

·中青年专家笔谈·

根管治疗器械分离的临床管理

王祥柱

中南大学湘雅口腔医学院·口腔医院牙体牙髓科·口腔健康研究湖南省重点实验室,
长沙 410008

通信作者:王祥柱,Email:wangxiangzhu_endo@csu.edu.cn



王祥柱

【摘要】 器械分离是根管治疗最常见的并发症之一,也是困扰口腔医生的临床难题。本文就根管治疗器械分离发生的原因、处理决策、临床处置流程、常用取出技术要点和处理后的临床问题进行总结,以期探讨根管治疗器械分离的合理处置方案,探索器械分离取出操作规范,提高患牙保留率与治疗成功率。

【关键词】 根管治疗; 器械分离; 并发症

基金项目:湖南省自然科学基金(2021JJ40906)

引用著录格式:王祥柱. 根管治疗器械分离的临床管理[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2023,17(3):153-161.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.03.001

Clinical management of instrument separation during endodontic therapy

Wang Xiangzhu

Department of Conservative and Endodontic Dentistry, Xiangya School and Hospital of Stomatology, Central South University & Hunan Key Laboratory of Oral Health Research, Changsha 410008, China

Corresponding author: Wang Xiangzhu, Email: wangxiangzhu_endo@csu.edu.cn

【Abstract】 Instrument separation is one of the most common complications of root canal treatment, and it is also a clinical problem that plagues many dentists. This article summarized the causes of root canal instrument separation, handling decisions, clinical disposal process, the removal techniques commonly used in clinics, and the post-treatment problems that may arise following root canal treatment. It aimed to investigate the rational disposal options for endodontic instruments that have been separated. In addition, this article also explored the specifications for removing separated instruments, so as to improve the success rate of treatment and

increase tooth survival.

【Key words】 Root canal treatment; Instrument separation; Complications

Fund program: Natural Science Foundation of Hunan Province (2021JJ40906)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2023.03.001

器械分离是根管治疗常见并发症,其临床发生率为0.25%~10.0%^[1-3],常给患者和临床医生带来困扰。首先,牙髓根尖周病的治疗是抗感染治疗,器械分离可能影响根管系统的清理成形,增加治疗失败的风险^[4-6]。其次,大部分患者和部分医生对器械分离的认知有限,患者担心治疗器械“遗留体内”会“危害身体健康”,医生则担心折断器械的“过错”可能引起纠纷或诉讼,从而导致医患沉重的心理负担。此外,器械分离发生以后,取出难度大,取出过程中可能造成二次治疗并发症。

目前,器械分离发生的原因和机制明确。很多学者对不同根管预备器械的抗折断性能进行了研究,旨在减少根管预备过程中器械分离的发生率^[7-11]。分离器械取出方法的研究则集中在取出工具的对比上^[12-16],对具体处置方法尤其是重度弯曲根管下段、超出根尖孔等难度较高分离器械的取出方法介绍较少。本文结合文献与笔者处理分离器械的临床经验,对分离器械发生的原因、临床决策和处置方法等进行再思考与总结,重点通过临床病例分析高难度分离器械的微创取出过程,以期为根管治疗器械分离的临床管理方法提供理论依据与技术参考。

一、器械分离发生的原因

器械分离发生的原因较复杂,一般包括操作者因素、患者因素和器械因素等^[17]。

1. 操作者因素^[18-19]:包括操作经验、技巧与规范。经验丰富的医生更能感知器械折断的风险,在处理复杂问题时可以有更多技巧完成操作。但是,

即便最有经验的临床医生也难以避免器械分离。所有操作者均应遵循器械的操作规范与治疗的基本原则,比如设置厂家推荐的转速和扭矩,使用冠向下等不易发生器械分离的预备技术,预备全程保持根管润滑和通畅,避免暴力及盲目操作。

2. 患者因素^[18]:根管系统具有复杂的解剖形态,可能存在重度弯曲、狭窄、钙化和其他异物等。此外,部分患者张口度不够、咽反射敏感、情绪紧张焦虑,或有其他不能长时间张嘴配合治疗的情况,都会增加根管治疗器械分离的发生率。

3. 器械因素:器械的材质、设计、品控和使用次数等均可能影响器械分离的发生^[20-22]。从机制上来说,器械折断的原因包括循环疲劳和扭转疲劳^[23-25]。循环疲劳常见于弯曲根管预备,器械在弯曲点外侧被反复拉伸,在弯曲点内侧被反复压缩,循环挠曲造成金属疲劳。扭转疲劳常见于细小钙化根管预备,器械尖段在根管内锁死,而器械持续旋转造成金属疲劳。同材质金属,直径越大柔韧性越差、刚性越强越容易因循环疲劳折断。因此,偏冠方的根管弯曲更易发生器械分离^[26]。

二、器械分离临床决策

对根管内分离器械,临床决策包括经根管内取出、通过根管外科手术取出、旁路法绕过分离器械、不予以干预和拔除患牙等。

目前,部分学者建议应该常规取出分离器械,因为分离器械会影响器械断面以下根管的清理与充填,可能造成根管治疗失败^[27-28]。此外,取出分离器械可以减轻医生与患者的心理负担,避免因此引发医疗纠纷^[29]。更多学者建议无须常规取出分离器械,认为将分离器械留在根管内的患牙预后没有区别,但是需要系统评估^[4,30],综合判断根管的感染状况,评估不取出引起的根管治疗失败风险和取出

的难度和风险。非感染根管或已完善预备的根管发生器械分离,不干预不会增加根管治疗失败的风险,仅需完成分离器械断面以上根管预备与充填。旁路绕过分离器械对根管预备与充填质量几乎没有影响^[31]。此外,需要评估分离器械的取出难度,包括器械位置、视野、型号、长度、材质、根管壁厚度、牙根凹面和弯曲情况、操作者的经验、取出器械需要的设备,以及患者的全身情况,是否能配合治疗等。

位于根尖或超出根尖孔的分离器械,若导致治疗失败或症状不缓解,经根管内不能取出时,可选择根管外科手术。器械分离不是拔牙的适应证,只有当患牙不能保留时,才需要拔除。

三、器械分离处置方法

器械分离病例应按术前评估、方案沟通、用物准备和临床操作的流程进行处置。

1. 术前评估:(1)评估患牙保留价值:检查牙体、牙髓、根尖周、牙周状况及全身状况。对于已发生牙根折裂、因重度牙周炎无法保留的患牙,建议拔除。(2)评估根管感染状况和根管预备完成情况:非感染根管、器械分离发生前已完善根管预备等情况下,可考虑不取出分离器械。(3)评估分离器械状况:通过病史或X线片分析分离器械位置、材质、长度与型号、器械是否洁净。建议器械分离病例术前同时拍摄根尖片及小视野锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT)。CBCT有助于三维评估分离器械的位置、长度和牙根的解剖状况,以及器械与牙根的位置关系^[32]。因受限CBCT放射伪影,根尖片通常更加便于判断分离器械材质与型号(图1)。(4)评估牙根解剖情况:通过X线片评估根管弯曲度、根管壁厚度和牙根凹面等。重度弯曲、根管壁薄和根面凹陷可能发生二次并发症,造成根管壁穿孔甚至牙根折裂。(5)取出方法的选

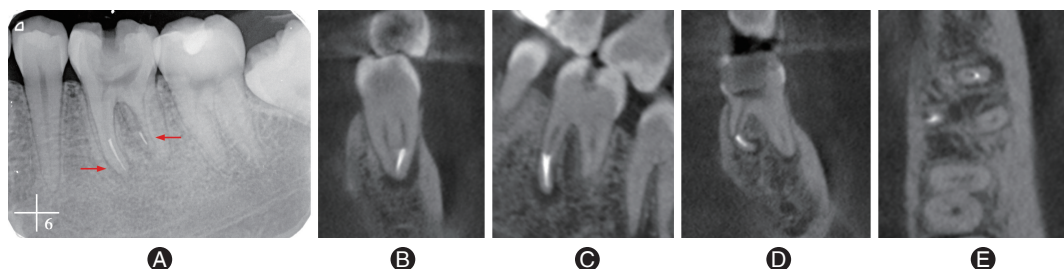


图1 根管内器械分离的根尖片与锥形束CT(CBCT)的不同表现 A:根尖片显示36近中、远中根根尖区各1段高密度异物影像(红色箭头示);B:CBCT冠状面显示36近中颊侧根管根尖区高密度影;C:CBCT矢状面显示36近中颊侧根管根尖区高密度影;D:CBCT冠状面显示36远中舌侧根管根尖区高密度影;E:CBCT轴面显示近中颊侧根管、远中舌侧根管内高密度影。可见根尖片更便于判断分离器械的密度及直径、锥度等形态特征,CBCT更便于评估根管的具体形态、分离器械在根管内的三维位置,二者通常缺一不可。

择:常用的器械分离取出技术和方法包括套管法、超声法等,应根据分离器械的情况评估取出的最佳方法。套管法一般在分离器械较长(≥ 4.6 mm)^[33]、视野较好、根管较直和根管壁较厚时使用;其他情况则可考虑使用超声法。但是,超声法取大锥度镍钛器械时更容易发生器械的二次分离或超声工作尖折断。此外,器械分离的取出建议在显微镜下操作以提高成功率,降低二次并发症发生率^[34]。无显微镜者可使用旁路法,通过分离器械旁边的间隙绕过后完成根管预备与根管充填。旁路绕过后,在根管预备时可能带出分离器械,也可尝试“编织法”取出^[35](图2)。(6)其他评估:包括患者情绪、经济状况,医生是否有取出分离器械必要的设备与经验。

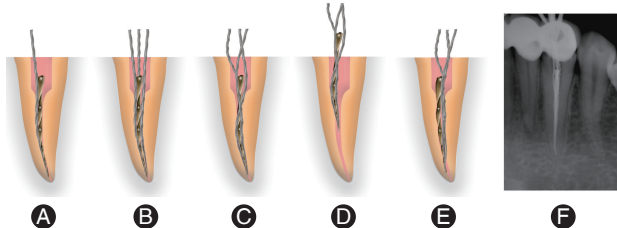


图2 编织法取分离器械示意图 A:用手用锉旁路绕过分离器械后进行根管预备;B:2支以上用手用锉从分离器械不同方向同时绕过分离器械;C:编织已经绕过分离器械的手用锉至感受到有轻微阻力,保持编织扭力并同时快速拔出所有用手用锉;D:分离器械被编织的手用锉带出根管;E:2支以上用手用锉即使在分离器械一侧进行编织,也可以产生较大的阻力便于带出分离器械;F:多支用手用锉绕过分离器械后编织的X线影像特征。

2. 方案沟通:(1)安抚患者情绪,告知器械分离是根管治疗的并发症,并非医疗事故,一般不会危害全身健康。(2)告知最佳治疗方案,“取”或“不取”的优缺点。(3)经评估“有必要取”,以及患者“强烈要求取出”的病例,告知治疗方案、风险、预后和费用等。(4)告知其他问题,如治疗中、治疗后的注意事项,后续治疗方案等。(5)签署治疗知情同意书。

3. 用物准备:分离器械的取出常需要准备以下用物。(1)牙科显微镜,含显微口镜、双弯探针、根管探针(DG16)和镊子等。(2)橡皮障套装,含橡皮布、橡皮障夹和橡皮障夹钳等。(3)高速手机及低速手机,含各类车针,GG钻等。(4)根管马达,含镍钛通道预备锉、平台预备锉等。(5)超声治疗仪,含各类超声工作尖如ET20、ET25和K15/K20等(超声法)。(6)分离器械提取套装(套管法)。(7)其他用物,如局麻药物、根管冲洗液、K锉、纸尖和吸引器等。

4. 临床操作:根据病例评估情况选择治疗方案,目前常用的分离器械取出方法包括套管/套索法、超声法等。

(1)套管/套索法(图3):①选择器械,根据分离器械的断面直径选择不同内径的环切钻与套管,按套管的外径选择不同型号的GG钻或镍钛器械。②通道预备,逐号预备分离器械上段根管通道,至环切钻及套管能轻松进入根管。③建立平台,使用改良GG钻或平台镍钛锉预备分离器械断面平台,须反复确认分离器械的断面位于平台最中心。④暴露与取出,使用环切钻沿分离器械预备,暴露0.7~2.4 mm以上分离器械后,使用提取器夹持分离器械后取出^[33]。

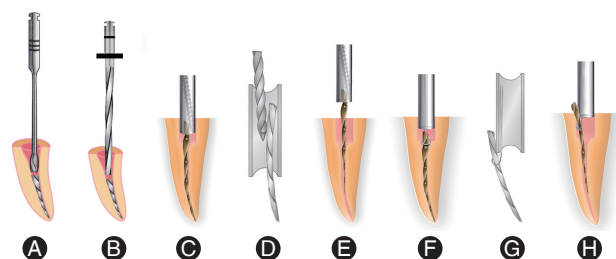


图3 套管/套索法取分离器械示意图 A:使用GG钻预备分离器械上段通道与断面平台;B:使用镍钛锉预备分离器械上段通道与断面平台;C:完全暴露一定长度分离器械后,使用套管提取器夹持;D:套管夹持的机械原理;E:套管夹持取出分离器械;F:完全暴露一定长度分离器械后,使用套索圈住分离器械;G:套索提取分离器械原理;H:套索拉紧并取出分离器械。

(2)超声法:①器械选择,选择合适的超声工作尖,可根据临床需要预弯、磨改工作尖尖端形态以便于楔入分离器械与根管壁之间(图4)。其他通道与平台预备器械同套管法。②预备通道与平台,同套管法逐号预备通道至分离器械断面,建立分离器



图4 尖端个性化预弯、磨改的超声工作尖 A:超声工作尖可根据根管的弯曲形态进行预弯;B~C:当分离器械与根管壁之间无明显间隙时,可将超声工作尖进行打磨使其更尖锐,便于在分离器械旁微创去除牙本质,松解分离器械;D~E:可将超声工作尖打磨成匙形,提高松解分离器械的效率。

横断面完全暴露的平台,但使用超声法无须断面在平台中心。③超声增隙,松解取出分离器械。根据术前CBCT提示的根管形态选择超声工作尖的入路与切削区域。

在取分离器械时,建议将根管形态分成三类(图5),不同形态的根管,超声工作尖的入路与切削区域不同。

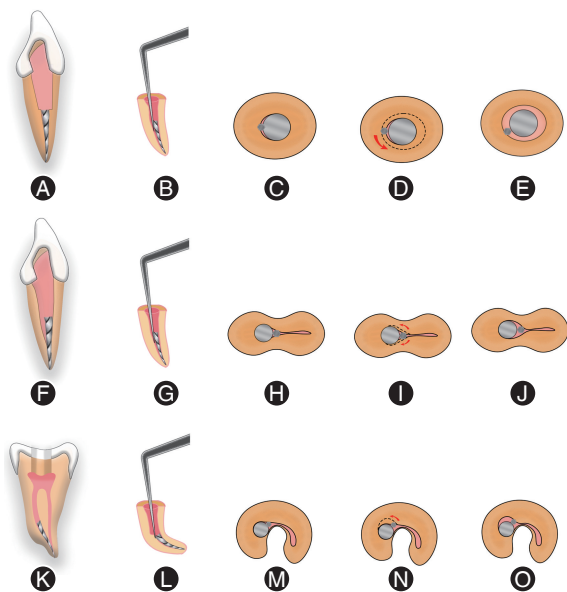


图5 超声法取不同形态根管内分离器械示意图 A~E:超声法取I类根管内分离器械示意图;F~J:超声法取II类根管内分离器械示意图;K~O:超声法取III类根管内分离器械示意图;A、F、K:纵面观不同形态根管内分离器械;B、G、L:纵面观超声工作尖切削位置;C、H、M:轴面观分离器械周围无间隙时超声工作尖主动切削器械周围牙本质,有间隙时被动进入狭区切削增隙;D、I、N:轴面观虚线区域为超声工作尖在不同形态根管内切削区域;E、J、O:轴面观粉色区域为去除分离器械周围牙本质后的间隙。

I类根管:为形态圆、直,管壁较厚的根管。分离器械周围常无明显间隙,超声工作尖可主动沿分离器械环锯,切削分离器械周围牙本质,直到分离器械松动脱出。

II类根管:为形态不规则,管壁较厚的根管。超声工作尖可被动进入狭区,沿狭区切削增加间隙,直到分离器械松动脱出。

III类根管:为“C型根”等具有明显根面凹陷的根管。为避免根管壁穿孔,超声工作尖应沿狭区往根管壁较厚一侧切削以增加间隙,直到分离器械松动脱出。

在增隙操作中,应使用小功率振荡,必要时使用17%乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、豆油等^[33, 36-37]进行冲洗,以软化牙本

质、冷却工作尖、润滑通道,避免热损伤,降低超声工作尖折断或分离器械二次折断风险。

(3)高难度分离器械的取出方法:当分离器械位于重度弯曲根管下段、超出根尖孔甚至完全位于根尖孔外时,因难以经根管获得分离器械视野,不能安全暴露分离器械断面,盲目操作容易造成根管壁穿孔,通常建议不干预、根管外科手术取出或拔除患牙。需要经根管取出时,可尝试一些特殊的技巧和工具。

重度弯曲根管下段的器械分离,在预备分离器械上段通道时,可适当去除弯曲相反方向的牙本质以减小根管弯曲度。但是分离器械与牙本质之间增隙时,需要去除分离器械与弯曲内侧根管壁之间的牙本质,因为去除分离器械弯曲外侧牙本质可能造成分离器械横躺,增加脱出根管难度(图6)。一般建议使用小直径的超声工作尖(如K15、K20等)沿根管弯曲方向预弯,工作尖尖端被动进入分离器械与弯曲内侧根管壁之间,加入豆油等冲洗液小功率振荡,直至分离器械松动并脱出。超声法取右上第一磨牙近颊根尖段分离器械操作见图7(包含手术操作视频)。超声法取左下第一磨牙远舌根管根尖段分离器械见图8。

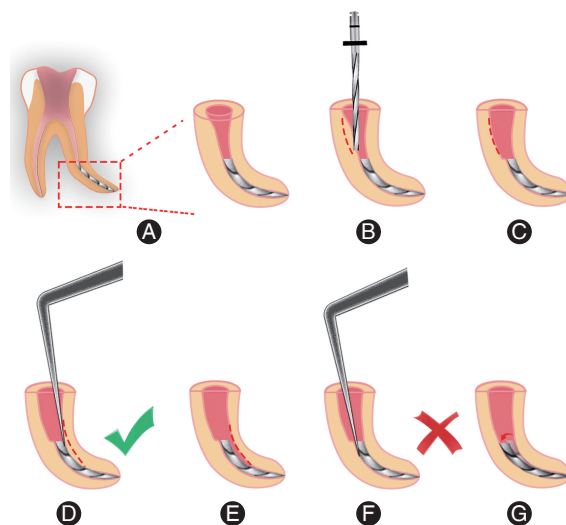


图6 超声法取重度弯曲根管下段分离器械示意图 A:重度弯曲根管下段器械分离;B:镍钛锉沿根管弯曲相反方向拉开上段通道;C:上段拉开后根管弯曲度相对减小;D:超声工作尖沿分离器械在弯曲内侧去除牙本质;E:去除内侧牙本质后分离器械逐渐松解;F:不建议在弯曲外侧增加间隙;G:沿分离器械外侧增加间隙会使分离器械横躺,增加取出难度。

难以获得超声工作尖楔入感时,可预弯8#C+锉沿分离器械周围探查,使用捻法或平衡力法疏通

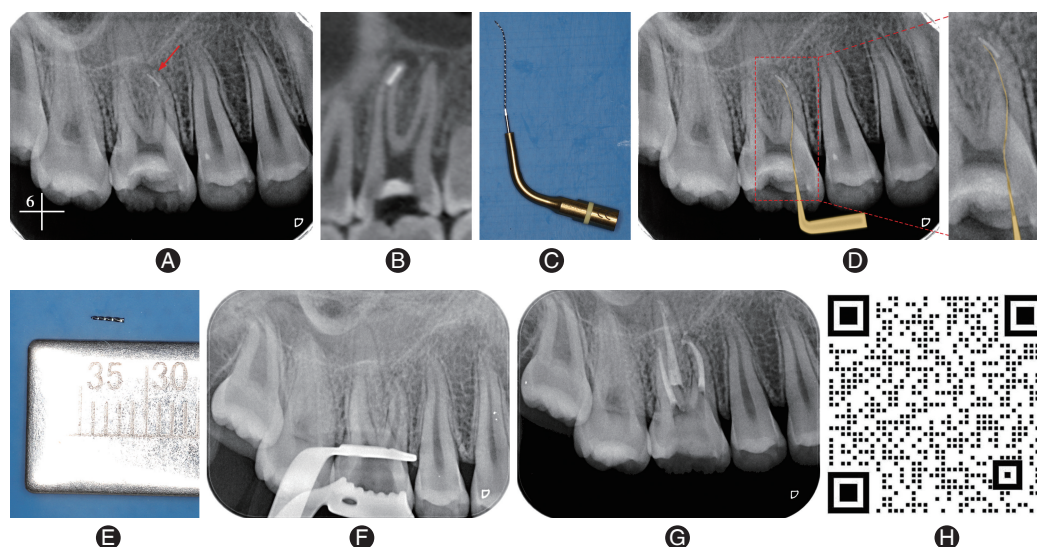


图7 超声法取右上第一磨牙近颊根管根尖段分离器械 A:根尖片显示16近颊根管根尖段重度弯曲,弯曲下段高密度影(红色箭头示);B:锥形束CT(CBCT)分析分离器械的长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系;C:沿根管弯曲方向预弯15#超声K锉;D:使用预弯超声锉在分离器械的弯曲内侧去除牙本质,松解分离器械并取出;E:取出的分离器械,长度约3 mm,蓝色镍钛材料;F:取出分离器械后根尖片显示根管内无残留;G:根充完成后根尖片;H:超声法取右上第一磨牙近颊根尖段分离器械操作视频(扫码观看)。

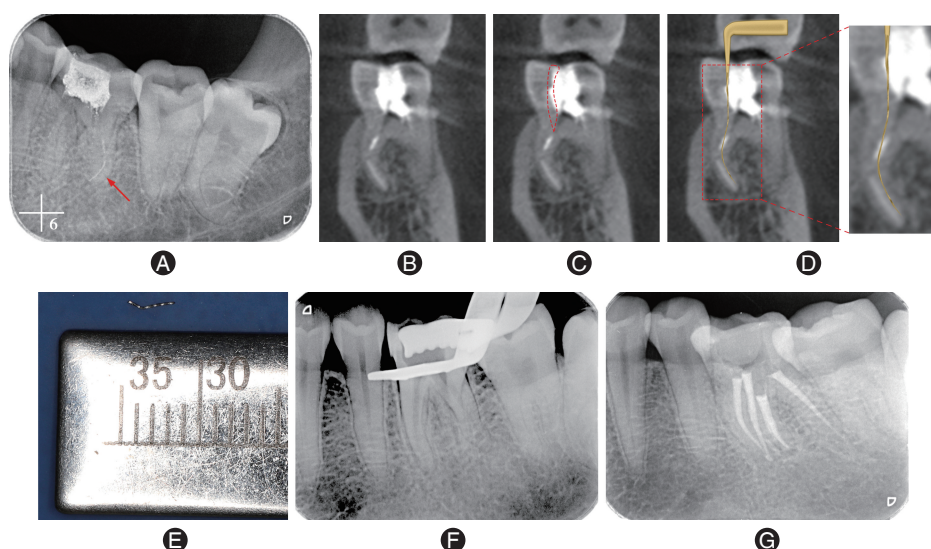


图8 超声法取左下第一磨牙远舌根管根尖段分离器械 A:根尖片显示36远舌根管根尖段重度弯曲,弯曲下段高密度影(红色箭头示);B:锥形束CT(CBCT)分析分离器械的长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系;C:CBCT分析取出远舌根尖段分离器械需去除的牙本质量;D:预弯10#~15#超声K锉,沿分离器械弯曲内侧去除牙本质,松解分离器械并取出;E:取出的分离器械,长度约4.5 mm,发生解螺旋的K锉;F:取出分离器械后根尖片显示根管内无残留;G:根充完成后根尖片。

旁路并逐号扩大通路,之后将超声荡洗锉被动通过通路,启动荡洗一般可以取出分离器械(图9)。一般来说,重度弯曲根管下段小于3.1 mm的分离器械均可使用超声法取出^[33,38]。

超出根尖孔或完全位于根尖孔外的分离器械,可使用吸引器、蟹爪钳(图10)、磁铁(图11)等工具或根尖手术等方法取出。

四、分离器械处理后的临床问题

在取出分离器械的操作过程中,常常不可避免地存在需要去除部分牙本质的处理,可能导致根管内形成台阶,根管壁因切削变得薄弱甚至发生根管壁穿孔,由于牙体组织抗力的降低,治疗后牙根折断的风险随之增加^[39]。在完成根管预备后,可以使用生物陶瓷类材料如MTA等进行根管充填和修补

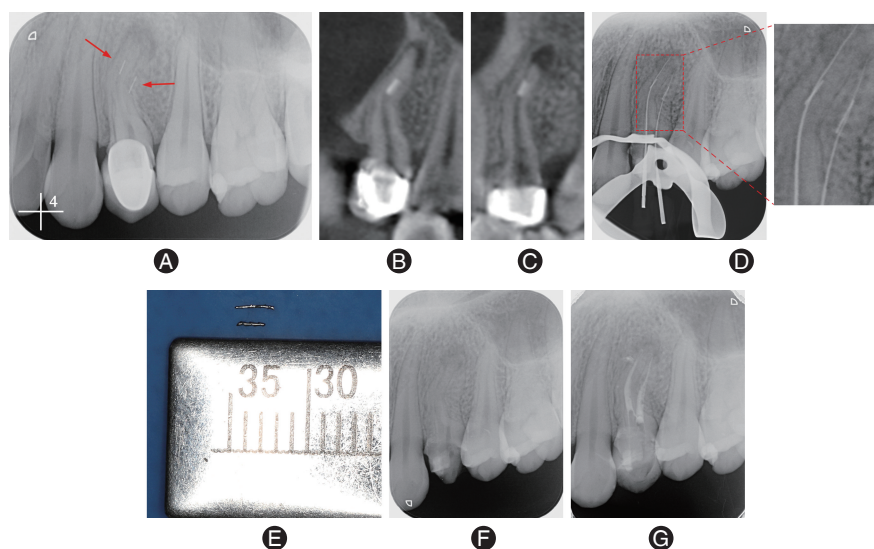


图9 旁路法取左上第一前磨牙根管中下段分离器械 A:根尖片显示24双根管均重度弯曲,弯曲下段各见一段高密度影(红色箭头示);B:锥形束CT(CBCT)分析颊侧根管内分离器械的长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系;C:CBCT分析舌侧根管内分离器械的长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系;D:预弯8# C+锉,沿分离器械旁路疏通根管,建立旁路后超声取出分离器械;E:取出的分离器械,长度分别约2 mm、2.5 mm;F:取出分离器械后根尖片显示根管内无残留;G:根充完成后根尖片。

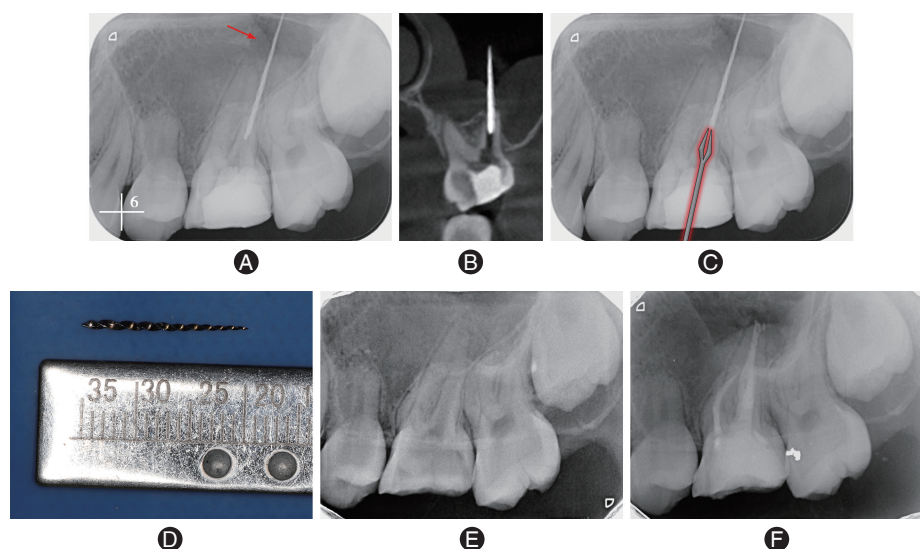


图10 蟹爪钳取左上第一磨牙远颊根超出根尖孔分离器械 A:根尖片显示26远颊根管内较长高密度影超出根尖孔(红色箭头示);B:锥形束CT(CBCT)分析器械长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系,见较长大锥度器械超出根尖孔,大部分位于上颌窦;C:超声松动分离器械后,蟹爪钳夹取分离器械末端并取出;D:取出的分离器械,长度约16.5 mm,大锥度镍钛锉;E:取出分离器械后根尖片显示根管内无残留;F:根充完成后根尖片。

穿孔。研究显示,MTA等这一类生物陶瓷类材料所具备以下特点和优点:(1)可在湿润环境下固化;(2)固化后发生微膨胀,产生根管充填整体化(monoblock)效果;(3)固化后具有高强度,增强牙根抗折性;(4)促进骨结合与牙周组织再生,良好的生物相容性;(5)维持根管内碱性环境发挥持续抑菌作用,能显著提高治疗的成功率和预后^[40-45]。治疗后密切随访必不可少,在随访期间患牙若出现根裂

的症状和体征,则提示可能存在拔牙指征,需拔除患牙并及时进行必要的修复。

五、总结与展望

目前,器械分离在临床实践中的发生率仍在较高的水平,为不断降低器械分离的发生率,规范化根管治疗技术得到了大力推广和普及。与此同时,专家建议可以通过减少根管预备器械的使用次数来达到预防器械分离的目的;尤其在预备重度弯曲或其他

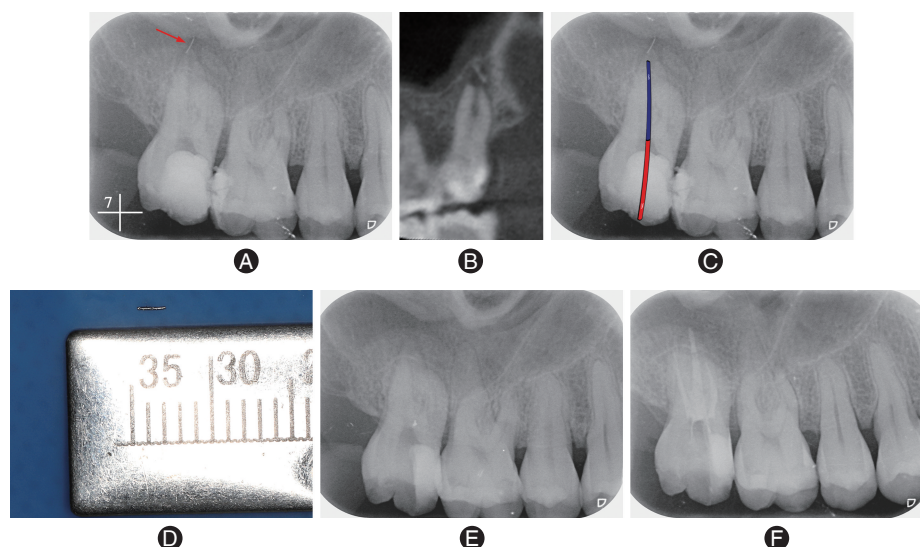


图11 磁铁吸引取右上第二磨牙腭根根尖孔外分离器械 A:根尖片显示17腭根根尖孔外高密度异物影(红色箭头示);B:锥形束CT(CBCT)分析器械长度、根管形态、分离器械与根管三维方向的位置关系,见较短高密度异物影位于根尖孔外;C:钕铁硼强磁棒吸引取出分离器械;D:取出的分离器械,长度约2 mm;E:取出分离器械后根尖片显示无残留;F:根充完成后根尖片。

疑难根管时,提倡“一次性使用”根管预备锉^[46-47]。许多根管锉生产者也在柄部加入了“一次性使用”的设计和改良。近年来,国产根管锉如雨后春笋涌现,具有较高的性价比,极大地降低了根管锉的使用成本。另外,在治疗器械研发上,包括根管锉在内的各种器械的抗折断性均在提高。根管治疗器械的折断与器械材料复杂受力原理密切相关,随着材料学的不断发展和学者们对材料破坏机制的认识不断加深,使得快速准确预测金属使用寿命成为可能^[48]。这些措施都能有效地减少器械分离的发生。

现阶段,取出分离器械的方法和技术均对可视、显微和微创有着较高的要求,对于位于弯曲根管下段的分离器械,由于普遍无法获得较好的直观视野,成功率更低。随着搭载CBCT等数据的导航技术持续发展,可进一步帮助医生在复杂的根管内获得精准导航和定位,将不断提高分离器械微创取出的成功率。强度更高、韧性更好的材料品类也在不断涌现,超声工作尖、套管等取分离器械的工具性能在不断优化,随着更纤细、更菲薄和更耐用的产品的铸造,临床处置也将变得更微创,根管壁穿孔、器械二次分离等并发症将显著降低。

最后,在临床工作中发现,取出分离器械最常见的原因和诉求主要集中在解决“医疗纠纷”和清除根管内感染上。现在,已经有越来越多的医生和患者认识到器械分离不属于医疗事故,通常不会影

响根管治疗的效果和预后。相信在不久的将来,将不再需要花费大量的精力、金钱和时间去担忧和取出根管内遗留的分离器械,这得益于不断更新的根管治疗理念和更多先进的清理设备的迭代^[38,49-50]。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

志谢 感谢研究生宋峥峥、马玥麟对本文绘图及文献检索的贡献,感谢谢晓莉教授、张剑英教授的指导

参 考 文 献

- [1] Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment [J]. J Endod, 2005, 31(12):845-850. DOI:10.1097/01.don.0000164127.62864.7c.
- [2] Wu J, Lei G, Yan M, et al. Instrument separation analysis of multi-used ProTaper Universal rotary system during root canal therapy [J]. J Endod, 2011, 37(6):758-763. DOI:10.1016/j.joen.2011.02.021.
- [3] Iqbal MK, Kohli MR, Kim JS. A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: A PennEndo database study [J]. J Endod, 2006, 32(11):1048-1052. DOI:10.1016/j.joen.2006.03.001.
- [4] Torabinejad M, Fouad A, Shabahang S. Endodontics principles and practice [M]. 6th ed. New York: Elsevier Health Sciences, 2020.
- [5] Lin LM, Rosenberg PA, Lin J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? [J]. J Am Dent Assoc, 2005, 136(2):187-193. DOI:10.14219/jada.archive.2005.0140.
- [6] Alrahabi M, Zafar MS, Adanir N. Aspects of clinical malpractice in endodontics [J]. Eur J Dent, 2019, 13(3):450-458. DOI:10.1055/s-0039-1700767.
- [7] Liu Y, Chen M, Tang W, et al. Comparison of five single-file

- systems in the preparation of severely curved root canals: An *ex vivo* study [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 649. DOI: 10.1186/s12903-022-02668-3.
- [8] Thu M, Ebihara A, Maki K, et al. Effect of different axial speed patterns on cyclic fatigue resistance of rotary nickel - titanium instruments [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 617. DOI: 10.1186/s12903-022-02639-8.
- [9] Tabassum S, Zafar K, Umer F. Nickel - titanium rotary file systems: What's new? [J]. Eur Endod J, 2019, 4(3): 111-117. DOI: 10.14744/eej.2019.80664.
- [10] Oh S, Seo JY, Lee JE, et al. Evaluation of design, mechanical properties, and torque/force generation of heat-treated NiTi glide path instruments [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 528. DOI: 10.1186/s12903-022-02575-7.
- [11] Pedir SS, Mahran AH, Beshir K, et al. Evaluation of the factors and treatment options of separated endodontic files among dentists and undergraduate students in riyyadh area [J]. J Clin Diagn Res, 2016, 10(3): ZC18-ZC23. DOI: 10.7860/jcdr/2016/16785.7353.
- [12] Madarati AA, Hunter MJ, Dummer PM. Management of intracanal separated instruments [J]. J Endod, 2013, 39(5): 569-581. DOI: 10.1016/j.joen.2012.12.033.
- [13] Wolcott S, Wolcott J, Ishley D, et al. Separation incidence of protaper rotary instruments: A large cohort clinical evaluation [J]. J Endod, 2006, 32(12): 1139-1141. DOI: 10.1016/j.joen.2006.05.015.
- [14] Uslu G, İnan U. Effect of glide path preparation with PathFile and ProGlider on the cyclic fatigue resistance of WaveOne nickel-titanium files [J]. Restor Dent Endod, 2019, 44(2): e22. DOI: 10.5395/rde.2019.44.e22.
- [15] Plotino G, Grande NM, Porciani PF. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: A clinical evaluation [J]. Int Endod J, 2015, 48(2): 199-205. DOI: 10.1111/iej.12302.
- [16] 杨殷杰, 侯本祥, 侯晓玫. 高压蒸汽灭菌对 R-相镍钛锉表面形态及疲劳折断性能的影响 [J]. 北京大学学报(医学版), 2018, 50(5): 882-886. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2018.05.020.
- [17] Hülsmann M. Research that matters - canal preparation, retreatment and working length studies [J]. Int Endod J, 2013, 46(4): 293-295. DOI: 10.1111/iej.12063.
- [18] Cheung GS, Oh SH, Ha JH, et al. Effect of torsional loading of nickel - titanium instruments on cyclic fatigue resistance [J]. J Endod, 2013, 39(12): 1593 - 1597. DOI: 10.1016/j.joen.2013.07.032.
- [19] McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Endodontic instrument fracture: Causes and prevention [J]. Br Dent J, 2013, 214(7): 341-348. DOI: 10.1038/sj.bdj.2013.324.
- [20] Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, et al. SEM observations of nickel - titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical Use [J]. J Endod, 2005, 31(1): 40-43. DOI: 10.1097/01.don.0000132301.87637.4a.
- [21] Gomes MS, Vieira RM, Böttcher DE, et al. Clinical fracture incidence of rotary and reciprocating NiTi files: A systematic review and meta-regression [J]. Aust Endod J, 2021, 47(2): 372-385. DOI: 10.1111/aej.12484.
- [22] Lee JY, Kwak SW, Ha JH, et al. Mechanical properties of various glide path preparation nickel-titanium rotary instruments [J]. J Endod, 2019, 45(2): 199-204. DOI: 10.1016/j.joen.2018.10.017.
- [23] Kosti E, Zinelis S, Molyvdas I, et al. Effect of root canal curvature on the failure incidence of ProFile rotary Ni - Ti endodontic instruments [J]. Int Endod J, 2011, 44(10): 917-925. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2011.01900.x.
- [24] Wang NN, Ge JY, Xie SJ, et al. Analysis of Mtwo rotary instrument separation during endodontic therapy: A retrospective clinical study [J]. Cell Biochem Biophys, 2014, 70(2): 1091-1095. DOI: 10.1007/s12013-014-0027-0.
- [25] Feghali M, Xhajanka E, Di Nardo D, et al. Incidence of different types of intracanal fracture of nickel - titanium rotary instruments: A systematic review [J]. J Contemp Dent Pract, 2021, 22(4): 427-434.
- [26] Alghamdi S, Huang X, Haapasalo M, et al. Effect of curvature location on fatigue resistance of five nickel - titanium files determined at body temperature [J]. J Endod, 2020, 46(11): 1682-1688. DOI: 10.1016/j.joen.2020.06.041.
- [27] Hülsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal [J]. Endod Dent Traumatol, 1999, 15(6): 252-258. DOI: 10.1111/j.1600-9657.1999.tb00783.x.
- [28] Bergenholtz G, Hörsted - Bindslev P, Reit C. Textbook of endodontology [M]. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2003.
- [29] McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. Clinical decision-making after endodontic instrument fracture [J]. Br Dent J, 2013, 214(8): 395-400. DOI: 10.1038/sj.bdj.2013.379.
- [30] Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences [J]. J Endod, 2006, 32(11): 1031 - 1043. DOI: 10.1016/j.joen.2006.06.008.
- [31] Saunders JL, Eleazer PD, Zhang P, et al. Effect of a separated instrument on bacterial penetration of obturated root canals [J]. J Endod, 2004, 30(3): 177-179. DOI: 10.1097/00004770-200403000-00012.
- [32] Kalogeropoulos K, Xiropotamou A, Koletsis D, et al. The effect of cone - beam computed tomography (CBCT) evaluation on treatment planning after endodontic instrument fracture [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(7): 4088. DOI: 10.3390/ijerph19074088.
- [33] Terauchi Y, Ali WT, Abielhassan MM. Present status and future directions: Removal of fractured instruments [J]. Int Endod J, 2022, 55(Suppl 3): 685-709. DOI: 10.1111/iej.13743.
- [34] Fu M, Zhang Z, Hou B. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: A retrospective analysis of treatment outcome [J]. J Endod, 2011, 37(5): 619-622. DOI: 10.1016/j.joen.2011.02.016.

- [35] Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals [J]. *Int Endod J*, 2005, 38(2): 112-123. DOI:10.1111/j.1365-2591.2004.00916.x.
- [36] Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic streaming and its possible role [J]. *J Endod*, 1987, 13(10): 490-499. DOI: 10.1016/s0099-2399(87)80016-x.
- [37] Sahasrabudhe S, Rodriguez - Martinez V, O' meara M, et al. Density, viscosity, and surface tension of five vegetable oils at elevated temperatures: Measurement and modeling [J]. *J Food Prop*, 2017, 20(S2): S1965-S1981. DOI: 10.1080/10942912.2017.1360905.
- [38] Terauchi Y, Sexton C, Bakland LK, et al. Factors affecting the removal time of separated instruments [J]. *J Endod*, 2021, 47(8): 1245-1252. DOI: 10.1016/j.joen.2021.05.003.
- [39] Fu M, Huang X, Zhang K, 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. DOI: 10.1016/j.joen.2019.08.009.
- [40] Hatibović - Kofman S, Raimundo L, Zheng L, et al. Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate [J]. *Dent Traumatol*, 2008, 24(3): 272-276. DOI: 10.1111/j.1600-9657.2007.00541.x.
- [41] Topçuoğlu HS, Arslan H, Keleş A, et al. Fracture resistance of roots filled with three different obturation techniques [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2012, 17(3): e528-e532. DOI: 10.4317/medoral.17518.
- [42] Tuna EB, Dinçol ME, Gençay K, et al. Fracture resistance of immature teeth filled with BioAggregate, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide [J]. *Dent Traumatol*, 2011, 27(3): 174-178. DOI: 10.1111/j.1600-9657.2011.00995.x.
- [43] Bortoluzzi EA, Souza EM, Reis JM, et al. Fracture strength of bovine incisors after intra - radicular treatment with MTA in an experimental immature tooth model [J]. *Int Endod J*, 2007, 40(9): 684-691. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2007.01266.x.
- [44] Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, et al. Endodontic sealers based on calcium silicates: A systematic review [J]. *Odontology*, 2019, 107(4): 421-436. DOI: 10.1007/s10266-018-0400-3.
- [45] Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, et al. Comprehensive review of current endodontic sealers [J]. *Dent Mater J*, 2020, 39(5): 703-720. DOI: 10.4012/dmj.2019-288.
- [46] Arens FC, Hoen MM, Steiman HR, et al. Evaluation of single-use rotary nickel-titanium instruments [J]. *J Endod*, 2003, 29(10): 664-666. DOI: 10.1097/00004770-200310000-00013.
- [47] Bueno CSP, Oliveira DP, Pelegrine RA, et al. Fracture incidence of WaveOne and Reciproc files during root canal preparation of up to 3 posterior teeth: A prospective clinical study [J]. *J Endod*, 2017, 43(5): 705 - 708. DOI: 10.1016/j.joen.2016.12.024.
- [48] 丁发兴, 吴霞, 余志武. 工程材料损伤比强度理论[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
- [49] Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, et al. Healing of periapical lesions after endodontic treatment with the GentleWave procedure: A prospective multicenter clinical study [J]. *J Endod*, 2018, 44(3): 510-517. DOI: 10.1016/j.joen.2017.12.004.
- [50] Wright CR, Glickman GN, Jalali P, et al. Effectiveness of gutta-percha/sealer removal during retreatment of extracted human molars using the GentleWave system [J]. *J Endod*, 2019, 45(6): 808-812. DOI: 10.1016/j.joen.2019.02.009.

(收稿日期:2023-02-08)

(本文编辑:王嫚)