]. *华西口腔医学杂志*, 2023, 41(3): 297-304.
- Zhong JW, Fan PD, Hu SS, et al. Imaging study on the relationship between anterior and posterior occlusal planes and temporomandibular osteoarthritis [J]. *West China J Stomatol*, 2023, 41(3): 297-304.
- [38] Kwon HB, Kim H, Jung WS, et al. Gender differences in dentofacial characteristics of adult patients with temporomandibular disc displacement[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2013, 71(7): 1178-1186.
- [39] Chen S, Lei J, Fu KY, et al. Cephalometric analysis of the facial skeletal morphology of female patients exhibiting skeletal Class II deformity with and without temporomandibular joint osteoarthritis[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0139743.
- [40] Shigeta Y, Ogawa T, Nakamura Y, et al. Structural equation modeling for alteration of occlusal plane inclination[J]. *J Prosthodont Res*, 2015, 59(3): 185-193.

- [41] Lin YL, 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.
- [42] Wang HJ, Jiang L, Yi YT, et al. Camouflage treatment guided by facial improvement in hyperdivergent skeletal Class II malocclusion[J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(4): 163.
- [43] 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.
- Wang MF, Li S, Liu L. Influence on the condyle position by decreasing posterior occlusal plane angle in Class II high angle cases[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2018, 27(4): 386-389.
- [44] Chen YX, Li LF, Li Y, et al. Comprehensive positional and morphological assessments of the temporomandibular joint in adolescents with skeletal Class III malocclusion: a retrospective CBCT study [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 78.
- [45] Shido R, Morita Y, Nishioka-Sakamoto K, et al. Occlusal plane angle as a key factor for chin protrusion after mandibular osteotomy in skeletal class III [J]. *J Craniofac Surg*, 2023, 34(8): 2343-2346.
- [46] De Clerck H, Nguyen T, de Paula LK, et al. Three-dimensional assessment of mandibular and glenoid fossa changes after bone-anchored Class III intermaxillary traction[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012, 142(1): 25-31.
- [47] Lu Y, Zhang WH, Zhao BJ, et al. Vertical control of a severe hyperdivergent skeletal Class II malocclusion with steep posterior occlusal plane in a camouflage case[J]. *Medicina*, 2022, 58(9): 1217.
- [48] Marlière DAA, Costa TE, de Matos Barbosa S, et al. Alteration of occlusal plane in orthognathic surgery: clinical features to help treatment planning on class III patients[J]. *Case Rep Dent*, 2018, 2018: 2495262.
- [49] 刘吉玥, 刘奕. 咬合调整对颞下颌关节紊乱病的影响[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2023, 16(2): 147-151, 155.
- Liu JY, Liu Y. Effect of occlusal adjustment on temporomandibular disorders[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2023, 16(2): 147-151, 155.
- [50] Hoshi K, Deguchi T, Goto M, et al. Stomatognathic functional improvement in a patient with a canted occlusal plane and temporomandibular disorder treated with an edgewise appliance and miniscrews[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2022, 161(1): 140-157.

(本文编辑 王姝)