DOI：10.12287/j.issn.2096-8965.20210212

牙根纵裂的诊疗研究进展

王艳桐，曹钰*，范志朋*

（首都医科大学附属北京口腔医院，北京 100050）

【摘要】牙根纵裂是指纵向牙齿折裂，起始于牙根的任何水平并沿牙齿长轴扩展，通常由根管的内侧壁延伸至外侧壁，主要涉及到牙髓—牙本质复合体及牙周骨组织的破坏。牙根纵裂的诱发因素复杂，临床症状与体征不典型，患牙多因咬物不适、钝痛、自发痛等症状而无法行使功能，早期诊断困难，现有的治疗方法无法达到以功能为导向的牙齿及牙周组织结构修复，导致患牙预后差，保存困难，是口腔临床工作中较为棘手的情况之一。本文对牙根纵裂的症状、诊断标准、临床致病因素及现有治疗手段、治疗进展进行了回顾和总结，以期对牙根纵裂治疗提供新的思路。

【关键词】牙根纵裂；诊断标准；现有治疗方案；干细胞；牙本质再生

中图分类号：R781.2，R-1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2096-8965（2021）02-0079-07

Progress in diagnosis and treatment of vertical root fracture

Wang Yantong, Cao Yu*, Fan Zhipeng*

（Beijing Stomatological Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China）

【**Abstract**】Vertical root fracture (VRF) is a type of longitudinal tooth fractures. The fracture is initiated from any level in the root and propagates along the long axis of the root. It usually extends from the root canal to the periodontium, mainly involving the destruction of pulp-dentin complex and periodontal bone tissue. The etiological factors contributing to vertical root fracture is complicated, and the affected teeth mostly failed to function owing to symptoms like biting discomfort and spontaneous pain. Lacking of typical symptoms and signs makes the early diagnosis difficult. The existed therapeutic methods cannot achieve the function-oriented damaged tissue repair, resulting in VRF as one of the most challenging conditions in dental practice. This paper reviewed the symptoms, diagnostic criteria, clinical associated factors, current treatment methods and its progress of vertical root fracture, hoping to offer a new perspective for the treatment.

【**Keywords**】Vertical root fracture(VRF); Diagnostic criteria; Current treatment methods for VRF; Stem cells; Dentin regeneration

牙根纵裂（Vertical Root Fracture, VRF）是指纵向牙齿折裂，起始于牙根的任何水平并沿牙齿长轴扩展，多发生于颊舌向，可累及一个或两个牙面[1]。牙根纵裂通常由根管的内侧壁延伸至外侧壁，同时波及患牙的牙体、牙髓和牙周组织，导致牙髓腔与牙周组织相通[2]。以往一项回顾性研究显示牙根纵裂在恒牙中的发生率为3%~5%，近年来由于患牙保存时间延长，接受的治疗更加复杂化（如根管治疗，冠修复等），牙根纵裂的发生率增加[3, 4]。由于其诱发因素复杂，且缺乏典型的临床体征，早

基金项目：国家自然科学基金（81670948；81625005）

通讯作者：范志朋（1972-），男，天津人，博士生导师，主要从事间充质干细胞介导的口腔颌面组织再生和分子调控机制研究。
E-mail：zpfan@ccmu.edu.cn
曹　钰（1975-），女，山西太原人，副教授，主要从事牙体牙髓病的临床及间充质干细胞介导的牙齿组织再生研究。
E-mail：caoyu@ccmu.edu.cn

期诊断困难，患者就诊时一般已经出现较为明显的临床症状和牙周组织破坏，导致其预后差，患牙保存困难，因而成为口腔临床工作中较为棘手的情况之一[5]。在过去很长一段时间里，牙根纵裂患牙的常规处理方式为拔除患牙后进行义齿修复，随着现代口腔医学的发展，医生和患者都更加重视对天然牙齿的保存，近几十年来出现了许多保存牙根纵裂患牙的治疗方法[6]。但由于牙根纵裂患牙的牙周破坏严重，导致这些方法疗效不确定，均没有得到广泛的应用，在临床上，亟待一种新的有效的治疗方案。在此，本文对牙根纵裂的临床相关因素、临床诊断因素、早期诊断方法、治疗进展等进行了回顾和总结，以期对牙根纵裂治疗提供新的思路。

1 牙根纵裂的症状及临床诊断标准

牙根纵裂早期缺乏明显的临床症状和体征，随着牙根纵裂发生的时间及严重程度的变化，患者会逐渐出现咬物不适、轻微钝痛，当累及牙髓时会出现自发痛症状；牙根纵裂患牙早期牙髓处于炎症状态或多根牙的非纵裂根尚有活力时，牙髓电活力测试有反应，到晚期全部牙髓坏死时牙髓电活力测试无反应；牙根纵裂患牙一般会出现不同程度的叩痛，病变累及牙周组织时患牙会出现牙龈肿胀、溢脓、窦道等，病变发展至周围牙槽骨吸收后，触诊患牙松动度增加[7]。但不同患者表现出的临床症状不一，因人而异，因此，对怀疑牙根纵裂的牙齿检查应全面细致（见表1）。

牙根纵裂的患牙有时可以通过视诊直接在牙面上发现裂缝，必要时可以通过染色的方式使裂缝颜色加深，或通过光纤透照的方式来检测裂痕。当病变累及牙周组织时，在患牙周围可以探及孤立的窄而深的牙周袋，深度一般 > 5 mm[5]。传统根尖片在牙根纵裂诊断中应用可靠性较低。患牙发生牙根纵裂后，早期在患根的根尖区可以见到牙周膜增宽影像，继之患根周围骨吸收出现V形骨缺损影像，晚期折断片移位明显，在X线片上可以明显观察到折断线，并且患根周围骨质破坏严重，出现日晕状透射影像[5, 8, 10]。由于牙根纵裂的临床症状与牙周组织疾病相似，缺乏特异性的临床及影像学表现，早期折断线不明显时容易发生误诊[11]。且由于二维图像的重叠性，当X线束不与折断线平行时易导致漏诊，或过于突出的骨小梁结构可能会导致非根管治疗牙出现假阳性体征而发生不必要的拔牙。

CBCT三维断层扫描技术的多角度可视化及高分辨率可以弥补X线片二维图像的局限性，在牙根纵裂的早期发现折断线及骨质破坏，很大程度地提升牙根纵裂早期诊断的精确性。同时有研究表明，虽然CBCT在根管治疗牙及桩核冠修复牙的诊断中受到一定限制，骨折线的直接证据不易被观察到，但颊舌向V形骨缺损影像可以作为其早期诊断的较可靠依据[9]。

牙周翻瓣探查术是诊断牙根纵裂的金标准，在怀疑患牙发生牙根纵裂但无法确定，X线片和CBCT均无法明确诊断的情况下，必要时可以选择牙周翻瓣术来进行探查[9]。

2 牙根纵裂的致病因素

牙根纵裂是一种牙体硬组织疾病，其诱发因素

表1 牙根纵裂诊断依据

诊断方法		诊断依据	局限性	参考文献
主观症状		咬物不适、轻微钝痛，自发痛	主观症状不典型，随疾病进展个体差异大	[5]
临床检查指标		牙面裂痕视诊；孤立的窄而深的牙周袋，深度一般> 5 mm；不同程度的叩痛，牙龈肿胀，溢脓，窦道，松动度增加	早期缺乏典型体征，随疾病进展个体差异大	[5]
影像学检查	根尖片	牙周膜影像增宽，V形骨缺损，牙根折断线，日晕状透射影像	由于二维图像的重叠性和低分辨率，易发生漏诊和误诊	[8]
	CBCT检查	折断线及骨质破坏，颊舌向V形骨缺损	三维断层扫描的多角度可视化及高分辨率可以提升牙根纵裂早期诊断的精确性	[9]
牙周翻瓣探查术		牙周翻瓣后直视下探查裂痕	诊断牙根纵裂的金标准；翻瓣后创伤大，对临近组织造成二次损伤，限制其临床应用	[9]

复杂，与医源性因素、患者因素、牙齿解剖形态等因素密切相关。

2.1 医源性因素

医源性因素对于牙根纵裂的发生至关重要，众多研究表明牙根纵裂是根管治疗的一个重要并发症。根管治疗的众多环节都与牙根纵裂发生密切相关[12]。无论采用何种根管预备技术，根管预备后管壁厚度减小均会显著降低根管抗力，增加牙根纵裂的发生风险[13, 14]。研究显示，根管治疗牙牙根纵裂的发生率显著高于活髓牙，接受显微根尖手术的患牙中牙根纵裂的检出率为18.7%，尤其是根管治疗后牙齿的根管间峡区是牙根纵裂发生的薄弱区[15, 16]。此外，根管充填时在根管内施加的垂直和侧向压力也会导致根管壁裂纹，尤其是根充物超出根尖孔时牙根纵裂的发生率显著增加[17]。若在根管治疗过程中发生器械分离，在取出折断器械的过程中使用超声器械也会进一步降低根管壁厚度，降低根折抗性，增加牙根纵裂的风险[18]。若根管治疗失败，根管再治疗的过程会使牙根纵裂的发生率较初次根管治疗增加[12]。有研究表明根管桩的类型（纤维桩与金属桩）及桩在根管内的延伸范围对于剩余牙体组织的抗根折性能也会有影响[19]。

2.2 患者因素

回顾性研究发现，牙根纵裂的发生与年龄因素密切相关，年龄超过50岁的患者牙根纵裂发生率显著增加，而性别因素对于牙根纵裂无显著影响[20]。但也有研究表明女性根管治疗后牙齿发生牙根纵裂的几率接近男性2倍，而男性患者非根管治疗牙发生牙根纵裂的几率更高，其中非根管治疗牙发生牙根纵裂多与合面的重度磨耗相关，这类患牙除合面的显著磨耗，多表现出工作尖平坦，非工作尖高陡，深合面凹及远中边缘嵴低平等形态改变[21]，提示合面形态改变导致的过大咬合力可能是活髓牙根纵裂发生的重要条件。因此，患者饮食习惯与牙根纵裂的发生关系密切，喜欢吃硬性食物的患者承受的咬合力大，牙根纵裂发生率显著增加。

2.3 牙齿解剖因素

除患者自身因素，牙齿的解剖形态也是牙根纵裂发生的影响因素。研究发现临床上牙根纵裂在前磨牙及磨牙中的发生率显著高于切牙[6, 20]，而且无论在根管治疗牙还是非根管治疗牙中，下颌磨牙的近中根都是牙根纵裂发生率最高的部位[21]。牙根纵裂更易发生在椭圆形的根管中，且牙根近远中根管壁的厚度对于其易感性有显著影响[22]。合关系检查发现牙根纵裂患牙绝大多数存在合干扰和合创伤，考虑到正中合的早接触使患牙受到大于正常接触的牙齿所受合力，侧方合非工作侧的合干扰使患牙易受侧向力的作用，因此不平衡的合力也是牙根纵裂的易感因素[23, 24]。

鉴于牙根纵裂的危险因素复杂且预后不佳，临床工作者在诊疗过程中对于高危患牙应警惕牙根纵裂的发生，如根管治疗过程中平衡根管预备与根管壁抗力的关系，控制根充过程中加压的力度，规范操作避免器械分离和根管治疗失败的发生，选择合适的修复方式等，从预防层面避免牙根纵裂的发生。

3 牙根纵裂后的临床处理方法

3.1 基于患牙留存的牙根纵裂治疗

以往对牙根纵裂牙齿的常规处理为拔除后修复，近年来，由于显微镜及显微手术器械广泛应用于口腔治疗中，加之患者保存患牙的意愿愈加强烈，目前发展出多种保存牙根纵裂患牙的治疗方法（见表2）。

3.1.1 裂痕粘接及意向性再植

裂痕树脂粘接及意向性再植是目前应用较多的保存牙根纵裂患牙的治疗方法。有学者提出，在新鲜折裂患牙炎症较轻时从根管内入路进行原位粘接，牙周骨丧失严重时翻瓣后直视下清创粘接，配合人工骨移植，起到类似引导骨再生的作用[25–27]。研究表明，对根纵裂患牙有一定治疗效果，12个月观察期内临床和影像学成功率可达100%，33个月内为70%[27]。但是原位粘接视野及操作空间受限，操作难度大，而且仅限于个案报道。有研究者提出，将根管治疗后的牙根纵裂患牙以最小的创伤从牙槽窝内拔出，在体外用树脂水门汀将折断的牙根碎片粘接好后旋转180°将患牙重新植入牙槽窝，后又有研究者对此方法进行了改进[28–31]。目前，有许多研究表明，意向性再植对于牙根纵裂患牙的治疗在一定观察期内疗效较好，但都仅限于个案报道，一项回顾性研究发现，牙根纵裂意向性再植患牙12个月和24个月保存率分别为83.3%和36.3%[32]。从组织病理学角度而言，牙根纵裂主要涉及到牙本质、牙骨质及牙周膜的破坏，虽然树脂粘接可以将折裂线封闭，物理性阻断患牙髓腔与牙周组织的交通，但是树脂表面无法形成新生的牙骨质和牙周膜，无法实现真正的牙齿和牙周组织再

表2 牙根纵裂治疗方法

治疗方法		原理	缺点	参考文献
物理性裂痕封闭	裂痕粘接	根管内或翻瓣后直视下清创，树脂粘接封闭裂痕	单纯物理性的封闭，阻隔性差；易发微渗漏；长期存在细菌感染或牙周牙髓联合病变风险	[26]
	意向性再植	将患牙拔出后体外清创后树脂粘接封闭裂痕，再植回原牙槽窝		[28]
显微根尖手术或截根术		显微根尖手术或翻瓣后截除纵裂牙根	患牙的支持作用减少；受力方向改变，易发生二次根折	[35]
第三磨牙自体移植		拔除患牙后第三磨牙自体移植取代患牙	操作难度大；移植后受区常存在骨体积不足；供体选择受限	[41]

生。通过体外研究发现将釉基质衍生物用于意向性再植的牙根纵裂患牙，有利于在牙周膜丧失的情况下，患牙根面牙骨质的再生和减少牙根的吸收，有望进一步改善牙根纵裂患牙的预后[33]。但是此方法目前仅限于动物实验阶段，缺乏实际的临床应用和大量的临床观察数据。

3.1.2 显微根尖手术及截根术

除粘接封闭裂痕外，研究者们还尝试了其他方法治疗牙根纵裂患牙，如在CBCT引导下去除纵裂断端，然后进行倒预备和倒充填的显微根尖手术[34]。但此方法适应症的选择比较严格，要求患牙牙根纵裂导致的骨破坏仅限于根尖区，并未与牙周炎症导致的骨破坏相通，但临床所见很多牙根纵裂患根周围的V形骨缺损均与牙周袋相通，从而限制了显微根尖手术在牙根纵裂治疗中的临床应用。若患根的牙周组织破坏严重，保存效果预测不佳，但非受累牙根的牙周支持状况良好，也可以选择截根术保留其余健康牙根以保存患牙[35]。但是截根后患牙的支持作用减少，受力方向改变，原有的轴向力变为侧向力，更容易对患牙造成创伤而导致二次根折。

牙根纵裂是口腔临床工作者面临的重要挑战，现有保存患牙治疗方法的预后缺乏长期的临床研究数据证实[25-29]。因其临床症状和体征缺乏特异性，早期诊断困难，明确诊断前裂痕不断扩展乃至纵裂片发生移位，牙体及牙周组织破坏严重，导致患牙保守治疗预后较差[3]。

3.2 患牙拔除后的修复重建

临床诊断为牙根纵裂的患牙，若经评估预后不佳，为避免持续的炎症导致进一步的骨吸收，与患者沟通后需要尽早拔除患牙，后续采取种植或其他方案修复缺失牙[36, 37]。虽然种植技术已相对成熟，但长期回顾性研究发现种植患者发生远期生物和机械并发症的风险仍高达52%和32%[38]。研究发现用第三磨牙自体移植取代发生牙根纵裂磨牙的方法一定程度上可以避免种植后并发症这一问题，但是发育完成的第三磨牙移植后受区往往存在骨体积不足的问题。针对于此，有研究者提出第三磨牙连带颊侧骨板移植，在一定程度上可以改善骨高度不足，但是此种方法对供区的创伤大[40, 41]。虽然自体移植第三磨牙的方法相较种植修复具有保留自体感受器、花费少和年轻恒牙的血运重建功能强的优势，但是该方法操作难度大，且临床上牙根纵裂患者的年龄一般偏大，供体选择受限和对患者创伤较大，这些不足都限制了其临床推广应用。

综上所述，牙根纵裂患牙的治疗为临床工作中的难点，虽然近些年临床工作者尝试了多种方法保存牙根纵裂的患牙，但保守治疗方法耗时更久，要求患者更高的依从性且预后不确切，无法达到临床远期满意疗效，难以在临床广泛应用[6]。拔除后种植是目前可预测性较高的治疗方法，但也面临远期生物和机械并发症的风险，因此亟待一种新的有效的治疗方案。

4 小结及展望

牙根纵裂可以发生在活髓牙或死髓牙，一般主要涉及到牙髓—牙本质复合体及牙周骨组织的破坏，实现受损区牙髓—牙本质复合体和牙周组织的再生是牙根纵裂的治疗目标[1-5]。本文综述了牙根纵裂的症状、诊断标准、临床致病因素及现有治疗手段。综合而言，目前的临床治疗方法主要是物理性的封闭裂隙，或显微根尖手术截除纵裂部牙根，并没有真正修复受损的牙本质、牙骨质、牙周膜及牙周骨组织，无法达到以功能为导向的牙齿及牙周组织结构修复，患牙预后效果差。基于此，寻找和

探究以功能为导向的组织结构修复再生方法仍是提升牙根纵裂疗效的关键。

目前，基于以牙源性干细胞介导为基础的多个牙齿组织再生体内外实验均证实牙源性干细胞具有良好的牙本质再生能力[42, 43]。研究发现牙髓干细胞（Dental Pulp Stem Cells，DPSCs）和成体脐带间充质干细胞（Human Umbilical Cord MSCs，UC-MSCs）虽表现出相似的MSCs表面标记，但其成牙分化能力差异明显。免疫组化染色显示与牙本质发生和血管生成相关的基因（DSPP、DMP1和CALB1）在DPSCs中的表达存在显著差异[44]。另有研究显示，相较于酶消化法获取的DPSCs，磨碎牙髓组织来源的牙髓干细胞（Minced Pulp Derived MSCs，MP-MSCs）表现出强的成牙分化能力，在组织切片中也显示矿化组织形成和牙本质唾液磷蛋白DSPP的表达[45]，提示细胞外基质在维持牙髓内MSCs良好牙向分化修复能力的重要作用。研究表明，借助DPSCs细胞膜片、经处理牙本质基质（Treated Dentin Matrix，TDM）和人工基底膜的三明治结构可以实现生物牙根再生，微观结构显示形成良好的牙本质小管结构，伴随牙髓、牙周膜样组织形成[46, 47]。将DPSCs与水凝胶联合注射到小型猪根管内，透射电镜观察到沿根管壁沉积一层新生的牙本质样组织，免疫组化染色结果显示，该沉积处成牙本质样细胞衬层中高度表达巢蛋白Nestin、牙本质涎磷蛋白DSPP、牙本质基质蛋白DMP-1和骨涎蛋白BSP[48]，提示牙源性干细胞复合合适支架材料移植到受损区域可以促进实现牙体组织的结构性再生。同时，多种细胞因子如浓缩生长因子（Concentrated Growth Factor，CGF）、溶解牙本质基质（Demineralized Dentin Matrix，DDM）和信号通路如Wnt/β-catenin信号通路、MAPK信号通路等可以显著促进DPSCs成牙本质向分化能力[49-52]。IGFBP5通过JNK和ErK信号通路促进DPSCs介导的牙本质形成[53]。Wnt通路抑制因子1（Wnt Inhibitory Factor 1，WIF1）通过促进关键成骨/牙分化转录因子OSX的表达，进而增强根尖牙乳头干细胞（Stem Cells from Apical Papilla，SCAPs）的牙本质分化潜能[54]。分泌卷曲相关蛋白2（Secreted Frizzled Related Protein 2，SFRP2）通过拮抗典型Wnt通路，可显著促进移植入兔牙槽窝内DPSCs介导的牙本质形成[55]。以上众多体内外研究提示，如在牙根纵裂隙内注射牙源性干细胞+细胞因子凝胶或移植牙源性干细胞膜片有望新生牙本质以修复牙体组织裂痕，将可应用于牙根纵裂的局部组织结构性修复再生，提升牙根纵裂的临床治疗效果，为牙根纵裂患者提供一种全新的患牙保留方案。

参考文献

[1] RIVERA E M, WALTON R E. Cracking the cracked tooth code: detection and treatment of various longitudinal tooth fractures[J]. Am Assoc Endodontists Colleagues for Excellence News Lett, 2008, 2:1-9.

[2] TORABINEJAD M, WALTON R E, FOUAD A F. Endodontics: principles and practice[M]. New York, NY: Elsevier, 2014:134.

[3] BARANWAL H C, SINGH N, KUMAR N, et al. New approach in the management of vertical root fracture with the help of biodentine and CBCT[J/OL]. Case Rep Dent, 2020，2020(1) : 2806324.

[4] RIVERA E M, WALTON R E. Longitudinal tooth fractures: findings that contribute to complex endodontic diagnoses[J]. Endodontic Topics, 2007, 16(1): 82-111.

[5] SEE W K, HO J C, HUANG C F, et al. The association between clinical diagnostic factors and the prevalence of vertical root fracture in endodontic surgery[J]. J Formos Med Assoc, 2019, 118(3): 713-720.

[6] ALSANI A, BALHADDAD A A, NAZIR M A. Vertical root fracture: a case report and review of the literature[J]. Giornale Italiano Di Endodonzia, 2017, 31:21-28.

[7] 李会旭, 刘桂荣, 张艳, 等. 5例原发性牙根纵裂的临床诊断分析及文献回顾[J]. 口腔医学研究, 2018, 34(11): 1186-1191.

[8] CORBELLA S, TAMSE A, NEMCOVSKY C, et al. Diagnostic issues dealing with the management of teeth with vertical root fractures: a narrative review[J]. Giornale Italiano Di Endodonzia, 2014, 28: 91-96.

[9] ZHANG L, WANG T M, CAO Y, et al. In vivo detection of subtle vertical root fracture in endodontically treated teeth by cone-beam computed tomography[J]. J Endod, 2019, 45(7): 856-862.

[10] MIKROGEORGIS G, EIRINAKI E, KAPRALOS V, et al. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth utilising digital subtraction radiography: a case series report[J]. Aust Endod J, 2018, 44(3): 286-291.

[11] TAMSE A, FUSS Z, LUSTIG J, et al. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth[J]. J Endod, 1999, 25(7): 506-508.

[12] HSIAO L T, HO J C, HUANG C F, et al. Analysis of clinical associated factors of vertical root fracture cases found in endodontic surgery[J]. J Dent Sci, 2020, 15(2): 200-206.

[13] SATHORN C, PALAMARA J E A, MESSER H H. A comparison of the effects of two canal preparation techniques on root fracture susceptibility and fracture pattern[J]. J Endod, 2005, 31(4): 283-287.

[14] MUNARI L S, BOWLES W R, FOK A S L. Relationship between canal enlargement and fracture load of root dentin sections[J]. Dent Mater, 2019, 35(5): 818-824.

[15] CHAI H, TAMSE A. The effect of isthmus on vertical root fracture in endodontically treated teeth[J]. J Endod, 2015, 41(9): 1515-1519.

[16] CAPAR I D. Effects of root canal preparation, various filling techniques and retreatment after filling on vertical root fracture and crack formation[J]. Dental Traumatology, 2015, 31(4): 302-307.

[17] PRADEEPKUMAR A R, SHEMESH H, VAN LOVEREN C, et al. Impact of apical extent of root canal filling on vertical root fracture: a case-control study[J]. Int Endod J, 2019, 52(9): 1283-1289.

[18] FU M, HUANG X X, ZHANG K Y, et al. Effects of ultrasonic removal of fractured files from the middle third of root canals on the resistance to vertical root fracture[J]. J Endod, 2019, 45(11): 1365-1370.

[19] ÖZTÜRK C, POLAT S, TUNÇDEMIR M, et al. Valuation of the fracture resistance of root filled thin walled teeth restored with different post systems[J]. Biomed J, 2019, 42(1): 53-58.

[20] HSIAO L T, HO J C, HUANG C F, et al. Analysis of clinical associated factors of vertical root fracture cases found in endodontic surgery[J]. J Den Sci, 2020, 15(2): 200-206.

[21] LIAO W C, TSAI Y L, WANG C Y, et al. Clinical and radiographic characteristics of vertical root fractures in endodontically and nonendodontically treated teeth[J]. J Endod, 2017, 43(5): 687-693.

[22] PILO R, METZGER Z, BROSH T. Effect of root morphology on the susceptibility of endodontically treated teeth to vertical root fracture: an ex-vivo model[J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2017, 69: 267-274.

[23] 戴丽霞. 活髓牙牙根纵裂致病诱因相关因素分析[J]. 临床口腔医学杂志, 2017, 33(11): 675-677.

[24] 姜彤. 牙齿牙合面磨损程度对牙根纵裂的发生、发展的影响[J]. 临床口腔医学杂志, 2019, 35(11): 686-689.

[25] SUGAYA T, KAWANAMI M, NOGUCHI H, et al. Periodontal healing after bonding treatment of vertical root fracture[J]. Dent Traumatol, 2001, 17(4): 174-179.

[26] NOGUEIRA LEAL DA SILVA E J, ROMãO DOS SANTOS G, LIESS KREBS R, et al. Surgical alternative for treatment of vertical root fracture: a case report[J]. Iran Endod J, 2012, 7(1): 40-44.

[27] TASCHIERI S, TAMSE A, DEL FABBRO M, et al. A new surgical technique for preservation of endodontically treated teeth with coronally located vertical root fractures: a prospective case series[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2010, 110(6): e45-52.

[28] KAWAI K, MASAKA N. Vertical root fracture treated by bonding fragments and rotational replanation[J]. Dent Traumatol, 2002, 18(1): 42-45.

[29] OKAGUCHI M, KUO T, HO Y C. Successful treatment of vertical root fracture through intentional replantation and root fragment bonding with 4-META/MMA-TBB resin[J]. J Formos Med Assoc, 2019, 118(3): 671-678.

[30] ÖZER S Y, ÜNLÜG, DEĞER Y. Diagnosis and treatment of endodontically treated teeth with vertical root fracture: three case reports with two-year follow-up[J]. J Endod, 2011, 37(1): 97-102.

[31] HADROSSEK P H, DAMMASCHKE T. New treatment option for an incomplete vertical root fracture-a preliminary case report[J]. Head Face Med, 2014, 10: 9.

[32] HAYASHI M, KINOMOTO Y, MIURA M, et al. Short-term evaluation of intentional replantation of vertically fractured roots reconstructed with dentin-bonded resin[J]. J Endod, 2002, 28(2): 120-124.

[33] SUGAYA T, TOMITA M, MOTOKI Y, et al. Influence of enamel matrix derivative on healing of root surfaces after bonding treatment and intentional replantation of vertically fractured roots[J]. Dent Traumatol, 2016, 32(5): 397-401.

[34] 徐玮哲, 宋东哲, 谭学莲, 等. 右侧下颌第一磨牙近中原发性牙根纵裂行活髓保存治疗1例[J]. 华西口腔医学杂志, 2019, 37(5): 563-567.

[35] ANITHA S, RAO D S. Hemisection: a treatment option for an endodontically treated molar with vertical root fracture[J]. J Contemp Dent Pract, 2015, 16(2): 163-165.

[36] CORBELLA S, TASCHIERI S, SAMARANAYAKE L, et al. Implant treatment choice after extraction of a vertically fractured tooth. A proposal for a clinical classification of bony defects based on a systematic review of literature[J]. Clin Oral Implants Res, 2014, 25 (8): 946-56.

[37] OLIVEIRA OYA E D, PALLOS D, SCHWARTZ-FILHO H O, et al. Vertical root fracture: preservation of the alveolar ridge using immediate implants[J/OL]. Case Rep Dent, 2014, 2014: 520169.

[38] CAMPS-FONT O, MARTíN-FATÁS P, CLE-OVEJERO A, et al. Postoperative infections after dental implant placement: variables associated with increased risk of failure[J]. J Periodontol, 2018, 89(10): 1165-1173.

[39] ADLER L, BUHLIN K, JANSSON L. Survival and complications: a 9- to 15-year retrospective follow-up of dental implant therapy[J]. J Oral Rehabil, 2020, 47(1): 67-77.

[40] ASGARY S. Autogenous transplantation of mandibular third molar to replace tooth with vertical root fracture[J]. Iran Endod J, 2009, 4(3): 117-121.

[41] ZUFIA J, ABELLA F, TREBOL I, et al. Autotransplantation of mandibular third molar with buccal cortical plate to replace vertically fractured mandibular second molar: a novel technique[J]. J Endod, 2017, 43(9): 1574-1578.

[42] HU L, LIU Y, WANG S. Stem cell-based tooth and periodontal regeneration[J]. Oral Dis, 2018, 24(5): 696-705.

[43] ABDEL MEGUID E, KE Y H, JI J F, et al. Stem cells applications in bone and tooth repair and regeneration: new insights, tools, and hopes[J]. J Cell Physiol, 2018, 233(3): 1825-1835.

[44] KANG C M, KIM H, SONG J S, et al. Genetic comparison of stemness of human umbilical cord and dental pulp[J/OL]. Stem Cells Int, 2016, 2016: 3453890.

[45] LIANG Z R, KAWANO S, CHEN W, et al. Minced pulp as source of pulpal mesenchymal stem cells with odontogenic differentiation capacity[J]. J Endod, 2018, 44 (1): 80-86.

[46] HU J C, CAO Y, XIE Y L, et al. Periodontal regeneration in swine after cell injection and cell sheet transplantation of human dental pulp stem cells following good manufacturing practice[J]. Stem Cell Res Ther, 2016, 7 (1): 130.

[47] MENG H, HU L, ZHOU Y, et al. A sandwich structure of human dental pulp stem cell sheet, treated dentin matrix, and matrigel for tooth root regeneration[J]. Stem Cells Dev, 2020, 29(8): 521-532.

[48] ZHU X F, LIU J, YU Z D, et al. A miniature swine model for stem cell-based de novo regeneration of dental pulp and dentin-like tissue[J]. Tissue Eng Part C Methods, 2018, 24(2): 108-120.

[49] JIN R Z, SONG G T, CHAI J H, et al. Effects of concentrated growth factor on proliferation, migration, and differentiation of human dental pulp stem cells in vitro[J/OL]. J Tissue Eng, 2018, 9: 1-10.

[50] MELLING G E, COLOMBO J S, AVERY S J, et al. Liposomal delivery of demineralized dentin matrix for dental tissue regeneration[J]. Tissue Eng Part A, 2018, 24 (13-14): 1057-1065.

[51] JIN L Y, CAO Y, YU G X, et al. SFRP2 enhances the osteogenic differentiation of apical papilla stem cells by antagonizing the canonical WNT pathway[J]. Cell Mol Biol Lett, 2017, 22:14.

[52] CUI D X, XIAO J N, ZHOU Y C, et al. Epiregulin enhances odontoblastic differentiation of dental pulp stem cells via activating MAPK signalling pathway[J/OL]. Cell Prolif, 2019, 52(6): e12680.

[53] HAO J L, YANG H Q, CAO Y Y, et al. IGFBP5 enhances the dentinogenesis potential of dental pulp stem cells via JNK and ErK signalling pathways[J]. J Oral Rehabil, 2020, 47(12): 1557-1565.

[54] WANG H F, CAO Y. WIF1 enhanced dentinogenic differentiation in stem cells from apical papilla[J]. BMC Oral Health, 2019, 19(1): 25.

[55] WANG C, WANG Y J, WANG H Y, et al. SFRP2 enhances dental pulp stem cell-mediated dentin regeneration in rabbit jaw[J/OL]. Oral Dis, 2020.

［收稿日期］2021–01–04