

# 外伤牙早期固定正畸治疗的研究进展

李娇娇 刘钧

口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔医学中心 国家口腔疾病临床医学研究中心  
四川大学华西口腔医院正畸科 成都 610041

**[摘要]** 外伤牙的正畸移动是正畸治疗中较常见的难题。尽管已有大量关于外伤牙正畸治疗的研究，但关于不同牙外伤类型、不同创伤程度的外伤牙正畸治疗的最佳方法与治疗时机尚未达成共识。近年，较多学者认为早期开始正畸治疗可以增加外伤牙治疗的成功率并减少牙根粘连的发生。但也有研究显示，外伤牙正畸治疗后可能会出现牙根吸收、牙髓坏死、牙髓钙化。在开始正畸治疗之前记录牙外伤史，全面评估牙外伤患者正畸治疗的收益与风险，对于制定适当的正畸治疗计划是非常重要的。本文就外伤牙早期固定正畸治疗的研究进展进行了综述，以期对相关临床工作提供参考。

**[关键词]** 牙外伤； 正畸治疗； 风险

**[中图分类号]** R783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2024065



开放科学（资源服务）  
标识码（OSID）

## Research progress on early fixed orthodontic treatment of traumatic teeth

Li Jiaojiao, Liu Jun

State Key Laboratory of Oral Diseases & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Dept. of Orthodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Correspondence: Liu Jun, Email: junliu@scu.edu.cn

**[Abstract]** The orthodontic movement of traumatic teeth is a common problem in orthodontic treatment. Although the orthodontic treatment of traumatic teeth has been studied, no consensus has been reached regarding the best method and timing of treatment for different types and severity of dental trauma. Many researchers agreed that starting orthodontic treatment early could increase the success rate of treatment and avoid tooth ankylosis. However, some studies showed that the orthodontic treatment of traumatic teeth might increase the risk of root resorption, pulp necrosis, and canal obliteration. Therefore, recording the history of dental trauma and comprehensively evaluating the risk for patients with dental trauma are crucial before orthodontic treatment. In this work, studies on the early orthodontic treatment of traumatic teeth were reviewed to provide a reference for related clinical practice.

**[Key words]** dental trauma; orthodontic treatment; risk

牙外伤（dental trauma）是指牙齿受到急剧创伤，特别是打击或撞击所引起的牙体硬组织、牙髓组织和牙周支持组织的损伤<sup>[1]</sup>。上前牙唇倾前突、上颌切牙覆盖过大、唇闭合不全是诱发牙外伤的危险因素<sup>[2-3]</sup>。据统计<sup>[4]</sup>，10.3%的患者在开始正畸治疗之前已存在牙外伤史。因此，在正畸治疗开始之前应常规询问既往牙外伤的情况。此外，

正畸疗程较长，在正畸治疗过程中也可能出现牙外伤，使正畸治疗更加复杂。

尽管已有大量关于外伤牙正畸治疗的研究，但关于不同牙外伤类型、不同创伤程度的外伤牙正畸治疗的最佳方法与治疗时机尚未达成共识<sup>[5-6]</sup>。过去有研究<sup>[7]</sup>认为外伤牙在开始正畸治疗前需等待3~12个月的观察期。然而，近年较多学者<sup>[8-11]</sup>认为早期正畸治疗通过施加可控的轻力，可以减少牙根粘连的发生，增加治疗的成功率，避免观察期过长后可能出现的牙根粘连，影响后续正畸治疗。同时，早期正畸治疗可以及时解除因外伤导致的

**[收稿日期]** 2023-10-27； **[修回日期]** 2024-03-19

**[作者简介]** 李娇娇，硕士，Email: 2103990092@qq.com

**[通信作者]** 刘钧，教授，博士，Email: junliu@scu.edu.cn

咬合干扰,从而恢复正常的咬合关系及口腔功能<sup>[2]</sup>,避免持续的咬合创伤对外伤牙预后的不良影响,并且减少前牙外伤不美观带来的心理负面影响<sup>[1]</sup>。此外,由牙外伤引起的挤压伤和牙槽骨折裂等刺激可以激活局部加速现象(regional acceleratory phenomenon, RAP),该现象的特征在于细胞活性、新陈代谢、生长、分化增加,短期内可以加速局部软硬组织的重塑,一般持续4个月,且在第1~2个月达到峰值<sup>[13-14]</sup>。在RAP峰值期间早期正畸牙移动可以充分利用组织改建加速的特点,缩短正畸治疗的时间,并减少可能的并发症<sup>[15]</sup>。本文就外伤牙早期固定正畸治疗的研究进展进行了综述,以期指导临床,帮助患者获取更好的预后。

## 1 外伤牙的早期固定正畸治疗

目前仍缺乏高质量的证据来建议正畸医生移动外伤牙的最佳时机,当前有关正畸牙移动的建议多来自临床经验、专家意见以及病例报告。创伤牙齿的正畸治疗取决于牙外伤的类型及牙周损伤的程度。通常情况下,外伤牙的正畸治疗宜开始于无明显疼痛、松动等症状之后,并应注意有无根折情况<sup>[16]</sup>。严重的牙外伤,如全脱出,宜牙再植后先使用弹性夹板固定,并定期对其进行临床及影像学检查,在无牙髓、牙周并发症后再酌情开始正畸治疗<sup>[17]</sup>。下面将对轻中度牙外伤、自体牙移植、根折的早期固定正畸治疗逐一进行阐述,其中轻度牙外伤包括简单冠折、牙齿震荡、亚脱位,中度牙外伤包括侧向移位、部分脱出、挫入<sup>[5]</sup>。

### 1.1 轻度牙外伤

有研究<sup>[7]</sup>建议针对此类牙外伤的患者应给予3个月的观察期。Pereira等<sup>[18]</sup>设计了动物模型研究牙齿亚脱位后是否可以建立较短的正畸治疗观察期。该研究在诱导大鼠磨牙发生亚脱位15、30 d后开始施加近中向的正畸力,7 d后观察牙周及牙髓组织可见大量细胞及血管成分,且牙根表面吸收较小,与对照组无明显的差异,这表明亚脱位外伤牙的正畸治疗观察期的缩短并不影响牙周组织的愈合。Busato等<sup>[19]</sup>也得到了类似的研究结果,在大鼠磨牙亚脱位后的第1、3天分别进行了外伤牙的近中移动,发现早期施加正畸力并不影响牙周组织的修复。Jaiswal等<sup>[20]</sup>对发生水平冠折的上颌中

切牙进行牙髓治疗并在无明显症状1周后即对其开始正畸牵引,治疗效果稳定。

### 1.2 中度牙外伤

在牙外伤部分脱出和侧方移位中,牙齿分别在牙槽骨内出现轴向移位和非轴向移位。脱位的牙齿也常常会发生腭侧移位,导致前牙反骀并出现咬合干扰<sup>[21]</sup>。立即正畸复位是这类牙外伤的一种治疗选择,特别是在因治疗延迟存在血凝块时,或者由于牙槽骨变形导致外伤牙不能手动复位的情况,可以使用0.3~0.4 mm的镍钛圆丝释放的正畸轻力成功复位<sup>[22]</sup>。如果患者在正畸治疗过程中遭受了牙外伤,并发生外伤牙的较大移位,则可能出现矫治弓丝变形、托槽脱落的情况,此时应该立即去除变形的弓丝,以避免外伤牙受到异常的力作用,然后依据牙外伤的类型及损伤程度,选择合适的应急治疗方案<sup>[22]</sup>。

牙齿挫入的发生率较低,但作为对牙周韧带损伤最严重的形式之一,它往往会产生严重的并发症。国际牙外伤学会基于外伤牙的发育阶段及侵入程度发布了关于牙齿挫入的治疗指南<sup>[23]</sup>,对于牙根发育不全的年轻恒牙,建议定时观察,等待其自行萌出,而对于牙根发育完全且挫入大于3 mm的外伤牙,则一般需要进行正畸牵引或外科复位。关于挫入牙正畸牵引的时机,Koogi Sonda等<sup>[24]</sup>建议应立即行正畸牵引,因为牙根表面与牙槽骨的密切接触有利于牙根粘连的快速发展,并且建议早期开展牙髓治疗以避免发生炎症性牙根外吸收。Mota Júnior等<sup>[11]</sup>建议对挫入超过7 mm且牙根发育完全的外伤牙应即刻施加轻力(0.3~0.4 N)进行正畸牵引。Medeiros等<sup>[25]</sup>对牙齿挫入的早期与晚期正畸牵引进行了研究,发现早期、晚期正畸牵引均有较高的成功率,但早期正畸牵引成功且无并发症(无症状且治疗结束后无牙根吸收、粘连)的比例是晚期牵引的2倍,且早期牵引所需的时间更短,其平均牵引速度是晚期正畸牵引的7倍。早期行正畸牵引不仅可以增加矫治的成功率,促进支持组织的重塑,还可以减少牙根吸收与粘连的发生率,降低边缘骨丧失的风险,并提供未成熟恒牙的血运重建通路<sup>[26]</sup>。此外,对于前牙挫入的情况,早期治疗还可以减少不美观带来的心理影响<sup>[11]</sup>。

### 1.3 自体牙移植

自体牙移植是在同一个体内将供体牙齿从其原始部位移位到拔牙窝或外科手术准备的牙槽窝

中的手术。据报道<sup>[27]</sup>，自体移植牙的存活率较高，约75.3%~91%，移植成功后将形成正常的牙周愈合，可以对正畸力做出生物学反应。正畸负荷并不影响移植牙的牙根发育，但牙根进行性发育常伴随着牙髓电活性的降低，发育未成熟的自体移植牙存在进行性牙髓钙化<sup>[28]</sup>。关于自体牙移植后开始正畸治疗的最佳时机，有研究<sup>[29]</sup>认为自体移植牙可以早期接受正畸负荷。Tsukiboshi等<sup>[30]</sup>建议自体牙再植后3个月即可开始正畸牙移动。Tankit-tiwat等<sup>[31]</sup>和Vishwanath等<sup>[32]</sup>在下颌前磨牙移植于上颌前牙牙槽窝后等待了3个月即开始正畸治疗，治疗后结果及随访显示移植牙具有完整健康的牙周组织。有学者<sup>[33]</sup>认为在移植牙初始愈合期后早期施加正畸负荷（术后2~4周内）可以预防牙根粘连的发生。Yang等<sup>[34]</sup>研究了早期施加正畸力对比格犬恒切牙自体移植后牙周愈合的影响，结果表明：早期加力可以促进牙周组织愈合，并且可以预防牙根粘连；但建议在加力前保留至少2周的观察期。Barendregt等<sup>[35]</sup>对2004—2021年共1 654颗自体移植前磨牙的存活率、成功率及并发症进行了回顾性分析，研究表明：不论青少年还是成人，供体牙牙根发育成熟或者未成熟，均观察到高存活率及成功率；有4%的移植牙出现了牙根粘连，正畸负荷延迟或不足是造成替换性吸收的主要原因；正畸负荷加载的时间可以影响牙周愈合及牙根吸收，移植4周后持续施加正畸负荷2周可以获得最佳疗效并减少牙根粘连的发生率。此外，根据临床经验<sup>[36-37]</sup>建议，自体牙移植后的正畸负荷应采用轻微的正畸力，超弹性镍钛弓丝施加的连续轻力可以为移植牙提供稳定的生物负荷。

#### 1.4 根折

根折的牙折部位位于龈下，在此基础上直接行冠修复将违背生物学宽度，因此，可以采用冠延长术、正畸牵引及外科牵引使断面暴露于龈上后再行修复，但治疗后的冠根比应不大于1:1<sup>[38]</sup>。相较于冠延长术，正畸牵引可以避免牙周组织的丧失，并能为最终的修复治疗提供一个良好的组织边缘，创造一个易于维护的牙周环境<sup>[39]</sup>。根折线的位置较大程度地决定了后续的治疗方案及患牙的预后。对于根中及根尖1/3折的外伤牙，由于愈合时间较长，应观察1~2年，并且在正畸治疗之前应该仔细检查根折断面之间是否形成硬组织屏障。若断面以结缔组织相连，应谨慎进行正畸治疗，因为正畸力仅能使冠方断端发生移动，并可

能造成冠方断端牙根的进一步缩短，导致牙齿松动、脱落等不良后果<sup>[7]</sup>。1例根颈1/3折的外伤牙治疗病例显示，Kumar等<sup>[40]</sup>对外伤牙进行了为期4周的夹板固定，而后由于根折牙出现了明显的牙髓症状，因此先对其进行了根管治疗，再粘接正畸矫治器并立即施加持续的轻力（0.5 N），牵引至目标位后保持8周再行修复治疗。Farmakis<sup>[41]</sup>对发生复杂冠根折的外伤牙进行根管预处理后即行正畸牵引，并在牵引完成后行根管治疗，随访7年没有出现牙根粘连和牙根吸收。

## 2 外伤牙正畸治疗的风险

### 2.1 牙根吸收

若牙齿创伤导致牙根表面受损或者牙髓暴露发生感染，将可能引发炎症根外吸收，常见于完全脱位、侧方移位及挫入，可在牙齿创伤后立即发生或一段时间后发生<sup>[42]</sup>。对于健康牙，由正畸治疗引起的根尖区牙根外吸收（external apical root resorption, EARR）是正畸牙移动常见的不良后果。正畸力大小和类型、牙齿移动方式、牙齿移动距离、正畸疗程长短等治疗相关因素，以及个体易感性、牙根形态、全身系统因素等患者相关因素都是引起正畸EARR的风险因素<sup>[43]</sup>。有研究<sup>[44]</sup>表明：矫治力过大、压低、控根移动、矫治疗程较长、根尖长距离移动会使EARR的发生率及严重程度增加。由正畸治疗诱导的EARR发生率超过90%，且吸收程度为6%~13%。牙齿创伤导致的牙根吸收发生率与正畸EARR类似<sup>[45]</sup>。

目前尚无充足的研究证据来确定牙外伤史是否为正畸EARR的危险因素<sup>[46]</sup>。过去有研究认为正畸治疗会加重外伤牙的牙根吸收，Linge等<sup>[47]</sup>回顾性研究了719个正畸患者的上颌切牙牙根吸收的发生率与程度，并对牙根吸收的危险因素进行了多因素分析，发现牙外伤史是导致牙根吸收的高风险因素。然而，有研究<sup>[48]</sup>认为，有临床症状或外伤史（而无牙根吸收迹象）的切牙正畸治疗后发生中至重度EARR的比例与健康牙一致。Malmgren等<sup>[48]</sup>比较了27例有外伤史（共55颗外伤切牙）和55例牙齿正常的患者，尽管结果显示牙外伤史不会促进正畸EARR，但他们认为，对于有牙根吸收迹象的外伤牙，正畸治疗可能会加重牙根吸收。目前缺乏有牙根吸收迹象的外伤牙正畸处理的随机对照试验，几项观察性研究<sup>[48-49]</sup>指出在正

畸治疗之前表现出牙根吸收的外伤牙,在正畸治疗期间牙根发生进一步吸收的风险较高,但其潜在机制尚不明确<sup>[50]</sup>。也有研究<sup>[51]</sup>指出:部分脱位的牙齿在正畸治疗后表现出更多的牙根吸收,但研究者认为牙髓失活才是外伤牙牙根吸收的主要原因。Smeyers等<sup>[52]</sup>比较了固定矫治前后上颌切牙的冠根比,发现上颌外伤中切牙没有表现出更多的牙根吸收,此外,无论外伤与否,上颌切牙发生牙根吸收的程度与治疗周期成正比,因此,研究者认为正畸治疗周期是影响牙根吸收的最重要因素,外伤牙的正畸治疗周期应尽可能缩短。考虑到部分外伤牙因牙髓坏死而接受了根管治疗,因此根充牙齿对正畸EARR的影响也是需要关注的问题。研究<sup>[53-56]</sup>认为:根管充填治疗不会增加正畸EARR,甚至根充牙齿的EARR程度比健康活髓牙更低。

## 2.2 牙髓坏死与钙化

正畸作用力会促进牙髓组织的形态学变化,导致牙髓敏感性增加和血运减少,但不会诱发牙髓活力的丧失<sup>[57]</sup>。了解正畸治疗对外伤牙牙髓的影响至关重要,有研究<sup>[58]</sup>指出:外伤牙正畸移动后出现牙髓坏死的风险增加;然而,牙齿创伤或正畸作用力可能会引起暂时性根尖损伤,由于该损伤也会出现对牙髓活力测验无反应、牙冠变色等特点,因此研究结果存在一定的局限性。Brin等<sup>[59]</sup>研究表明:外伤牙正畸治疗后出现牙髓坏死和钙化的频率增加;此外,在正畸压低作用力下,根管完全钙化的外伤牙比无钙化或部分钙化的外伤牙表现出更高的牙髓坏死率。Bauss等<sup>[60]</sup>评估了固定正畸治疗期间牙齿发生外伤后的牙髓活力,结果显示:遭受严重牙周损伤的牙齿在正畸治疗结束后的牙髓坏死率明显高于轻微牙周损伤或无外伤史的牙齿,且牙髓坏死往往在施加正畸压低或伸长作用力的初期发生,研究者认为严重的牙周损伤及正畸治疗引起的牙髓血供减少是导致牙髓坏死的重要原因。此外,对于部分脱出且未能复位的外伤牙,由于骨支持减少以及冠根比降低,压低移动可能会出现牙槽骨缺损及牙髓失活的风险(特别是上颌侧切牙)<sup>[61]</sup>。目前关于外伤牙正畸移动后发生牙髓坏死和钙化的研究证据是不充分且存在争议的,尚无法确定牙外伤史是否为正畸治疗牙髓坏死与钙化的危险因素<sup>[62]</sup>。然而,正畸医生需要意识到这些潜在的风险,并在必要时对牙髓活力情况进行追踪检测。

## 2.3 牙根粘连

遭受严重牙周创伤的牙齿在恢复过程中会与周围的牙槽骨融合,表现为牙根的替代吸收,牙周韧带丧失,这一过程称为牙根粘连,常见于完全脱位、侧方移位和挫入<sup>[63]</sup>。对于处于生长发育期的患者,牙齿出现粘连后无法自然萌出,也无法进行正畸牙移动,最终导致外伤牙低位咬合、牙槽骨发育不足以及邻牙倾斜<sup>[64]</sup>。对于挫入的牙齿,固定正畸矫治器通过施加可控的轻力,不会对根尖周神经及血管供应造成损伤,并有助于支持组织重塑及减少牙根粘连的发生<sup>[8,26]</sup>。由于缺乏外伤牙非正畸治疗组与正畸治疗组的相关研究,目前关于挫入牙接受正畸治疗后发生牙根粘连的可能性尚无结论。然而,有研究<sup>[25]</sup>指出:相较于晚期正畸牵引,早期牵引挫入牙引发的牙根粘连概率更低。此外,较多学者<sup>[33,35]</sup>研究了正畸负荷对自体移植牙的牙周愈合的影响,轻微的正畸负荷和功能性运动可以刺激牙周韧带的活性以及骨修复,并且早期加载正畸负荷可以预防牙根粘连的发生。

综上所述,牙齿创伤可能会增加患者对正畸治疗并发症的易感性,外伤牙更易发生牙根吸收、牙髓坏死以及牙髓钙化;早期开始正畸治疗可以减少牙根粘连的发生。因此,当正畸患者存在牙外伤史时,应当全面考虑外伤牙正畸移动后的潜在不良后果,这对治疗计划的制定具有重要的影响。

## 3 小结与展望

外伤牙的管理在正畸学等各学科里均具有较大的挑战。牙外伤不是正畸治疗的绝对禁忌证,但在正畸治疗之前记录牙外伤史,全面评估牙外伤患者的正畸治疗风险,对于制定适当的正畸治疗计划是非常重要的。正确的诊断,恰当的矫正时机以及合适的正畸治疗计划是治疗成功的主要决定因素。

目前,有关外伤牙正畸移动的建议多来自临床经验、专家意见以及病例报告,亟需高质量的试验来确认不同牙外伤开展早期正畸治疗的最佳时机,并进一步探究牙齿移动方式、正畸施力方向、矫治器类型等对外伤牙的影响,以期改善外伤牙正畸治疗的预后。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

#### 4 参考文献

- [1] 秦满. 国际牙外伤学会牙外伤治疗指南 (2020版) 解读[J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(9): 833-839.
- Qin M. Interpretation of the International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries (2020) [J]. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(9): 833-839.
- [2] Schatz JP, Ostini E, Hakeberg M, et al. Large overjet as a risk factor of traumatic dental injuries: a prospective longitudinal study[J]. *Prog Orthod*, 2020, 21(1): 41.
- [3] Vieira WA, Pecorari VGA, Gabriel PH, et al. The association of inadequate lip coverage and malocclusion with dental trauma in Brazilian children and adolescents—a systematic review and meta-analysis[J]. *Dent Traumatol*, 2022, 38(1): 4-19.
- [4] Bauss O, Röhling J, Schwestka-Polly R. Prevalence of traumatic injuries to the permanent incisors in candidates for orthodontic treatment[J]. *Dent Traumatol*, 2004, 20(2): 61-66.
- [5] Morris HT, Campbell RE, Kissling AD, et al. Observation periods before tooth movement in orthodontic patients who have experienced mild-to-moderate dental trauma: a scoping review of current evidence [J]. *J World Fed Orthod*, 2022, 11(3): 59-68.
- [6] Sandler C, Barry S, Littlewood S, et al. Orthodontic management of traumatized teeth: a national survey of UK orthodontists[J]. *Dent Traumatol*, 2019, 35(4/5): 241-250.
- [7] Kindelan SA, Day PF, Kindelan JD, et al. Dental trauma: an overview of its influence on the management of orthodontic treatment. Part 1[J]. *J Orthod*, 2008, 35(2): 68-78.
- [8] Spinass E, Pipi L, Mezzena S, et al. Use of orthodontic methods in the treatment of dental luxations: a scoping review[J]. *Dent J (Basel)*, 2021, 9(2): 18.
- [9] Kokai S, Kanno Z, Koike S, et al. Retrospective study of 100 autotransplanted teeth with complete root formation and subsequent orthodontic treatment [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2015, 148(6): 982-989.
- [10] Chaushu S, Shapira J, Heling I, et al. Emergency orthodontic treatment after the traumatic intrusive luxation of maxillary incisors[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2004, 126(2): 162-172.
- [11] Mota Júnior SL, Azevedo DGR, Campos MJDS, et al. Orthodontic treatment after intrusive dislocation and fracture of the maxillary central incisors[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 160(5): 757-763.
- [12] Aarts M, Suttorp CM. Incisal interference correction after severe extrusive luxation trauma during orthodontic treatment[J]. *Case Rep Dent*, 2022, 2022: 7181481.
- [13] Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review[J]. *Henry Ford Hosp Med J*, 1983, 31(1): 3-9.
- [14] Yaffe A, Fine N, Binderman I. Regional accelerated phenomenon in the mandible following mucoperiosteal flap surgery[J]. *J Periodontol*, 1994, 65(1): 79-83.
- [15] Dell'Aversana Orabona G, Perrotta S, Lo Giudice G, et al. Dentoalveolar fractures: new orthodontic protocol proposal and pilot study[J]. *J Craniofac Surg*, 2020, 31(8): e755-e760.
- [16] Sandler C, Al-Musfir T, Barry S, et al. Guidelines for the orthodontic management of the traumatised tooth[J]. *J Orthod*, 2021, 48(1): 74-81.
- [17] Fouad AF, Abbott PV, Tsilingaridis G, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2020, 36(4): 331-342.
- [18] Pereira AL, de Mendonça MR, Sonoda CK, et al. Microscopic evaluation of induced tooth movement in traumatized teeth: an experimental study in rats [J]. *Dent Traumatol*, 2012, 28(2): 114-120.
- [19] Busato MC, Pereira AL, Sonoda CK, et al. Microscopic evaluation of induced tooth movement after subluxation trauma: an experimental study in rats [J]. *Dental Press J Orthod*, 2014, 19(1): 92-99.
- [20] Jaiswal N, Khan A, Kaur H, et al. Management of fracture crown en masse in maxillary central incisors in a 13-year-old child—a multidisciplinary approach[J]. *Contemp Clin Dent*, 2020, 11(2): 165.
- [21] Fields HW, Christensen JR. Orthodontic procedures after trauma[J]. *J Endod*, 2013, 39(3 Suppl): S78-S87.

- [22] Patel K, Mack G, Djemal S. Management of acute traumatic dental injuries in the orthodontic patient [J]. *Br Dent J*, 2022, 232(10): 695-700.
- [23] Bourguignon C, Cohenca N, Lauridsen E, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations[J]. *Dent Traumatol*, 2020, 36(4): 314-330.
- [24] Koogi Sonoda C, Rahal V, Caliente EA, et al. Surgical and orthodontic treatment of severely intruded permanent incisors: a case report[J]. *Iran Endod J*, 2019, 14(1): 89-92.
- [25] Medeiros RB, Mucha JN. Immediate vs late orthodontic extrusion of traumatically intruded teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2009, 25(4): 380-385.
- [26] Snell A, Bacon J, McIntosh C, et al. C. E. credit management of severe intrusive injury in an immature permanent incisor with revascularization[J]. *J Calif Dent Assoc*, 2023, 51(1): 2176580.
- [27] Machado LA, do Nascimento RR, Ferreira DM, et al. Long-term prognosis of tooth autotransplantation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016, 45(5): 610-617.
- [28] Mendoza-Mendoza A, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A, et al. Retrospective long-term evaluation of autotransplantation of premolars to the central incisor region[J]. *Int Endod J*, 2012, 45(1): 88-97.
- [29] Kim CH, Joh B, Lim HJ, et al. A conservative approach for an adult patient with a fractured tooth and crowding: autotransplantation at the fracture site [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 159(2): 234-245.
- [30] Tsukiboshi M, Tsukiboshi C, Levin L. A step-by-step guide for autotransplantation of teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2023, 39(Suppl 1): 70-80.
- [31] Tankittiwat P, Thittiwong R, Limmonthol S, et al. Mandibular premolar transplantation to replace missing maxillary anterior teeth: a multidisciplinary approach[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 160(3): 459-472.
- [32] Vishwanath M, Janakiraman N, Vaziri H, et al. Autotransplantation: a biological treatment alternative for a patient after traumatic dental injury[J]. *Korean J Orthod*, 2018, 48(2): 125-130.
- [33] Yang SJ, Jung BY, Pang NS. Outcomes of autotransplanted teeth and prognostic factors: a 10-year retrospective study[J]. *Clin Oral Invest*, 2019, 23(1): 87-98.
- [34] Yang Y, Bai YX, Li S, et al. Effect of early orthodontic force on periodontal healing after autotransplantation of permanent incisors in beagle dogs[J]. *J Periodontol*, 2012, 83(2): 235-241.
- [35] Barendregt D, Andreasen JO, Leunisse M, et al. An evaluation of 1 654 premolars transplanted in the posterior region—a retrospective analysis of survival, success and complications[J]. *Dent Traumatol*, 2023, 39(Suppl 1): 50-62.
- [36] Choi YJ, Shin S, Kim KH, 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.
- [37] Lim SW, Choi IS, Lee BN, et al. Periodontal ligament preloading and rapid prototyping of the donor tooth in the autotransplantation of premolars with complete root formation[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2022, 162(1): 108-121.
- [38] Cordaro M, Staderini E, Torsello F, et al. Orthodontic extrusion vs. surgical extrusion to rehabilitate severely damaged teeth: a literature review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(18): 9530.
- [39] Reichardt E, Krug R, Bornstein MM, et al. Orthodontic forced eruption of permanent anterior teeth with subgingival fractures: a systematic review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(23): 12580.
- [40] Kumar G, Verma N, Parashar S. Management of subgingival root fracture with decoronation and orthodontic extrusion in mandibular dentition[J]. *Contemp Clin Dent*, 2019, 10(3): 554-557.
- [41] Farmakis ETR. Orthodontic extrusion of an incisor with a complicated crown root fracture, utilising a custom-made intra-canal wire loop and endodontic treatment: a case report with 7-years follow-up[J]. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2018, 19(5): 379-385.
- [42] Abbott PV. Prevention and management of external inflammatory resorption following trauma to teeth [J]. *Aust Dent J*, 2016, 61(Suppl 1): 82-94.
- [43] 李煌, 武秀萍, 黄兰, 等. 正畸根尖区牙根外吸收的

- 风险因素及其临床处理建议的专家共识[J]. 华西口腔医学杂志, 2022, 40(6): 629-637.
- Li H, Wu XP, Huang L, et al. External apical root resorption in orthodontic tooth movement: the risk factors and clinical suggestions from experts' consensus[J]. *West China J Stomatol*, 2022, 40(6): 629-637.
- [44] Yassir YA, McIntyre GT, Bearn DR. Orthodontic treatment and root resorption: an overview of systematic reviews[J]. *Eur J Orthod*, 2021, 43(4): 442-456.
- [45] Weltman B, Vig KW, Fields HW, et al. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010, 137(4): 462-476.
- [46] Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, et al. The influence of orthodontic treatment on previously traumatized permanent incisors[J]. *Eur J Orthod*, 1991, 13(5): 372-377.
- [47] Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth[J]. *Eur J Orthod*, 1983, 5(3): 173-183.
- [48] Malmgren O, Goldson L, Hill C, et al. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth [J]. *Am J Orthod*, 1982, 82(6): 487-491.
- [49] Goldson L, Henrikson CO. Root resorption during Begg treatment; a longitudinal roentgenologic study [J]. *Am J Orthod*, 1975, 68(1): 55-66.
- [50] van Gorp G, Bormans N, Vanham I, et al. Orthodontic treatment recommendation and expected adverse reactions in patients with a history of dental trauma: a survey among general dentists, paediatric dentists, and orthodontic specialists[J]. *Int J Paediatr Dent*, 2020, 30(3): 360-369.
- [51] Hines FB Jr. A radiographic evaluation of the response of previously avulsed teeth and partially avulsed teeth to orthodontic movement[J]. *Am J Orthod*, 1979, 75(1): 1-19.
- [52] Smeyers F, Fizez S, van Gorp G, et al. Evolution of root length throughout orthodontic treatment in maxillary incisors with previous history of dental trauma: a longitudinal controlled trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(12): 7179-7190.
- [53] Zhao DN, Xue K, Meng JY, et al. Orthodontically induced external apical root resorption considerations of root-filled teeth vs vital pulp teeth: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 241.
- [54] Kolcuoğlu K, Oz AZ. Comparison of orthodontic root resorption of root-filled and vital teeth using micro-computed tomography[J]. *Angle Orthod*, 2020, 90(1): 56-62.
- [55] Grissom AC, Cozad BE, Makins SR, et al. Root surface changes in endodontically treated teeth following orthodontic movement[J]. *J Endod*, 2022, 48(11): 1361-1366.
- [56] Alhadainy HA, Flores-Mir C, Abdel-Karim AH, et al. Orthodontic-induced external root resorption of endodontically treated teeth: a meta-analysis[J]. *J Endod*, 2019, 45(5): 483-489.
- [57] Weissheimer T, Silva EJNL, Pinto KP, et al. Do orthodontic tooth movements induce pulp necrosis? A systematic review[J]. *Int Endod J*, 2021, 54(8): 1246-1262.
- [58] Duarte PHM, Weissheimer T, Michel CHT, et al. Do orthodontic movements of traumatized teeth induce dental pulp necrosis? A systematic review[J]. *Clin Oral Investig*, 2023, 27(8): 4117-4129.
- [59] Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, et al. The influence of orthodontic treatment on previously traumatized permanent incisors[J]. *Eur J Orthod*, 1991, 13(5): 372-377.
- [60] Baus O, Röhling J, Meyer K, et al. Pulp vitality in teeth suffering trauma during orthodontic therapy [J]. *Angle Orthod*, 2009, 79(1): 166-171.
- [61] Proffit WR, Fields HW, Larson BE, et al. *Contemporary orthodontics*[M]. Philadelphia: Elsevier, 2019.
- [62] Bakkari A, Bin Salamah F. Updated guidelines for the orthodontic management of traumatized and endodontically treated teeth: a review study[J]. *Cureus*, 2022, 14(9): e28943.
- [63] Lin S, Moreinos D, Kaufman AY, et al. Tooth resorption—part 1: the evolvement, rationales and controversies of tooth resorption[J]. *Dent Traumatol*, 2022, 38(4): 253-266.
- [64] Madureira DF, Valentim GLL, da Silva TA, 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.