

正畸联合其他学科治疗牙固连的研究进展

崔宇琛¹, 朱沛宁², 袁佳敏¹, 康芙嘉¹, 张晗¹, 朱宪春¹, 钟宪澎³

(1. 吉林大学口腔医院正畸科, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学中日联谊医院神经外科, 吉林 长春 130033; 3. 吉林大学校医院, 吉林 长春 130012)

[摘要] 牙固连是一种牙骨质与周围牙槽骨直接结合的临床疾病, 可导致牙齿功能和美观上的缺陷, 其病因与遗传、代谢和局部刺激等因素有关。牙固连的诊断需要结合患者临床表现和影像学检查, 以提高诊断的准确性。牙固连的治疗具有较大的挑战性, 正畸联合其他学科治疗牙固连提供了一种新的、综合性的治疗方案, 可将传统正畸技术与截骨术、牵张成骨术、正畸骨牵拉术、骨皮质切开术、脱位术和自体牙移植技术相结合。牙固连治疗需要多个学科的配合, 由口腔正畸科、口腔外科和口腔内科等领域的专家共同参与制订最佳的治疗方案, 综合性的治疗方法较传统治疗方法可获得更好的临床疗效。现对牙固连的病因、诊断和正畸联合其他学科治疗牙固连的方法进行综述, 分析不同治疗方案的利弊, 并对临床疗效及风险进行评估, 为牙固连的治疗提供新的思路。

[关键词] 牙固连; 正畸; 多学科联合治疗; 截骨术; 牵张成骨术; 正畸骨牵拉术

[中图分类号] R783.5 **[文献标志码]** A

Research progress in orthodontics combined with other disciplines in treatment of tooth ankylosis

CUI Yuchen¹, ZHU Peining², YUAN Jiamin¹, KANG Fujia¹, ZHANG Han¹, ZHU Xianchun¹,
ZHONG Xianpeng³

(1. Department of Orthodontics, Stomatology Hospital, Jilin University, Changchun 130021, China;
2. Department of Neurosurgery, China-Japan Union Hospital, Jilin University, Changchun 130033, China;
3. School Hospital, Jilin University, Changchun 130012, China)

ABSTRACT Tooth ankylosis is a clinical condition where the tooth cementum directly fuses with the surrounding alveolar bone, leading to functional and aesthetic defects. The etiology involves genetic, metabolic, and local stimulation factors. The diagnosis of tooth ankylosis requires a combination of clinical manifestations and imaging examinations to improve the diagnostic accuracy. The treatment of tooth ankylosis presents significant challenges. Orthodontic treatment combined with other disciplines offers a new, comprehensive treatment approach, integrating traditional orthodontic techniques with osteotomy, distraction osteogenesis, orthodontic bone traction, corticotomy, dislocation, and autologous tooth transplantation techniques. The treatment of tooth ankylosis requires the cooperation of multiple disciplines, and the experts from orthodontics, oral surgery, and oral medicine collaborate to develop the

[收稿日期] 2024-01-09

[基金项目] 吉林省科技厅自然科学基金项目 (YDZJ202201ZYTS057)

[作者简介] 崔宇琛 (1999—), 女, 山西省太原市人, 在读硕士研究生, 主要从事口腔正畸治疗的生物力学机制和正畸疗法临床优化应用方面的研究。

[通信作者] 朱宪春, 副教授, 主任医师, 博士研究生导师 (E-mail: zhuxc@jlu.edu.cn);
钟宪澎, 副主任护师 (E-mail: zhongxp@jlu.edu.cn)

optimal treatment plan. This comprehensive treatment method achieves better outcomes compared with traditional treatments. This review discusses the etiology, diagnosis, and orthodontic combined multidisciplinary treatment methods of tooth ankylosis, analyzes the advantages and disadvantages of various treatment options, evaluates the efficacy and risks, and provides new perspectives for the treatment of tooth ankylosis.

KEYWORDS Tooth ankylosis; Orthodontics; Multidisciplinary combined treatment; Osteotomy; Distraction osteogenesis; Orthodontic bone traction

牙固连指牙骨质、牙本质和牙周膜的病理性丢失, 上述组织被骨组织替代, 导致牙根与周围骨骼融合, 又称替代性吸收^[1]。牙固连不仅影响正常的咀嚼和语言功能, 还可能导致牙齿排列、咬合和美观等多方面问题, 从而明显影响患者的生活质量。牙固连是正畸医生在临床治疗中面临的一大挑战, 仅依靠正畸治疗难以实现患牙的有效移动^[2]。传统的治疗方式通常选择直接拔除患牙, 采用义齿或种植牙作为替代。然而, 该治疗方法可能导致牙槽骨骨量丢失, 在实现患者的牙龈美学方面也有一定的困难^[3]。另一种可行的治疗方法是拔除患牙后, 通过正畸治疗关闭拔牙造成的间隙, 但这一方法对病例选择有较高的要求^[4]。目前牙固连治疗方案的选择主要依赖于临床医生的个人经验, 而国内外尚缺乏规范的临床治疗指南, 因此, 探讨更有效的牙固连治疗方法十分重要。正畸联合其他学科的综合治疗方法能够有效改善牙固连症状, 为患者提供更有效的治疗方案。目前关于牙固连的综述类报道主要集中于牙固连的病因和诊断方面, 关于牙固连治疗方面的研究多为病例报道。现对牙固连的病因、诊断方法和正畸联合其他学科的治疗方法进行综述, 为牙固连的治疗提供新思路和方向。

1 牙固连的病因

牙固连的病因可分为遗传倾向、代谢变化和局部条件刺激三大类。研究^[5]显示: 牙固连并非一种单基因疾病, 其相关基因可通过多个信号通路相互连接, 特别是与上皮细胞发育和炎症反应相关的通路关系密切^[6]。此外, 某些内分泌疾病和先天性疾病也被认为与牙固连的高发病率有关, 如裂颅畸形、外胚层发育不良、垂体功能减退和甲状腺功能减退等。代谢紊乱也会导致牙周膜的变性、液化和消失, 从而导致牙固连发生^[7]。引起牙固连的局部原因包括外伤、撕脱牙再植、牙槽骨生长不足、软组织压力异常、根尖周感染、化学或热刺激和手术等^[8]。然而, 引起牙固连的病因尚未完全阐明, 仍

需进一步研究。

2 牙固连的诊断

牙固连的诊断需要结合患者临床表现和影像学检查, 早期诊断将有助于确定干预时机, 减少并发症的发生, 获得更好的长期疗效。

临床上, 牙固连患者牙齿萌出高度常低于邻牙, 严重时会导致咬合高度不足, 并可能导致相邻牙齿向患牙倾斜和中线偏移等问题, 影响患者的牙齿功能和美观^[9-10]。生长发育过程中的儿童发生牙固连时, 牙槽骨发育会受到影响^[11]。根骨粘连时, 患牙的正常生理活动度降低甚至消失, 叩诊呈高调金属音, 而正常牙齿叩诊声音较沉闷。叩诊对牙固连的诊断具有特异性和敏感性。动物研究^[12]显示: 牙根表面至少 20% 发生骨粘连时, 才可检测到活动性降低和异常叩诊声。

影像学检查是诊断牙固连的重要方法, 包括 X 线影像检查和锥形束计算机断层扫描 (cone beam computed tomography, CBCT)。X 线影像可显示出牙根与牙槽骨的粘连情况及牙周膜间隙消失, 但二维成像方法具有一定的局限性, 位于牙根颊或舌/腭表面的粘连区域有时难以被发现和识别^[13]。CBCT 是一种更准确和可靠的方式, 可用于发现萌出过程中出现问题的牙齿^[14]。此外, 正畸装置无法使根骨粘连的牙齿移动, 也是诊断牙固连的重要标准。

3 正畸患者牙固连的多学科治疗方法

当正畸医生希望将根骨粘连的患牙移动至理想位置时, 多需要联合其他学科进行协同治疗。牙固连有多种治疗策略, 但选择最合适的方案需基于对患者个体特征的全面评估。该过程不仅应考虑患者牙齿的具体状况, 还需综合考虑患者的整体健康状况、年龄、治疗目标和潜在的并发症风险。

3.1 截骨术 截骨术可矫治骨性牙颌面畸形, 通过将骨段移动至理想位置来达到矫正效果。截骨术包括单牙截骨术、牙间骨切开术、下前牙齿槽突截骨术和磨牙区齿槽突截骨术等多种方法。进行截骨

术时对患牙的位置有一定要求,根骨粘连牙齿需要处于合适的位置,患牙垂直阻生时适合进行手术,而水平阻生的患牙则无法进行截骨术。正畸医生需在近3个月的时间内将患牙移动至目标位置,3个月后骨骼愈合可能阻碍牙齿的进一步移动。在手术过程中,应尽量多地保留被矫正牙唇腭侧的黏骨膜,以促进骨的愈合和重建^[15]。术后牙齿的牙髓活力恢复时间取决于截骨的骨块大小,单牙截骨术的牙髓电活力试验通常在3~6个月逐渐由阴性转为阳性,而上下前牙区截骨术的恢复则需要6~9个月。BELL^[16]通过动物实验证实:只要颌骨一侧有软组织附着,即使从根尖下方0.5~0.8 cm处截断牙槽骨,也不会发生牙或骨块的坏死。

理想的截骨术手术时间是在颌面部发育完成后,通常男性为17~18岁,女性为15岁^[17]。如果手术后牙槽骨继续生长导致垂直高度产生差异,可能需通过自体骨移植术进行调整^[18]。对于患有严重双颌前突并伴有根骨粘连牙齿的成年患者,双前段截骨术联合正畸治疗较传统正颌术更具优势,该术式可以减少手术创伤,缩短正畸治疗时间,并可快速改善患者的侧面软组织轮廓。然而,该手术也存在一些风险,如手术骨段的血管损伤可能导致骨量减少和牙齿丧失。此外,部分患者的软组织生长量不足,限制了骨段移动,有时还可能会出现牙龈退缩的情况,从而产生美学问题。在手术过程中,医生应尽量保护软组织,同时避免过度拉伸,以维持骨段的稳定性。

3.2 牵张成骨术 牵张成骨术是一种内源性骨组织工程技术,应用于骨骼延长和正畸治疗。该技术通过将骨骼切开,并在切骨线两侧安装特制的牵张器,缓慢牵张使切骨间隙逐渐增宽,从而促进骨骼的延长和邻近软组织的形成^[19-20]。在这一过程中,正畸医生的作用至关重要,其通过设计牵张器并施加矫形牵引力,使根骨粘连的牙齿移动到治疗所需的位置^[21]。牵张成骨术分为3个阶段:第一阶段是延迟期,通常需要5~7 d,以促使切骨间隙内形成初期骨痂组织;第二阶段是牵张期,持续天数取决于所需的骨延长长度;第三阶段是固定期,上颌固定需要4~6个月,下颌固定则需要3~4个月,以保障牵张效果。在牵张阶段,通常可通过正畸弓丝矫治、外部牙源性牵张器矫治和内部骨支持螺钉牵张器矫治3种方式调整垂直方向的位置^[22]。口外牵张器直接连接在牙齿和弓丝上,更易于置入及取

出,且避免了二次手术。内置式牵张器在牙槽嵴垂直高度严重不足的治疗中显示出一定的优势,其结构较牢固,保证了牵引阶段所需的稳定性。为了克服单向移动的局限性,研究者^[23]提出了“浮动骨”的概念,即在新的骨质完全形成之前,提前移除牵张器,以便在三维方向上调整患牙。

与传统截骨术比较,牵张成骨术具有精确的骨切割和渐进性骨牵张机制,骨组织不需要大范围重建,因此在一定程度上降低了手术侵入性并提高了术后稳定性,更适合儿童患者。牵张成骨术不仅增强了术后稳定性,还能获得可预测的硬组织和软组织量,并有效改善咬合及美学缺陷,缩短了治疗时间^[24]。但该技术也存在一定风险,如感染和牵张器脱落等,通常可通过预防性抗生素治疗和适当的黏膜覆盖进行预防。在新骨形成较少的部位可能需要进行二次截骨。此外,手术时应注意避免对牙根造成损伤或导致骨折,若发生神经损伤则需立即采取显微外科手术进行修复。

3.3 正畸骨牵拉术 正畸骨牵拉术是一种可用于重新定位根骨粘连牙齿的治疗方法,该技术避免了牙槽骨段的整体移动。正畸医生对手术后的患牙施加正畸力,促进牙槽骨重塑,帮助牙齿向咬合平面移动,并可在三维方向上调整患牙的位置。手术前应进行正畸治疗,在患牙与邻近的正常牙齿之间创造足够的空间。当患牙牙根与相邻牙根之间的距离大于2 mm时,则可进行部分截骨术。为了确保手术的精准性,术前需对患者进行CBCT检查,以准确评估牙根的三维位置。术中优先使用超声骨刀^[25],以减少对周围组织的损伤。手术切除单侧骨皮质和大部分松质骨,同时保留对侧骨皮质,以维持结构的稳定性。手术切口的位置取决于牙齿的移动方向,可以位于颊侧或腭侧。切口垂直于骨粘连牙齿两侧,切口长度超过患牙牙根长度,根尖水平切口位于患牙的根尖下方并连接2个垂直切口。如果患牙向颊侧移动,截骨包括颊侧骨皮质和骨松质,同时保持腭侧骨皮质的完整。相反,如果患牙向腭侧移动,切口应位于腭侧。手术完成后,应立即对患牙进行正畸牵引,每2周调整1次牵引力,直到患牙到达目标位置。当患牙到达咬合平面后,固定6个月以监测其稳定性。研究^[26]显示:骨骼每月改建2 mm以内有利于软组织的形成和恢复。

有研究者^[27]通过该术式成功实现了根骨粘连牙齿的重新定位,改善了牙龈边缘,提高了美学效

果。与牵张成骨术比较, 正畸骨牵拉术可以在多个方向上移动骨块, 而牵张成骨术的牵张器仅限于沿其轴线方向单向移动^[28]。此外, 与截骨术比较, 正畸骨牵拉术对患者的创伤相对较小, 但该技术的有效性和安全性还需更多临床试验研究验证。

3.4 骨皮质切开术 骨皮质切开术是一种广泛应用于辅助正畸治疗的外科手术, 手术在粘连牙齿周围的骨皮质上行线状或点状切口, 同时避免损害骨松质, 保持骨髓血管和骨膜的完整性, 其理论基础基于区域加速现象 (regional acceleratory phenomenon, RAP)^[29] 和正常骨愈合机制, 目的是降低骨组织的阻力并加速骨重建过程。术后1~2个月, 骨重建活动达到高峰, 并可持续4~6个月。骨皮质切开术通常在术后2周开始对患牙施加正畸力, 以促进牙齿移动^[30]。骨皮质切开术的基本操作包括选择性骨皮质切开、骨移植和正畸力的应用。2001年, WILCKO等^[31]首次采用骨粉移植刺激成骨与骨皮质切开术相结合的方法, 创立了牙周加速成骨正畸方法 (periodontally accelerated osteogenic orthodontics, PAOO), 缩短了正畸疗程。微创技术的发展促进了骨微穿孔等技术和超声骨刀的应用, 有效减少了手术创伤^[32]。

骨皮质切开术显著缩短了正畸治疗的时间, 扩大了传统正畸的应用范围, 并且未观察到严重并发症^[33]。目前仅应用骨皮质切开术治疗牙固连的病例报道较少, 样本量有限, 其远期疗效有待进一步研究。

3.5 脱位术 脱位术是使发生根骨粘连的牙齿与牙槽骨之间产生机械性断裂, 同时保持牙齿根尖的血供不受影响。这一过程可能会引发炎症反应, 并促使原粘连区域形成新的纤维连接^[34]。在手术过程中, 正畸医生采用手术钳在颊舌和近颊方向轻轻摇动牙齿, 以实现脱位。由于脱位术可能导致牙齿失活、牙根断裂或脱位后牙齿无法修复等情况, 术前医生需要与患者共同评估上述潜在风险。粘连牙齿经历脱位和组织修复后, 牙周膜的连续性得以恢复, 有助于恢复牙齿的正常功能和位置。研究者^[35]主张在脱位后立即施加正畸力, 以调整牙齿的位置和咬合, 但脱位的牙齿可能存在再次粘连的风险, 若正畸治疗6个月后患牙无明显的位置改变, 可考虑进行第二次脱位手术。

尽管脱位术存在骨折、复发和可能需要根管治疗等风险, 但对于希望保留患牙且不愿接受截骨术

等更具侵入性治疗方案的患者, 脱位术结合正畸治疗是一种较好的选择^[36]。这种方法可以最大程度上保留患牙的完整性, 同时通过正畸治疗改善牙齿排列和咬合问题。在治疗结束后, 长期监测疗效的稳定性和牙周健康非常重要, 可以确保治疗效果的长期维持^[37]。

3.6 自体牙移植技术 自体牙移植技术是一种有益于保存患者牙槽骨、解决咬合问题并改善牙周美观的方法^[38], 自体牙移植技术可以有效地辅助正畸治疗。如果选择保留骨粘连的患牙, 患牙可能存在牙髓成纤维细胞密度较低的问题, 导致移植后牙周组织难以再生。GAULT^[39]提出了一种新的移植方案, 首先拔除患牙引起牙周膜的组织创伤, 随后立即将患牙重新植入原牙槽窝内, 利用创伤刺激牙周膜的愈合, 约2周后, 在牙根表面组织激活的状态下, 再次拔出牙齿, 去除牙根吸收所累及的组织, 并采用矿物三聚磷酸盐 (mineral trioxide aggregate, MTA) 或隔离树脂材料 (intermediate restoration material, IRM) 进行充填。移植过程中, 可使患牙略低于殆平面, 减少咬合压力, 同时将牙齿固定在弓丝上, 以促进牙周膜发育并抑制附近成骨细胞增殖。若根骨粘连的患牙无法保留, 则可考虑用磨牙替代患牙, 拔除磨牙时应避免损伤磨牙牙周膜^[40]。手术前需评估移植牙与患牙牙槽窝是否适配, 并检查咬合情况, 移植后2周可拆线并检查咬合情况, 在移植后的4周内, 患者应避免使用移植牙齿进行咀嚼, 此阶段牙齿在垂直方向上有1~2 mm的活动度, 但组织已经愈合, 足以将牙齿固定在牙槽窝中, 术后4周可建立咬合接触^[41]。2个月后, 进行牙周维护和咬合检查, 此时可将移植牙进行正畸矫治。关于移植牙开始正畸的最佳时间, 近年来的研究^[42]倾向于早期施加轻力, 以预防牙固连的发生。自体牙移植术提供了一种保留天然牙齿的有效方法, 既恢复了咀嚼功能, 同时也获得了较好的美学效果。自体牙移植与周围组织的相容性较高, 限制条件较少, 通常可获得较好的预期效果, 但该技术也存在一些潜在的风险, 如可能出现牙齿坏死、牙根再次粘连、牙根吸收或感染等情况^[43]。自体移植后的正畸治疗具有一定的挑战性, 其关键在于预防牙固连再次发生和其他可能的并发症。因此, 在进行自体牙移植时, 需要根据患者的具体情况进行评估, 以确保手术的成功。研究^[44]显示: 年龄 ≥ 40 岁、龈沟探诊深度 ≥ 4 mm、有根管治疗

史和进行多根牙齿移植的宿主因素与移植失败有关。

4 正畸联合其他学科治疗牙固连的优势和并发症

4.1 正畸联合其他学科治疗牙固连的优势 在治疗牙固连时,需充分考虑患者的个体情况和需求以选择合适的治疗方式。尽管拔除患牙是一种可行的方法,但可能导致骨量丢失,且影响美观。修复性治疗在解决牙固连问题上具有一定效果,但在实现牙龈美观方面可能面临一些挑战。因此,对于希望保留天然牙齿并且对美观有较高要求的患者,采用正畸联合其他学科的治疗方案实现患牙的再定位通常是最佳的选择。这种方法不仅可以明显缩短正畸治疗的时间,还有助于恢复牙齿正常的咬合关系,提高咀嚼效率、语音清晰度和整体美观度,同时保留天然牙齿的美感。此外,已有研究^[45]证实轻度的正畸力可促进牙周组织的修复。

4.2 正畸联合其他学科治疗牙固连的潜在并发症

正畸联合其他学科的治疗方法在实现患牙重新定位时也存在一定的风险以及并发症,手术过程中需要谨慎地处理硬组织和软组织,避免软硬组织发生坏死、牙根折断和牙槽骨折^[46]。在治疗时,应特别注意保护牙齿根尖。由于截骨,患者移植后牙髓的血供明显减少,导致在截骨段附近的牙根可能发生炎症性牙根吸收及截骨段区域骨质的丢失,后期治疗可能需要骨移植和修复体替代。此外,治疗后的牙齿可能会发生变色。由于缺乏垂直向的生长,许多牙固连患者患牙周围软组织量较少,所以保持软组织蒂附着于骨皮质上十分重要^[47]。截骨术后通常会出现肿胀,持续约1周。若患者术后出现麻木,通常麻木会在术后6个月内恢复。治疗前评估患牙与相邻牙齿的距离、患牙的位置和骨组织量是治疗的重要步骤,长期监测咬合稳定性和维持牙周健康是治疗后的关键环节。

目前,一些新兴的技术可以有效减少术后并发症并提升远期疗效。医生可以采用计算机辅助设计/计算机辅助制造(computer-aided design/computer-aided manufacturing, CAD/CAM)技术制作的手术导板,这使得在模拟手术中调整截骨线的位置和深度成为可能,可最大限度地减少牙齿损伤的可能性^[48],从而实现侵入性较小且稳定的手术。研究^[49]显示:压电手术通过微小的振动提高了牙根间切割的精度,避免牙髓或牙周并发症。这一技术还减少了骨细胞的损伤,提高了其存活率。特别是在上颌磨牙后区的手术中,由于解剖条件的

限制,可及性不佳,压电手术器械的发展简化了该区域的手术操作^[50]。上述技术的发展不仅提高了手术的安全性和效果,还为患者提供了更加精确和微创的治疗选择,从而提升整体的治疗效果和患者满意度。

正畸联合其他学科治疗牙固连是一种综合性的治疗方法,在牙固连的治疗过程中发挥重要作用。这种治疗需要多学科的配合,由口腔正畸科、口腔外科和口腔内科等领域的专家共同参与制订最佳的治疗方案。在治疗前,正畸医生应全面评估患者的个体情况,包括牙齿的位置、移动距离、患者年龄、健康状况和治疗意愿等^[51]。多学科联合治疗不仅可以有效地改善牙齿排列不齐的问题,恢复其正常功能,同时还可以保留天然牙齿的美感,防止骨量的丢失。尽管上述治疗方法可能存在一定的风险,但总体上对患者有益,尤其是对处于生长发育时期的青少年。治疗过程中疼痛和不适、术后的恢复及长期疗效的稳定性是治疗中需要重点关注的方面。随着医学技术的进步和研究的深入,未来将会为患者提供更加个性化和优化的治疗方案,从而进一步提高牙固连的治疗效果。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

崔宇琛、朱沛宁和袁佳敏参与资料收集及论文撰写,康英嘉和张晗参与资料整理,朱宪春和钟宪澎参与论文审校及修改。

[参考文献]

- [1] LIN S, MOREINOS D, KAUFMAN A Y, et al. Tooth resorption-part 1: The evolution, rationales and controversies of tooth resorption [J]. Dent Traumatol, 2022, 38(4): 253-266.
- [2] ISAACSON R J, STRAUSS R A, BRIDGES-POQUIS A, et al. Moving an ankylosed central incisor using orthodontics, surgery and distraction osteogenesis [J]. Angle Orthod, 2001, 71(5): 411-418.
- [3] SAPIR S, SHAPIRA J. Decoronation for the management of an ankylosed young permanent tooth [J]. Dent Traumatol, 2008, 24(1): 131-135.
- [4] LI K, SUN P, SUN J, et al. Combined orthodontic and prosthodontic treatment in an adolescent patient with traumatically ankylosed incisors: a case report [J]. Dent Traumatol, 2023, 39(5): 495-508.

- [5] WU Y, YUAN X, PEREZ K C, et al. Aberrantly elevated Wnt signaling is responsible for cementum overgrowth and dental ankylosis[J]. *Bone*, 2019, 122: 176-183.
- [6] TONG A N, CHOW Y L, XU K T, et al. Transcriptome analysis of ankylosed primary molars with infraocclusion[J]. *Int J Oral Sci*, 2020, 12(1): 7.
- [7] ALRUWAITHI M, JUMAH A, ALSADOON S. Tooth ankylosis and its orthodontic implication [J]. *IOSR J Dent Med Sci*, 2017, 16(2): 108-112.
- [8] KALLEL I, DOUKI N, AMAIDI S, et al. The incidence of complications of dental trauma and associated factors: a retrospective study[J]. *Int J Dent*, 2020, 2020: 2968174.
- [9] WALIA T R, CHANDWANI N. Long-term management of an ankylosed young permanent incisor replanted within 2 h of avulsion: a case report with a 10-year follow-up [J]. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 2019, 37(1): 99-106.
- [10] ABBOTT P V, LIN S. Tooth resorption-Part 2: a clinical classification[J]. *Dent Traumatol*, 2022, 38(4): 267-285.
- [11] MADUREIRADF, VALENTIMGLL, SILVA T ADA, et al. Interdisciplinary treatment of ankylosed upper central incisors with an anterior vertical ridge defect: a case report[J]. *Dent Traumatol*, 2023, 39(1): 88-94.
- [12] MOHADEB J V N, SOMAR M, HE H. Effectiveness of decoronation technique in the treatment of ankylosis: a systematic review[J]. *Dent Traumatol*, 2016, 32(4): 255-263.
- [13] REGE I C C, BOTELHO T L, MARTINS A F L, et al. Pixel gray measurement for the diagnosis of dental ankylosis in cone beam computed tomography images [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2021, 131(6): 721-729.
- [14] MARTINS L A C, BRASIL D M, DOS SANTOS J C B, et al. Is the efficacy of cone beam computed tomography in the diagnosis of tooth ankylosis influenced by dose reduction protocols? [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2023, 135(1): 129-135.
- [15] CHOI B J, LEE B S, LEE H J, et al. Double anterior segmental osteotomy under local anesthesia for correcting adult protrusion with thin alveolus and ankylosed tooth[J]. *J Craniofac Surg*, 2017, 28(3): 821-825.
- [16] BELL W H. Revascularization and bone healing after anterior maxillary osteotomy: a study using adult rhesus monkeys[J]. *J Oral Surg*, 1969, 27(4): 249-255.
- [17] RODRIGUES DB, WOLFORD LM, FIGUEIREDO LM, et al. Management of ankylosed maxillary canine with single-tooth osteotomy in conjunction with orthognathic surgery[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2014, 72(12): 2419.
- [18] YOU K H, MIN Y S, BAIK H S. Treatment of ankylosed maxillary central incisors by segmental osteotomy with autogenous bone graft[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2012, 141(4): 495-503.
- [19] 皮纳, 侯敏. 不同部位牵张成骨术对颞下颌关节影响的研究进展[J]. *口腔医学研究*, 2018, 34(9): 936-938.
- [20] MCCARTHY J G, SCHREIBER J, KARP N, et al. Lengthening the human mandible by gradual distraction [J]. *Plast Reconstr Surg*, 1992, 89(1): 1-8; discussion 9-10.
- [21] DE SOUZA R F, TRAVESS H, NEWTON T, et al. Interventions for treating traumatised ankylosed permanent front teeth[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(12): CD007820.
- [22] CANO J, CAMPO J, MORENO L A, et al. Osteogenic alveolar distraction: a review of the literature [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2006, 101(1): 11-28.
- [23] VASOGLOU G, MARKOMANOLAKI C C, VASOGLOU M, et al. Treatment of an avulsed and ankylosed incisor through single tooth alveolar osteotomy and conventional orthodontic mechanisms[J]. *Children*, 2022, 9(5): 732.
- [24] ALTAWHEEL A A, BAIOMY A A B A, SHOSHAN H S, et al. Evaluation of osteogenic potential of *Cissus quadrangularis* on mandibular alveolar ridge distraction[J]. *BMC Oral Health*, 2021, 21(1): 491.
- [25] SCHLABE J, ECHLIN K, ATHERTON D. A comparison of piezo surgery osteotomies with conventional internal osteotomies as performed by trainee surgeons: a cadaveric study[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2021, 103(4): 272-277.
- [26] BOUSQUET P, BARTHÉLEMI S, ARTZ C, et al. The application of orthodontic bone stretching for correcting malpositioned dental implants[J]. *Head Face Med*, 2021, 17(1): 42.
- [27] BOUSQUET P, ARTZ C, RENAUD M, et al. Relocation of infrapositioned ankylosed teeth: description of orthodontic bone stretching and case series[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 74(10): 1914-1925.
- [28] RODRIGUEZ-GRANDJEAN A, REININGER D, LÓPEZ-QUILES J. Complications in the treatment with

- alveolar extraosseous distractors. Literature review [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2015, 20(4): e518.
- [29] VERNA C. Regional acceleratory phenomenon [J]. *Front Oral Biol*, 2016, 18: 28-35.
- [30] MA Z G, ZHENG J S, YANG C, et al. A new modified bone grafting technique for periodontally accelerated osteogenic orthodontics[J]. *Medicine*, 2018, 97(37): e12047.
- [31] WILCKO W M, WILCKO T, BOUQUOT J E, et al. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding[J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2001, 21(1): 9-19.
- [32] CHARAVET C, VAN HEDE D, ANANIA S, et al. One-stage versus two-stage piezocision-assisted orthodontic tooth movement: a preclinical study based on Nano-CT and RT-PCR analyses[J]. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 2022, 123(6): e663-e669.
- [33] 贾向敏, 李 宁, 王铁军. 微创骨皮质切开术辅助正畸牙齿移动的研究进展[J]. *北京口腔医学*, 2023, 31(2): 146-149.
- [34] MOFFAT M A, SMART C M, FUNG D E, et al. Intentional surgical repositioning of an ankylosed permanent maxillary incisor[J]. *Dent Traumatol*, 2002, 18(4): 222-226.
- [35] GEIGER A M, BRONSKY M J. Orthodontic management of ankylosed permanent posterior teeth: a clinical report of three cases [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1994, 106(5): 543-548.
- [36] LIN F O, SUN H, YAO L J, et al. Orthodontic treatment of severe anterior open bite and alveolar bone defect complicated by an ankylosed maxillary central incisor: a case report [J]. *Head Face Med*, 2014, 10: 47.
- [37] TAKAHASHI T, TAKAGI T, MORIYAMA K. Orthodontic treatment of a traumatically intruded tooth with ankylosis by traction after surgical luxation[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005, 127(2): 233-241.
- [38] IDENO H, KOMATSU K, NAKASHIMA K, et al. Tooth transplantation and replantation: Biological insights towards therapeutic improvements[J]. *Genesis*, 2022, 60(8/9): e23496.
- [39] GAULT P. Idiopathic ankylosis-resorption: diagnosis and treatment[J]. *Int Orthod*, 2013, 11(3): 262-277.
- [40] CHOI Y J, SHIN S, KIM K H, et al. Orthodontic retraction of autotransplanted premolar to replace ankylosed maxillary incisor with replacement resorption[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014, 145(4): 514-522.
- [41] TSUKIBOSHI M, YAMAUCHI N, TSUKIBOSHI Y. Long-term outcomes of autotransplantation of teeth: a case series[J]. *J Endod*, 2019, 45(12S): S72-S83.
- [42] CHEN D Z, KIM S, LEE S, et al. The effect of mechanical vibration on osteogenesis of periodontal ligament stem cells[J]. *J Endod*, 2021, 47(11): 1767-1774.
- [43] SINGH A K, KHANAL N, ACHARYA N, et al. What are the complications, success and survival rates for autotransplanted teeth? an overview of systematic reviews and metanalyses[J]. *Healthcare*, 2022, 10(5): 835.
- [44] SUGAI T, YOSHIZAWA M, KOBAYASHI T, et al. Clinical study on prognostic factors for autotransplantation of teeth with complete root formation[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2010, 39(12): 1193-1203.
- [45] SILVA R A B, VIEIRA H A O, DE GREGORIO C, et al. Periodontal ligament repair after active splinting of replanted dogs' teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2021, 37(6): 758-771.
- [46] MOHANTY S, KUMARI S, KOHLI S, et al. Anterior segmental osteotomies without orthodontics: practicability of the correction of dentoalveolar deformities[J]. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2021, 59(3): 292-296.
- [47] MEDEIROS P J, BEZERRA A R. Treatment of an ankylosed central incisor by single-tooth dento-osseous osteotomy[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1997, 112(5): 496-501.
- [48] KANG S H, LEE J Y. Minimum surgico-orthopedic treatment using computer-assisted single-tooth osteotomy in an adolescent skeletal class III patient with anterior ankylosed tooth: a case report [J]. *Turk J Orthod*, 2022, 35(1): 46-54.
- [49] THEREZA-BUSSOLARO C L. Maxillary osteotomy complications under piezosurgery compared to conventional surgical techniques [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2018, 76(10): e44.
- [50] KANG S H, KIM M K, LEE J Y. Single-tooth dento-osseous osteotomy with a computer-aided design/computer-aided manufacturing surgical guide [J]. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 2016, 42(2): 127-130.
- [51] REVEL-CASSANET C, MESSAOUDI Y. Diagnosis and management of ankylosed permanent maxillary incisors: proposal for a decision tree [J]. *Orthod Fr*, 2018, 89(3): 247-257.