

正畸邻面去釉对牙体及牙周组织影响的研究进展

于晶晶¹ 张欢欢¹ 刘馨蕾¹ 秦丹晨^{2,3} 赵婷婷³ 花放^{1,2,4}

1. 口腔系统重建与再生全国重点实验室 口腔生物医学教育部重点实验室

口腔医学湖北省重点实验室 武汉大学口腔医(学)院 武汉 430079;

2. 武汉大学口腔医院循证口腔医学中心 武汉 430079;

3. 武汉大学口腔医院口腔正畸一科 武汉 430079;

4. 武汉大学口腔医院光谷院区正畸与儿童口腔中心 武汉 430223

[摘要] 邻面去釉是正畸治疗中的一种常用临床操作,可用于存在轻中度牙列拥挤、牙齿形态不协调、前牙区黑三角、Bolton指数不调等的正畸患者。目前学界对于邻面去釉的安全性存在争议,关于其对牙体及牙周组织的影响尚缺乏共识。本文对近年来正畸邻面去釉对牙体及牙周组织影响的相关研究进行综述,以期为正畸医师制定相关临床决策及实施方案提供参考。

[关键词] 邻面去釉; 牙面粗糙度; 釉质元素成分; 牙髓温度刺激; 牙周稳态; 龋易感性

[中图分类号] R783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026221



本文链接

OSID 码

Research progress in the impact of orthodontic interproximal enamel reduction on teeth and periodontium

Yu Jingjing¹, Zhang Huanhuan¹, Liu Xinlei¹, Qin Danchen^{2,3}, Zhao Tingting³, Hua Fang^{1,2,4}

1. State Key Laboratory of Oral & Maxillofacial Reconstruction and Regeneration, Key Laboratory of Oral Biomedicine Ministry of Education, Hubei Key Laboratory of Stomatology, School & Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Center for Evidence-Based Stomatology, School & Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 3. Dept. of Orthodontics Division 1, School & Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 4. Center for Orthodontics and Pediatric Dentistry at Optics Valley Branch, School & Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430223, China

Supported by: National Natural Science Foundation of China (81901044); China Oral Health Foundation Smile Teenagers Research Fund (A2023-008)

Correspondence: Hua Fang, Email: huafang@whu.edu.cn

[Abstract] Interproximal enamel reduction is a common clinical strategy in orthodontic treatment. It can be used for orthodontic patients with mild to moderate dentition crowding, tooth morphology incoordination, black triangle in anterior tooth areas, and Bolton index imbalance. At present, the safety of interproximal enamel reduction is controversial, and a consensus on its impact on teeth and periodontium is lacking. In this article, the recent research on the effect of interproximal enamel reduction on teeth and periodontium is reviewed to provide reference for orthodontists to make clinical decisions and implementation plans.

[Key words] interproximal enamel reduction; surface enamel roughness; surface enamel composition; temperature rise in the pulp; periodontal homeostasis; susceptibility to dental caries

[收稿日期] 2024-12-30; [修回日期] 2025-07-10

[基金项目] 国家自然科学基金(81901044); 中国牙防基金会“爱笑少年”儿童青少年生长发育和口腔疾病防治项目(A2023-008)

[第一作者] 于晶晶, 硕士, Email: jingjingyu@whu.edu.cn

[通信作者] 花放, 副主任医师, 博士, Email: huafang@whu.edu.cn

邻面去釉是无托槽隐形矫治和传统固定矫治技术的常用临床策略之一,通过去除一定量的牙齿近远中邻面釉质获得牙齿移动所需间隙,从而

实现矫治目标^[1];其主要应用于存在Bolton指数不调、轻中度牙列拥挤的非拔牙病例^[2]。正畸医师在临床上进行邻面去釉操作时,首先应恰当选择适应证,并在操作时遵循操作流程和规范^[3]。邻面去釉的适应证通常包括非龋病易感个体、牙弓两侧牙齿形态不协调,要求牙体组织有足够的宽度和釉质厚度,且牙齿形态适合邻面去釉。正畸医师在临床实际操作过程中可采用机械方法和手工方法进行邻面去釉。机械方法指的是使用高速涡轮手机搭配高速金刚砂车针,或者慢速弯机搭配慢速金刚砂片进行釉质磨除;手工方法为使用金刚砂氧化物材质的手用金刚砂纸来磨除釉质,临床操作时应注意避免损伤周围软组织^[4]。

然而,近年来一些学者对于邻面去釉的安全性提出质疑。有学者^[5]认为,去釉后釉质表面沟纹增多,粗糙程度增加,导致牙菌斑附着面积增大,牙菌斑易于积聚产酸。釉质表层的矿化程度高、含水量低、结构致密,是牙齿抵抗菌斑的主要保护层,对釉质进行打磨、减径,可能增加龋齿、牙本质过敏等的风险^[6]。同时,邻面去釉在一定程度上破坏了釉质的完整性,一方面导致牙本质暴露,另一方面使牙本质的酸渗透性增加。以上原因可能改变牙面周围微环境,增加釉质脱矿、牙本质敏感等并发症发生的风险,从而在一定程度上影响正畸治疗效果,对预后产生不良影响。因此正畸医师在制定邻面去釉相关临床决策时,应将其对于牙体及牙周组织的影响纳入考量。本文对近年来该领域相关研究进行回顾,聚焦邻面去釉对牙体及牙周组织的影响以及邻面去釉操作的安全性,介绍邻面去釉的临床操作要点,以期临床工作中实施邻面去釉提供参考。

1 邻面去釉对于牙体组织的影响

1.1 邻面去釉对于牙面粗糙度的影响

作为一种不可逆临床操作,邻面去釉技术在去除釉质同时会对牙面粗糙度产生影响。Silvestrini Biavati等^[7]对160颗下切牙进行研究,分别使用细金刚砂钻、超细金刚砂钻、碳化钨钻、超细金刚砂条进行邻面去釉,在扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)下定性观察牙面微观结构,结果显示所研究邻面去釉方法均会在牙面上留下条纹痕迹,提示釉质损伤。热克西^[8]通过对40颗前磨牙的激光扫描共聚焦荧光显微镜

(laser scanning confocal microscopy, LSCM)二维和三维观察证实,手用金刚砂纸(手持和带柄)、慢速金刚砂片邻面去釉后的釉质表面均呈现出明显交叉的沟纹,且深浅程度不一;借助LSCM的高分辨率对去釉表面微观结构特征进行定性和定量分析,发现所形成划痕从深到浅依次为手用金刚砂纸(手持)、手用金刚砂纸(带柄)、慢速金刚砂片;未处理釉质表面较邻面去釉后釉质表面凹凸不平,但相对更平整,凹处可见釉柱末端。Poovattil等^[9]的一项体内研究对前磨牙分别进行了0.2、0.3、0.5 mm的邻面去釉,SEM观察显示去釉后微观表面不规则且粗糙,未进行邻面去釉的釉质表面则呈蜂窝状结构。

通过定量分析方法可以对釉质表面粗糙度进行更精确测量,避免了观察者主观判断对实验结果产生影响,同时对于所得粗糙度进行统计分析可以获得直观比较,从而就邻面去釉对牙面粗糙度影响进行更深入研究。Butrus等^[10]利用原子力显微镜,以纳米级分辨率获得表面形貌结构信息及表面粗糙度信息,通过定量分析证实,慢速金刚砂片处理后釉质表面粗糙度最大,其次是高速金刚砂车针和手用金刚砂纸,但是三者间粗糙度差异无统计学意义。Katsigialou等^[11]则引用了新参数来描述釉质表面微观特征信息,利用光学3D表面轮廓仪对慢速金刚砂片和手用金刚砂纸处理过的牙面进行波纹度和不均匀性定量分析,结果显示2种邻面去釉方法均显著降低了牙面的波纹度,使釉质表面更平整,同时增大了牙面的粗糙度,其中机械方法获得的牙面更平坦,波纹度更小。

根据上述各项研究,邻面去釉操作的实施均会在不同程度上增加釉质表面粗糙度,且手工方法比机械方法所得的釉质表面更为粗糙。在临床实际操作中,邻面去釉后釉质表面粗糙度增加的程度可能受不同医师经验水平、操作工具差异、釉质表面基线情况等诸多因素影响。

1.2 邻面去釉对于釉质元素成分的影响

釉质是覆盖于牙冠的高度矿化硬组织。作为全身唯一无细胞组织,釉质主要由无机物及少量有机物和水组成,其基本结构是釉柱,垂直于牙本质层,向外延伸至表面。釉质是龋病最先侵及的组织,其内微量元素和非羟磷灰石的变化可导致釉质对酸侵蚀敏感性改变,而釉柱中晶体的排列方向也与龋病进展过程中脱矿方式有关^[12-13]。邻面去釉操作磨除了表层釉质,可能会带来釉质组

成成分和内部排列结构改变,从而影响酸的侵蚀和龋病进展。

Poovattil等^[9]在SEM上搭配能量色散X射线谱仪(energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDS)配件,采用SEM/EDS分析法,通过SEM获得的各种信号得到给定样品不同信息,利用每种元素都有自己的X射线特征波长这一原理^[11-12,14-18],对进行了0.2、0.3、0.5 mm邻面去釉的前磨釉质表面进行元素组成和含量分析,结果证明邻面去釉前后各组釉质表面元素组成一致,均为钙、磷、碳、氧、氮,差异无统计学意义。

釉质的表面结构,即每平方毫米的釉柱数量、釉柱密度、釉柱间距,与釉质的显微硬度具有一定相关性;同时釉质的表面结构与龋病的发生和发展存在关联^[19]。目前关于邻面去釉后釉质表面结构改变的研究较少,需要进一步开展体内和体外实验以探究邻面去釉对于釉质表面微观结构的影响。

1.3 邻面去釉对于牙髓的温度刺激

邻面去釉操作中旋转和切割器械的使用会产生机械振动,从而产生热量,通过釉质、牙本质传递到牙髓,对牙髓生理状态产生一定影响。若牙髓温度升高超过5.5℃,可引起牙髓组织病理变化,严重时可导致牙髓坏死。

Banga等^[20]的一项体内实验分别使用高速金刚砂车针、慢速金刚砂片、手用金刚砂纸对51颗前磨牙进行邻面去釉,并测量其去釉前后温度变化,结果显示,手用金刚砂纸进行邻面去釉后的温度升高幅度最小,高速金刚砂车针进行邻面去釉后的温度升高幅度最大,但3种方法导致的温度升高均未超过5.5℃,提示3种方法所产生的温度变化对于牙髓都是相对安全的。

2 邻面去釉对于牙周组织的影响

正畸治疗会增加牙龈萎缩的风险,当牙间龈乳头退缩至不能完全覆盖龈楔状隙时,便会形成肉眼可见的三角形间隙,即“黑三角”。此外,黑三角也是拥挤前牙排齐后的常见表现^[21]。Batra等^[22]的一项研究表明,非专业人士认为黑三角是对微笑美学影响最大的软组织因素。正畸、牙周、修复多学科协作对于黑三角的预防和治疗至关重要^[23]。Zhang等^[24]指出,邻面去釉操作可以通过改变相邻牙齿邻面接触点的位置来减轻黑三角的严

重程度。临床上可以设计一定的邻面去釉量,同时在保持适当的牙根角度和平行度情况下通过整体移动关闭去釉间隙,改变邻面接触点,缩短其与牙槽嵴的距离,从而达到减少黑三角、改善前牙区美观的目的^[25]。

邻面去釉的使用缩短了相邻牙根距离,牙槽骨间隔因此变窄,可能会导致附着丧失,甚至带来相对严重的牙周问题^[26]。然而,Shalchi等^[27]的一项回顾性队列研究结果显示,在90名接受固定矫治的患者中,邻面去釉操作并未增加龋病发生率、牙龈问题及牙槽骨吸收。Gómez-Aguirre等^[28]的循证研究也证实,在61名进行了邻面去釉操作的正畸患者中,全部患者的牙槽骨吸收小于2 mm,其中57名未出现下颌切牙唇侧牙龈退缩,提示邻面去釉操作并不会导致牙周组织明显变化。牙列拥挤是牙周病的局部促进因素,如前牙拥挤者可能因牙列不齐,妨碍了口腔卫生维护而易患牙周疾病^[29]。Sirri等^[30]和Al-Ibrahim等^[31]的研究均表明,采用不同技术矫正前牙拥挤,治疗后的牙周指标(如菌斑指数、探诊深度)均未发生显著变化。上述现象可能与邻面去釉结合正畸治疗后牙齿拥挤的改善相关:通过将拥挤的牙齿在牙弓中排列整齐,可有利于口腔清洁措施的实施,从而在一定程度上改善口腔卫生,对于牙周问题的改善有一定的积极作用。Darwiche等^[32]对60名患者正畸治疗前后的锥形束CT进行研究,指出邻面去釉操作可有效控制上下切牙转矩,且不会对牙根间牙槽骨体积产生显著影响。综上,现有研究显示,邻面去釉操作通常不会增加牙龈退缩、牙槽骨吸收等牙周问题的产生^[3]。

目前关于邻面去釉对牙周影响的相关研究较少,其中多数采用牙周相关临床指标,如附着丧失程度、探诊出血指数、菌斑指数等^[25,27],关于邻面去釉与牙周稳态关系的研究较少。有研究^[33-34]表明,邻面去釉在一定程度上会增加菌斑聚集的风险,改变牙周菌群的数量、种类和比例,这提示可能对牙周稳态产生一定的影响。口腔微生物群以及宿主免疫反应是牙周稳态的关键^[35]。牙周局部免疫和微生物环境方面的积极变化有利于牙周炎症的缓解,消极变化可导致牙周组织的炎症反应和破坏。邻面去釉可以通过影响牙周局部微环境中龈下菌斑微生物群和宿主反应来对牙周状况产生负面影响,如一些毒力因子触发的异常免疫反应可导致牙槽骨的骨质丧失;且相关病原菌的

检出可能早于牙周病临床指标的变化^[36-37]。因此邻面去釉与牙周稳态关系的研究可以辅助临床医生监测、管理正畸患者牙周状况,提前识别牙周病迹象,制定早期预防和干预策略。

3 邻面去釉对龋易感性的影响

邻面去釉后得到的粗糙釉质表面在一定程度上可能增大细菌附着面积,有可能促进细菌黏附形成生物膜,增加菌斑、牙石积累和釉质表面脱矿的风险。Danesh等^[38]通过偏光显微镜观察分析证实,对邻面去釉后的釉质表面进行脱矿-再矿化循环,即模拟邻面去釉后的口内环境,所得的釉质表面酸渗透深度与表面粗糙度具有一定的显著相关性。即表面粗糙度越大,酸渗透深度相应会变深,而酸渗透深度与龋的发生有一定相关性。然而Koretsi等^[39]的循证研究显示,邻面去釉不会增加患龋风险。因此,关于邻面去釉的使用是否会增加患龋风险目前仍存在争议。

去釉完成后进行抛光处理可以有效降低釉质粗糙度,有助于釉质表面形态的恢复,进而降低邻面去釉后患龋风险^[7,10,28,38,40-43]。但也有学者^[7]指出,抛光后获得的釉质表面形态学特征与完整釉质不完全相同。同时有研究^[44-45]发现,在邻面去釉后使用具有防龋、再矿化作用的化学制剂对于降低邻面去釉后的患龋风险有一定作用。去釉完成后对牙面涂布的化学制剂是一大研究热点,主要包括含氟制剂、自酸蚀粘接剂、渗透树脂、护牙素、新型纳米羟磷灰石(nanohydroxyapatite, nHAP)复合改性材料、酪蛋白磷酸肽-无定形磷酸钙(casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate, CPP-ACP)、pH响应型抗菌纳米材料、生物活性玻璃、硅酸钙等^[6,46-51]。氟化物的应用可以防止邻面去釉后釉质钙和磷酸盐的流失^[52];树脂渗透技术已被证实可以增加邻面去釉后的釉质显微硬度^[53];局部使用含CPP-ACP的化学制剂可促进牙面再矿化^[54]。此外,在正畸治疗全过程中应发挥患者的主观能动性,告知患者及其家长保持良好口腔卫生的重要性^[7,55]。

对于隐形矫治的患者,隐形矫治器戴用时会在牙面周围形成密闭环境,在一定程度上加速邻面去釉周围牙面的脱矿。对于固定矫治的患者,托槽周围易积聚菌斑,需加强去釉处牙面的防龋处理。对于青少年正畸患者,可能因为自律性不

佳或者清洁不到位而难以维持良好的口腔卫生,尤其是在牙齿邻接区^[3];因此对于青少年正畸患者,邻面去釉操作的实施要格外谨慎,同时加强对青少年患者的口腔卫生宣教,必要时对牙面涂布氟化物、CPP-ACP等具有防龋、再矿化作用的化学制剂。

4 基于牙体及牙周考量的正颌邻面去釉实践

邻面去釉是在正畸治疗过程中对邻面釉质在安全范围内进行适当减径、成形、抛光等处理,调整牙齿近远中径大小从而获得间隙的一种临床治疗策略,适用于在侧貌良好的轻、中度牙列拥挤的错颌畸形临界病例中提供间隙,解除牙列拥挤。对于这些错颌畸形临界病例,邻面去釉技术更多的应用于Ⅱ类错颌患者上颌后牙区、Ⅲ类错颌患者下颌前牙区^[56]。2024年,Abasseri等^[57]对11位正畸医师的330例隐形矫治患者的数字化治疗方案进行分析,结果发现39.4%的邻面去釉设计在精调阶段,最常见的去釉位点位于下颌前牙区。

了解各牙面的釉质厚度,是临床上进行邻面去釉操作的理论基础。2021年,Yagci等^[58]研究发现,前磨牙的釉质厚度都与牙冠宽度相关,而每一颗牙的近远中牙冠宽度都与对颌牙一致。牙弓中每一颗牙齿的牙尖(骀面)、牙颈部、中1/3处近远中的釉质厚度都各不相同,其中下颌第二前磨牙、上下颌第一前磨牙、上下颌尖牙、上颌侧切牙的近中面中1/3处的釉质厚度平均值显著高于其他牙面。2021年,Kailasam等^[59]的循证研究显示,远中面的釉质厚度比近中面的釉质厚度平均厚0.10 mm。在正畸去釉的临床操作过程中应正确选择适应证,保证在安全范围内去釉。牙齿邻面釉质的厚度为0.75~1.25 mm,同时邻面釉质存在正常的生理磨耗,因此最大去釉量不应超过原釉质厚度的50%^[4]。对于邻面去釉量的范围,其中上颌切牙不超过0.3 mm,前磨牙和磨牙不超过0.6 mm(按照单个邻面算)^[11,40,59]。

5 邻面去釉方法的比较

邻面去釉的临床操作方法包括机械方法和手工方法,分别采用机用器械和手用器械^[60]。相对于手工方法,机械方法进行的邻面去釉操作在某种程度上更高效、更便捷、有效缩短椅旁治疗时

间、去釉量更精确。Güleç Ergün等^[61]的一项体内试验比较了分别使用机用金刚砂盘、机用金刚砂片、手用金刚砂纸进行邻面去釉所得实际去釉量与治疗前设计去釉量之间的差异,结果显示,相较于手工方法,机械方法可以获得更为准确的去釉量,尤其在上颌中切牙和下颌尖牙区域。Kalemaj等^[62]的一项前瞻性观察研究结果表明,实际实施的邻面去釉量小于预计实施的邻面去釉量,尤其在下颌尖牙和牙齿的远中面更为显著;而机用器械可以提高邻面去釉的精确度。然而,目前仍需进一步的前瞻性研究来确定影响去釉量准确性的因素,以及去釉量准确性对于治疗结果的临床影响。当使用机械方法进行邻面去釉时,高速金刚砂车针和慢速金刚砂片的使用均会因摩擦生热效应使釉质表面局部温度升高,在一定程度上增加了牙本质敏感、牙髓炎症,甚至牙髓坏死发生的风险。为有效规避此类潜在风险,有学者^[3]建议在临床操作过程中,严格水冷降温,同时控制车针和金刚砂片施于牙面的压力、间断性磨除釉质,降低持续摩擦产热带来的潜在风险。

手工方法是一种更为保守、安全的方法,有研究^[63-64]表明,该方法所获得的釉质表面硬度更高,粗糙度更小、更光滑。Serbanoiu等^[63]将42颗离体恒牙分成6组,分别用金刚砂车针、90 μm粒径金刚砂纸、60 μm粒径金刚砂纸、40 μm粒径金刚砂纸、15 μm粒径金刚砂纸、金刚砂盘进行邻面去釉,利用维氏硬度计测量去釉后的显微硬度值,结果显示,手工方法所得的釉质硬度较机械方法高,且金刚砂纸粒径越小,所得显微硬度值越高;其中粒径为15 μm的金刚砂纸所获得的釉质表面显微硬度值与对照组相似。釉质的表面粗糙度应控制在200 nm以下,以防止细菌黏附和菌斑聚集^[64]。Serbanoiu等^[64]研究发现,机械方法较手工方法所得的釉质表面更粗糙,2种方法所得的去釉表面均未超过200 nm,其中粒径为15 μm的金刚砂纸所获得的釉质表面粗糙度最低。釉质表面硬度的降低和粗糙度的增加,在一定程度上会增加细菌聚集、菌斑黏附的风险,进一步可能导致龋病的发展。因此,手工方法在一定程度上适合患龋风险较高的患者。De Felice等^[43]对40名通过手工方法进行邻面去釉操作的患者展开研究,记录并比较每个患者的上、下颌的第二前磨牙到对侧第二前磨牙的邻面去釉计划实施量和实际实施量,结果显示,手工方法获得的实际去釉量小于治疗前设计的去

釉量,其中在上颌的准确度为44.95%,下颌的准确度为37.02%;但当以毫米为单位考虑这些差距时,实际差异的数值可能不具有临床意义。采用手工方法获得的实际去釉量与治疗前设计的去釉量不一致,可能与操作过程中手用金刚砂纸的使用造成的去釉牙齿的移位有一定的相关性。因此,在去釉量较大的情况下,建议避免使用手工方法,以减少去釉过程中牙齿移动带来的误差^[61];或者将手工方法在去釉量较少的情况下用于精细调整。在临床实际操作中,手工方法的使用受到不同正畸医师操作水平的影响,同时应注意及时更换金刚砂纸,以避免使用过程中器械的磨损。

理想状态下,正畸临床操作中的邻面去釉实际实施量应与治疗前设计的去釉量相一致。然而,临床实施的邻面去釉准确性可能受到不同操作方式、操作器械和临床医生技能水平的影响^[65-66]。基于数字化口腔扫描获得的STL格式文件进行分析可以作为一种形态测量方式来对邻面去釉的釉质去除量进行定量设计^[67],同时去釉间隙测量工具的使用也可以使邻面去釉获得的间隙更加精确。无论是使用机械方法还是手工方法进行邻面去釉,都会在一定程度上造成去釉表面粗糙度的增加,因此有学者建议对去釉后的牙面进行抛光处理^[3,11,64]。

6 总结与展望

邻面去釉是正畸常用的临床策略之一,其操作方法包括机械方法和手工方法,临床上应根据实际需要选择合适的操作方法。在目前的正畸治疗中,邻面去釉的使用有日益增加的趋势,同时其对于牙体及牙周组织的影响也应引起正畸医生的关注。现有研究表明,邻面去釉操作的实施会在不同程度上增加牙面粗糙度,但对于釉质元素组成无明显改变,所产生的温度变化对于牙髓的影响在安全范围内。合理设计的邻面去釉操作可以减轻黑三角的严重程度,不会导致相关牙周问题的显著增加。

值得注意的是,关于邻面去釉对牙周组织及龋易感性的影响,现有研究存在争议,仍需更多高质量研究提供直接证据。此外,关于邻面去釉对于牙本质敏感性、牙周微环境中微生物群落成分和含量的影响尚不明确,有待深入探究;同时邻面去釉对于牙列中其他牙齿的影响也缺乏研究。

邻面去釉操作的设计与实施需兼顾疗效与安全性,未来可以通过数字化方法的应用,推动该技术向更加精准化、微创化的方向发展。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

7 参考文献

- [1] 余智爽, 邓怡. 无托槽隐形矫治器关闭邻面去釉间隙的生物力学研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2020, 36(5): 775-778.
Yu ZS, Deng Y. Biomechanical study on closing the gap of interproximal enamel reduction by clear aligner[J]. J Pract Stomatol, 2020, 36(5): 775-778.
- [2] 中华口腔医学会口腔正畸专业委员会. 口腔正畸无托槽隐形矫治技术指南(2021版)[J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(10): 983-988.
Society of Orthodontics, Chinese Stomatological Association. Guidelines for clear aligner orthodontic treatment (2021)[J]. Chin J Stomatol, 2021, 56(10): 983-988.
- [3] Dahhas FY, Almutairi NS, Almutairi RS, et al. The role of interproximal reduction (IPR) in clear aligner therapy: a critical analysis of indications, techniques, and outcomes[J]. Cureus, 2024, 16(3): e56644.
- [4] 陈扬熙. 口腔正畸学——基础、技术与临床[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
Chen YX. Orthodontics: foundation, technology and clinical[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012.
- [5] 孟微, 鲁明星. 渗透树脂与多乐氟用于正畸邻面去釉后的疗效观察[J]. 世界最新医学信息文摘, 2020, 20(53): 153-154.
Meng W, Lu MX. Observation on the effect of ICON resin and duraphat on enamel demineralization after interproximal reduction[J]. World Latest Med Informat, 2020, 20(53): 153-154.
- [6] 张婷, 鲍强. 用氟制剂和自酸蚀粘接剂预防邻面去釉并发症的临床效果分析[J]. 全科口腔医学电子杂志, 2020, 7(18): 4-6.
Zhang T, Bao Q. Analysis of the clinical effect of fluoride preparation and self etching adhesive in preventing the complications of adjacent enamel removal[J]. Electr J General Stomatol, 2020, 7(18): 4-6.
- [7] Silvestrini Biavati F, Schiaffino V, Signore A, et al. Evaluation of enamel surfaces after different techniques of interproximal enamel reduction[J]. J Funct Biomater, 2023, 14(2): 110.
- [8] 热克西. 不同邻面去釉方式对牙釉质粗糙度影响的体外研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2022.
Re KX. *In vitro* study on the effect of different IER methods on enamel roughness[D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2022.
- [9] Poovattil KB, Sathyanarayana HP, Padmanabhan S. Does surface enamel composition and characteristics vary with inter proximal enamel reduction[J]. Clin Oral Investig, 2024, 28(3): 176.
- [10] Butrus DJ, Chawshli OF. Evaluation of the enamel nano-topography influenced by different techniques of interproximal reduction: an atomic force microscopic study[J]. J Orthod, 2023, 50(2): 196-204.
- [11] Katsigialou N, Sifakakis I, Zinelis S, et al. Manual and mechanical stripping-induced enamel roughness and elemental composition *in vivo*[J]. Eur J Orthod, 2023, 45(3): 250-257.
- [12] Salvati E, Besnard C, Harper RA, et al. Finite element modelling and experimental validation of the enamel demineralisation process at the rod level[J]. J Adv Res, 2020, 29: 167-177.
- [13] 于世凤. 口腔组织病理学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
Yu SF. Oral histology and pathology[M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012.
- [14] Harper RA, Shelton RM, James JD, et al. Acid-induced demineralisation of human enamel as a function of time and pH observed using X-ray and polarised light imaging[J]. Acta Biomater, 2021, 120: 240-248.
- [15] Palomino L, Gonzalez-Gamboa I, Garcia-Mendoza M, et al. Grafting-from synthesis of plant-polynorbornene biohybrid materials[J]. ACS Macro Lett, 2024, 13(6): 726-733.
- [16] Jiang Q, Yin Z, Yin H, et al. Study on triaxial compression performance and damage characteristics of fiber-reinforced ecological matrix cementing gangue gypsum fill material[J]. PLoS One, 2024, 19(5): e0299001.
- [17] Chintokoma GC, Chebude Y, Kassahun SK. Cd²⁺ re-

- moval efficiency of activated carbon from *Prosopis juliflora*: optimization of preparation parameters by the Box-Behnken Design of Response Surface Methodology[J]. *Heliyon*, 2024, 10(10): e31357.
- [18] Mutadza I, Ikiensikimama SS, Joel OF. Geo-mechanical and geo-morphology characterisation of the cap rocks in the Niger Delta for potential carbon capture and storage[J]. *Heliyon*, 2024, 10(10): e31206.
- [19] Kelly AM, Kallistova A, K  chler EC, et al. Measuring the microscopic structures of human dental enamel can predict caries experience[J]. *J Pers Med*, 2020, 10(1): 5.
- [20] Banga K, Arora N, Kannan S, et al. Evaluation of temperature rise in the pulp during various IPR techniques—an *in vivo* study[J]. *Prog Orthod*, 2020, 21(1): 40.
- [21] Burke S, Burch JG, Tetz JA. Incidence and size of pretreatment overlap and posttreatment gingival embrasure space between maxillary central incisors[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1994, 105(5): 506-511.
- [22] Batra P, Daing A, Azam I, et al. Impact of altered gingival characteristics on smile esthetics: laypersons' perspectives by Q sort methodology[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2018, 154(1): 82-90.e2.
- [23] Pugliese F, Hess R, Palomo L. Black triangles: preventing their occurrence, managing them when prevention is not practical[J]. *Semin Orthod*, 2019, 25(2): 175-186.
- [24] Zhang Y, Wang X, Wang J, et al. IPR treatment and attachments design in clear aligner therapy and risk of open gingival embrasures in adults[J]. *Prog Orthod*, 2023, 24(1): 1.
- [25] Nucci L, d'Apuzzo F, Nastri L, et al. Enamel interproximal reduction and periodontal health[J]. *Semin Orthod*, 2024, 30(2): 146-149.
- [26] Zachrisson BU, Ny  ygaard L, Mobarak K. Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007, 131(2): 162-169.
- [27] Shalchi M, Abdollahi N, Shafiei Haghsheenas E, et al. Effect of interdental enamel reduction on clinical attachment loss, bleeding on probing, and incidence of caries in treating class I malocclusion cases: a retrospective cohort study[J]. *Cureus*, 2023, 15(2): e35018.
- [28] Gómez-Aguirre JN, Argueta-Figueroa L, Castro-Gutiérrez MEM, et al. Effects of interproximal enamel reduction techniques used for orthodontics: a systematic review[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2022, 25(3): 304-319.
- [29] 孟焕新. 牙周病学[M]. 5版. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- Meng HX. *Periodontology*[M]. 5th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2020.
- [30] Sirri OR, Burhan AS, Hajeer MY, et al. Efficiency of corticision in accelerating leveling and alignment of crowded lower anterior teeth in young adult patients: a randomised controlled clinical trial[J]. *J Clin Diagn Res*, 2020, 14(10): ZC26-ZC31.
- [31] Al-Ibrahim HM, Hajeer MY, Alkhouri I, et al. Leveling and alignment time and the periodontal status in patients with severe upper crowding treated by corticotomy-assisted self-ligating brackets in comparison with conventional or self-ligating brackets only: a 3-arm randomized controlled clinical trial[J]. *J World Fed Orthod*, 2022, 11(1): 3-11.
- [32] Darwiche FH, Tashkandi NE, AlGhamdi M, et al. Effect of interproximal enamel reduction on interdicular bone volume in clear aligner therapy: a three-dimensional cone-beam computed tomography study[J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(10): 552.
- [33] 王松灵. 稳态医学在口腔医学中发展与应用的思考[J]. *中华口腔医学杂志*, 2024, 59(2): 119-123.
- Wang SL. Development and application of homeostatic medicine in stomatology[J]. *Chin J Stomatol*, 2024, 59(2): 119-123.
- [34] 王志勇, 陈谦明. 牙周稳态维持与失衡中的区域免疫机制[J]. *中华口腔医学杂志*, 2024, 59(2): 130-137.
- Wang ZY, Chen QM. Regional immunity involved in the maintenance and imbalance of periodontal homeostasis[J]. *Chin J Stomatol*, 2024, 59(2): 130-137.
- [35] Hathaway-Schrader JD, Novince CM. Maintaining homeostatic control of periodontal bone tissue[J]. *Periodontol 2000*, 2021, 86(1): 157-187.

- [36] 曲红蕾, 陈发明. 非阻生第三磨牙与邻牙牙周稳态[J]. 中华口腔医学杂志, 2024, 59(2): 138-144.
- Qu HL, Chen FM. Nonimpacted third molars and the periodontal homeostasis of their adjacent second molars[J]. Chin J Stomatol, 2024, 59(2): 138-144.
- [37] 李政毅, 周学东, 彭显. 口腔微生物稳态调控与口腔疾病[J]. 中华口腔医学杂志, 2024, 59(2): 124-129.
- Li ZY, Zhou XD, Peng X. Regulation of oral microbiota homeostasis and oral diseases[J]. Chin J Stomatol, 2024, 59(2): 124-129.
- [38] Danesh G, PKKPodstawa, Schwartz CE, et al. Depth of acid penetration and enamel surface roughness associated with different methods of interproximal enamel reduction[J]. PLoS One, 2020, 15(3): e0229595.
- [39] Koretsi V, Chatzigianni A, Sidiropoulou S. Enamel roughness and incidence of caries after interproximal enamel reduction: a systematic review[J]. Orthod Craniofac Res, 2014, 17(1): 1-13.
- [40] Cremonini F, Giannoccaro V, Palone M, et al. *In vitro* study of tooth surfaces after interproximal enamel reduction: extraoral scanner and SEM analysis[J]. Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr, 2021, 21(suppl1): e0021.
- [41] Sugsompian K, Tansalarak R, Piyapattamin T. Comparison of the enamel surface roughness from different polishing methods: scanning electron microscopy and atomic force microscopy investigation[J]. Eur J Dent, 2020, 14(2): 299-305.
- [42] Harini R, Thulasiram D, Sabapathy K. Interproximal reduction in orthodontics—a review[J]. Europ J Mol Clin Med, 2020, 7(4): 1641-1644.
- [43] De Felice ME, Nucci L, Fiori A, et al. Accuracy of interproximal enamel reduction during clear aligner treatment[J]. Prog Orthod, 2020, 21(1): 28.
- [44] Almansouri N, Bakry AS, Abbassy MA, et al. Evaluation of resin infiltration, fluoride and the biomimetic mineralization of CPP-ACP in protecting enamel after orthodontic inter-proximal enamel reduction[J]. Biomimetics (Basel), 2023, 8(1): 82.
- [45] 王凤欣. 在邻面去釉后应用自酸蚀粘结剂的防龋效果研究[J]. 黑龙江医药, 2020, 3(2): 422-424.
- Wang FX. Study on the anti-caries effect of self-etch binder after interproximal enamel reduction[J]. Heilongjiang Med J, 2020, 3(2): 422-424.
- [46] 赵萌. 正畸牙邻面去釉后不同试剂处理对牙釉质再矿化的影响[D]. 唐山: 华北理工大学, 2020.
- Zhao M. Effects of different reagent treatments on enamel remineralization after orthodontic tooth interproximal enamel reduction[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2020.
- [47] 胡蓓蓓, 李雪微, 白海, 等. 新型纳米HAP复合改性材料制备及其防龋性能研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2020, 36(1): 86-90.
- Hu BB, Li XW, Bai H, et al. Preparation and anticaries properties of novel nano-hydroxyapatite modified composites[J]. J Pract Stomatol, 2020, 36(1): 86-90.
- [48] 曲珊琳, 于烁, 马晓琳, 等. pH响应型抗菌纳米材料在抑制口腔菌斑生物膜领域的研究进展[J]. 中华口腔医学杂志, 2023, 58(3): 292-297.
- Qu SL, Yu S, Ma XL, et al. Research progress in pH-responsive antibacterial nanomaterials for inhibiting oral plaque biofilms[J]. Chin J Stomatol, 2023, 58(3): 292-297.
- [49] 全璐璐. 生物活性玻璃溶液对邻面去釉后的再矿化研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2021.
- Quan LL. The effect of remineralization on BAG solution after interproximal enamel reduction[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2021.
- [50] Vicente A, Ortiz-Ruiz AJ, González-Paz BM, et al. Effectiveness of a toothpaste and a serum containing calcium silicate on protecting the enamel after interproximal reduction against demineralization[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 834.
- [51] Vaid NR, Adel SM. Contemporary orthodontic workflows: a panacea for efficiency[J]. Semin Orthod, 2023, 29(1): 1-3.
- [52] Zanatta RF, Caneppele TMF, Scaramucci T, et al. Protective effect of fluorides on erosion and erosion/abrasion in enamel: a systematic review and meta-analysis of randomized in situ trials[J]. Arch Oral Biol, 2020, 120: 104945.
- [53] Perdigão J. Resin infiltration of enamel white spot lesions: an ultramorphological analysis[J]. J Esthet Restor Dent, 2020, 32(3): 317-324.

- [54] Reise M, Kranz S, Heyder M, et al. Effectiveness of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP) compared to fluoride products in an *in-vitro* demineralization model[J]. *Materials* (Basel), 2021, 14(20): 5974.
- [55] Ploumis EJ. Changing times, changing paradigms: emerging trends in orthodontic practice opportunities[J]. *Semin Orthod*, 2022, 28(1):1-4.
- [56] Ozturk T, Yagci A. Association between incisor positions and amount of interdental stripping in patients undergoing orthodontic treatment[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 159(6): e439-e448.
- [57] Abasseri T, Weir T, Meade MJ. Interproximal reduction in the refinement phase of Invisalign treatment: a quantitative analysis[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2024, 165(6): 689-696.
- [58] Yagci F, Turker G, Yilanci H. Determination of the thickness of the safe enamel for laminate veneer preparation and orthodontic stripping by CBCT[J]. *Niger J Clin Pract*, 2021, 24(4): 525-533.
- [59] Kailasam V, Rangarajan H, Easwaran HN, et al. Proximal enamel thickness of the permanent teeth: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 160(6): 793-804.e3.
- [60] 热克西, 古力巴哈·买买提力. 邻面去釉技术及其临床应用的研究进展[J]. *中国美容医学*, 2022, 31(10): 202-205.
- Re KX, Gulibaha·Maimaitil. Research progress of adjacent surface deglazing technology and clinical application[J]. *Chin J Aesth Med*, 2022, 31(10): 202-205.
- [61] Güleç Ergün P, Arman Özçırpıcı A, Atakan Kocabal-kan A, et al. Evaluation of the consistency of two interproximal reduction methods in clear aligner therapy: a preliminary study[J]. *Turk J Orthod*, 2024, 37(1): 1-6.
- [62] Kalemaj Z, Levrini L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy[J]. *Angle Orthod*, 2021, 91(1): 61-66.
- [63] Serbanoiu DC, Vartolomei AC, Ghiga DV, et al. Comparative evaluation of dental enamel microhardness following various methods of interproximal reduction: a vickers hardness tester investigation[J]. *Biomedicines*, 2024, 12(5): 1132.
- [64] Serbanoiu DC, Vartolomei AC, Ghiga DV, et al. A comparative analysis of enamel surface roughness following various interproximal reduction techniques: an examination using scanning electron microscopy and atomic force microscopy[J]. *Biomedicines*, 2024, 12(8): 1629.
- [65] Laganà G, Malara A, Lione R, et al. Enamel interproximal reduction during treatment with clear aligners: digital planning versus OrthoCAD analysis [J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1): 199.
- [66] Hariharan A, Arqub SA, Gandhi V, et al. Evaluation of interproximal reduction in individual teeth, and full arch assessment in clear aligner therapy: digital planning versus 3D model analysis after reduction [J]. *Prog Orthod*, 2022, 23(1): 9.
- [67] Triduo M, Zubizarreta-Macho Á, Pérez-Barquero JA, et al. A novel digital technique to quantify the area and volume of enamel removal after interproximal enamel reduction[J]. *Appl Sci*, 2021, 11(3): 1274.

(本文编辑 张玉楠)