

# 根管治疗中器械分离的预后评估与处理决策

黄卓 乔玮玮 王莉

武汉大学口腔医(学)院牙体牙髓一科,武汉 430079

通信作者:王莉,Email:dentist-wang@whu.edu.cn



王莉

**【摘要】** 器械分离是根管治疗中的常见并发症,其预后取决于根尖周状态及器械分离位置等多因素。活髓牙或无根尖周炎病例中,保留器械并严密充填通常预后良好;而在感染根管或存在根尖周炎时,器械取出及必要的牙髓外科干预更具意义。随着显微技术、超声、锥形束CT(CBCT)及人工智能等新兴手段的发展,器械分离的诊

断与处理日益精细化,但仍需更多循证研究支持。本文以现有证据结合临床经验进行分析与归纳,以期临床决策提供参考。

**【关键词】** 根管治疗并发症; 器械分离; 治疗决策

**基金项目:** 国家自然科学基金(82501089)

**引用著录格式:** 黄卓,乔玮玮,王莉.根管治疗中器械分离的预后评估与处理决策[J/OL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2025,19(6):360-368.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.06.002

## Prognosis assessment and management decisions for separated instruments in endodontic treatment

Huang Zhuo, Qiao Weiwei, Wang Li

Department of Cariology and Endodontics I, School and Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Corresponding author: Wang Li, Email: dentist-wang@whu.edu.cn

**【Abstract】** Instrument separation is a common complication in endodontic treatment, and its prognosis depends on multiple factors, including the periapical status and the location of the separated instrument. In teeth with vital pulp or without periapical lesions, retaining the instrument followed by careful root canal obturation generally results in a favorable prognosis. In contrast, for infected canals or those with periapical periodontitis, instrument removal and, when necessary, endodontic surgical intervention are more clinically significant. With the development of advanced techniques such

as dental microscopy, ultrasonics, cone-beam computed tomography (CBCT), and artificial intelligence, the diagnosis and management of separated instruments have become increasingly precise. Nevertheless, further evidence-based research is required. This article analyzes and summarizes the existing evidence in combination with clinical experience to provide a reference for clinical decision-making.

**【Key words】** Endodontic complications; Instrument separation; Treatment decision-making

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (82501089)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.06.002

器械分离是根管治疗常见的并发症,其发生与根管解剖复杂度、器械使用规范及医师操作技术密切相关;尽管随着镍钛器械材质升级、设计优化、医师技术操作规范完善及临床经验积累,器械分离的发生率已显著降低,但这一并发症仍无法完全杜绝,尤其在复杂根管病例中,分离器械的取出仍面临较高技术挑战。器械分离发生后,临床医师需评估并决策:尝试取出折断器械、采取旁路操作,还是选择保留分离器械。这一决策不仅考验医师的技术熟练度,更是对其临床判断力和预后评估能力的综合考量。因此,本文旨在结合最新的循证研究与临床经验,探讨器械分离后的预后评估逻辑,并提供系统化的决策思路,帮助临床医师在权衡风险与收益后,做出最有利于患者的治疗选择。

一、器械分离的发生:从流行病学到病因学的审视

器械分离是根管治疗过程中常见而又难以完全避免的并发症,其重要性在于它不仅代表了治疗过程中的操作风险,还可能直接影响根管系统的清理和预后。为了全面理解这一现象,有必要从流行病学特征与病因学机制两个方面进行系统审视。

从流行病学角度看,大量研究显示器械分离并非偶发事件,而是一种普遍存在的风险。在不同研究环境和人群中,其发生率存在一定差异。总体而言,常规临床实践中器械分离的发生率多为0.5%~7%<sup>[1-3]</sup>。在研究生培养体系内,即使由相对熟练的年轻医师操作,分离率仍维持在1%~5%的水平<sup>[2,4]</sup>。而在本科教育或初学者的操作中,器械分离更为常见,部分调查显示这一比例可超过10%<sup>[5-7]</sup>。这种差异不仅反映了操作者经验的影响,也揭示了器械分离的发生具有明显的群体特征。换言之,虽然临床医师都有可能遇到器械分离,但其风险大小在不同的操作群体中存在显著差异。值得注意的是,分离率的差异还与研究设计、样本构成及使用的器械系统相关。病例回顾性研究、随机临床试验或教学医院的数据常常得出不同的数值,手用器械与机用器械之间也存在差别。即使在相同型号的旋转镍钛器械中,随着使用次数的增加,其断裂风险也呈显著上升趋势<sup>[4,8-10]</sup>。这表明,器械分离的发生率并非单一固定值,而是一个受多重变量影响的动态结果。

在病因学层面,器械分离的发生是器械性能、操作者因素、根管解剖复杂性及操作习惯等多种因素共同作用的结果。

1. 器械性能:镍钛器械的柔韧性使其适合复杂根管的预备,但其主要缺陷在于疲劳性断裂常常缺乏预警信号。断裂通常由循环疲劳与扭转疲劳两种机制引起:前者源于器械在弯曲根管中旋转时受到的交替拉伸与压缩,微裂纹逐渐扩展最终导致断裂;后者则多见于器械尖端卡入根管壁而机头继续旋转,超过金属的抗扭强度后发生折断<sup>[9,11-12]</sup>。相比之下,不锈钢器械的断裂多在外力作用下发生,相对更容易被预判,而镍钛器械往往在低外力下突然折断,更具不可预测性<sup>[11]</sup>。此外,重复使用和长时间操作会加速金属疲劳的累积,进一步提高分离风险。

2. 操作者因素:操作者经验和操作方式也是关键影响因素。经验不足的医师在面对狭窄、弯曲或钙化根管时,常常因未能建立顺畅的通道、过度施力或缺乏适当的冲洗与润滑而增加器械应力,从而显著提高分离发生率<sup>[5-6,13]</sup>。这也解释了为何在学生或初学者操作中,器械分离发生率更高。即便在规范化培训体系中,器械分离的风险也无法完全消除,提示其在临床教学中需要重点防范和反复强调。

3. 根管解剖复杂性:根管解剖学特征同样在器械分离中发挥着不可忽视的作用。弯曲角度大、半径小、根管狭窄或存在钙化等因素都会使器械在操作过程中承受更大的机械应力,从而显著增加断裂可能性<sup>[3,5,8]</sup>。这种“解剖负担”不仅对器械提出更高要求,也对操作者的判断和操作技巧提出挑战。在许多病例中,即便操作完全遵循规范,因解剖条件特殊,仍可能出现器械分离。其中,乳牙由于髓腔形态与恒牙不同、根管壁相对较薄且常伴生理性根吸收,这些特征在一定程度上改变了器械在根管内的受力模式,使乳牙病例在器械断裂的力学机制与风险因素上与恒牙存在差异<sup>[14-16]</sup>。

4. 操作习惯:不合理的操作习惯也会增加风险。例如未建立通畅通道就直接使用机用器械、忽视冲洗和润滑而造成碎屑堆积,或在同一根管段长时间操作。对根管壁施加过大的侧向压力、忽略器械使用寿命等行为,同样会加速器械疲劳<sup>[11,17-18]</sup>。因此,良好的操作规范是降低器械分离风险的重要保障,而这依赖于系统化的培训和持续的临床警觉。

综合以上流行病学与病因学证据,可以看到器械分离并非单一因素所致。它是一种具有一定概率且无法完全避免的临床事件,即便是经验丰富的临床医师,在面对复杂解剖或器械疲劳时,仍有可能遭遇分离事件<sup>[19-21]</sup>。因此,对器械分离的正确认识应当是:它是一种临床现实,而非单纯反映操作失误的标签。这样的理解不仅有助于减少对医师的非理性评价,也为后续的预防和管理策略提供了更为客观的基础。

在器械分离发生的病因机制与流行病学特征得到初步厘清之后,更为重要的临床问题在于其对根管治疗预后究竟产生了何种影响。事实上,越来越多的证据显示,分离本身并非决定性因素,关键在于其是否导致了根管系统清理不充分,以及是否引发或加重了根尖周病变。

## 二、预后评估的核心:根尖周炎的决定性作用

当根管治疗过程中发生器械分离时,临床首要任务是进行系统的预后评估,而非立即尝试取出分离器械。这一评估的核心,在于判断患牙术前是否存在根尖周炎,以及根尖周组织的炎症程度和范围。大量临床研究和系统综述均表明,根尖周状态是决定器械分离后治疗预后的关键因素<sup>[1,19,21-23]</sup>。

在尚未感染的活髓牙或牙髓感染较局限、尚未波及根尖周组织的情况下,滞留的分离器械对治疗

成功率的影响通常较小。多项研究显示,如果牙髓在器械分离前仍处于活性状态,且根尖周尚未受累,分离器械本身并不会显著降低治疗的长期成功率<sup>[1,19,21]</sup>。然而,器械的分离位置及是否形成机械性阻塞对预后具有关键作用:当分离器械位于根管中段且未阻断根管通路或能够建立旁路时,愈合率与未分离病例相近<sup>[19,21]</sup>;而位于根管冠部的分离器械可能导致该根管清理不充分,从而增加残余感染及治疗失败的风险,因此临床指南通常建议尽可能取出冠部的分离器械<sup>[1,21,24]</sup>;反之,若分离器械位于根尖1/3段并阻塞根管通路,使根尖段区域无法充分清理与密封,则愈合率明显下降<sup>[19,21]</sup>。传统根尖片、锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)研究及临床随访进一步证实,在可疏通至根尖且根尖周未受累的牙齿中,滞留器械通常不会明显妨碍根管的有效清理与充填<sup>[20,23,25-26]</sup>。因此,从临床操作的角度来看,这类病例可采用稳妥的保守策略,重点在于维持原有根管系统完整性,无须为追求器械取出而增加额外风险。

然而,对于伴有根尖周炎的牙齿,情况则截然不同。在这些病例中,根管系统的彻底清创和消毒是治疗成功的基础。如果器械分离发生在这类感染根管中,它可能阻碍器械、冲洗液及消毒药物到达根尖部位,从而降低根管消毒的完整性,增加残余微生物存活的风险<sup>[1,19,27-28]</sup>。系统评价显示,根尖周炎患牙若伴有分离器械,其愈合率明显低于无分离器械的病例<sup>[19]</sup>。这提示在感染根管中,根尖周炎的存在是预后不确定性的的重要因素,而器械分离本身是加重这一风险的因素,而非唯一原因。

器械分离发生的阶段也对预后具有一定影响。如果发生在根管预备的早期,即根管内微生物尚未被充分清除阶段,器械的阻塞风险会显得尤为关键,可能导致根管内残余感染加重,增加根尖周组织炎症的程度<sup>[27,29-30]</sup>。相反,如果分离发生在根管预备后期,大部分感染已经被控制,那么分离器械对消毒效果的影响相对有限,愈合率下降幅度也相对较小<sup>[29,31]</sup>。这提示临床医师在评估预后时,不仅要考虑分离器械的存在,还应综合其发生时机、感染程度及根尖周炎的状态。

根管解剖的复杂性也是影响预后的重要因素。弯曲、狭窄或钙化不仅增加器械分离风险,也限制了清创和冲洗液的到达范围,使感染更难以控制<sup>[5,28,31-32]</sup>。在这种情况下,即便滞留器械较小,其阻

碍作用也可能导致根管消毒不足,从而降低治疗成功率。因此,对于根管形态复杂的感染牙,根尖周炎的严重程度与分离器械的相对位置共同决定了预后评估的核心。

三维影像学在预后评估中提供了重要支持。传统的二维根尖片受限于投影角度和重叠结构,难以准确显示分离器械的位置及其与根尖病变的关系<sup>[26,33-34]</sup>。相比之下,CBCT能够清晰呈现根管系统的三维结构,精确评估分离器械是否位于感染高风险区,以及其对根尖周组织的潜在阻碍作用。因此,CBCT在器械分离后的预后评估中被广泛推荐,尤其是在判断是否存在感染或评估是否有必要尝试取出分离器械时<sup>[23,25-26,33,35]</sup>。

此外,值得注意的是,乳牙病例的预后评估标准与恒牙并不完全相同。乳牙根尖下方直接毗邻继承恒牙牙胚,若滞留的分离器械伴随持续性根尖周炎症,可能对恒牙牙胚发育造成不良影响,如釉质发育不全、牙胚移位或继承恒牙萌出异常<sup>[36]</sup>。同时,乳牙根尖吸收的生理特征及患儿依从性较差,也限制了对滞留器械的长期观察与随访可行性。因此,在乳牙病例中,预后评估除考虑感染控制外,还应将继承恒牙的发育安全性作为首要指标。当无法确保长期随访复查或根尖周病变存在持续风险时,即便临床症状暂时缓解,也应谨慎评估保留患牙的合理性。已有关于乳牙中分离器械管理的综述与病例报道指出,在无法保证随访或存在持续感染风险时,需更加倾向于采取积极干预以避免继承恒牙受累<sup>[14-16,36]</sup>。

综合现有证据,可以得出以下重要结论:第一,在恒牙根管治疗病例中,若无感染或感染未波及根尖周组织,分离器械对预后影响有限,可采取保守策略<sup>[1,21-22]</sup>;第二,在伴有根尖周炎的病例中,器械分离可能阻碍根管消毒,增加残余感染风险,显著提高预后不确定性<sup>[19,23,26,28]</sup>;第三,分离器械发生的时机、位置及根管解剖复杂性共同决定其对治疗成功率的影响<sup>[12,27,30-32]</sup>;第四,CBCT为评估器械分离与根尖周炎的关系提供了关键影像依据,可指导临床决策<sup>[23,25-26,33-35]</sup>;第五,乳牙病例因根尖吸收、生理替换及继承恒牙牙胚的特殊性,其预后评估标准应区别于恒牙,除感染控制外,更应将继承恒牙的发育安全性纳入核心考量<sup>[14-16,36]</sup>。因此,在充分认识根尖周炎对预后的决定性作用,以及不同牙种的生物学差异后,临床医师应结合感染状态、分离器械的位置、

解剖条件及影像学评估,制定个体化、风险可控的治疗决策。

### 三、临床决策:保留、取出还是根管外科手术?

在完成根尖周炎及根管状态的预后评估后,临床决策的核心任务是选择最合适的处理策略:保留、取出或根管外科手术<sup>[31,37-39]</sup>。这一决策不仅取决于牙齿的感染程度,还需综合考虑分离器械的位置、大小、根管弯曲情况、根管壁厚度、患者意愿及临床操作的风险与难度。

1. 保留:保留策略主要适用于非感染的根管(如正常牙髓因修复需求或牙体预备误入髓腔等情形进行根管治疗的患牙)或感染尚未扩展到根尖周组织的情况。研究显示,在这些情况下,即便存在分离器械,治疗预后通常无明显影响<sup>[29,40]</sup>。此外,强行取出分离器械可能增加不必要的风险,例如根管穿孔、牙本质过度去除、牙根变脆弱,甚至增加根折的发生率<sup>[12,41]</sup>。保留策略的典型适应证包括分离器械位于根尖1/3段,或位于弯曲且操作难度较大的根管中。同时,必须与患者充分沟通确认,确保他们理解长期随访的需求。

操作要点包括彻底清洁和充填分离器械上方的根管部分,并进行严格随访,定期开展临床和影像学检查。临床观察显示,在中长期随访中(部分病例超过5年),保留分离器械的牙齿依然能够维持良好功能,提示在适宜条件下,保留策略是安全可行的<sup>[20,38-39,42]</sup>。

2. 取出:当牙齿存在根尖周炎时,取出分离器械通常是必要的,以保证根管末端的彻底清创和消毒,从而促进根尖周病变的愈合<sup>[29-30,38-39]</sup>。取出策略的成功率受多个因素影响,包括分离器械的位置、大小、根管形态及操作技术。器械位置对取出难度至关重要。位于冠部或根管直线段、中段的分离器械,因可直接暴露于操作视野,取出相对容易<sup>[22,38,43]</sup>;而根尖1/3段,尤其是弯曲根管中的分离器械,技术难度和风险显著增加<sup>[37-38,44]</sup>。分离器械的长度和直径也直接影响取出可能性,通常较小的分离器械更易被微创取出<sup>[38,42]</sup>。现代技术大幅提高了取出器械的成功率。牙科手术显微镜、超声器械及专用根管分离器械取出系统,使微创操作成为主流<sup>[22,30-31,40,43,45-46]</sup>。

操作要点包括术前利用CBCT进行三维评估,明确分离器械的位置、长度、周围牙本质厚度及根管弯曲情况<sup>[46-48]</sup>;相应选择超声、环钻(Trephine burs)或使用专用取分离器械系统进行分离器械的

松动和取出<sup>[40,49-50]</sup>。在操作过程中,必须注意避免过度去除牙本质,以减少牙根变脆弱和根折的风险<sup>[41,44,51-52]</sup>。尽管技术成熟,但分离器械取出操作仍存在潜在并发症,如根管穿孔、牙根裂纹甚至分离器械向根尖外移等<sup>[53-56]</sup>。因此,临床前应充分评估成功率,并与患者充分沟通风险。

3. 根管外科手术:当尝试取出失败或操作风险被评估为过高时,根管外科手术可作为合理的备选方案,用以直接清除根尖病灶或解除持续感染源,从而维持牙列的整体健康与功能<sup>[31,38-39,49,55,57]</sup>。根管外科手术可清除病灶、清洁根管末端并充填,绕过分离器械阻碍,实现对感染区的直接处理<sup>[18,55,57]</sup>。术前CBCT评估对根管外科手术计划制定至关重要,可以清晰显示器械位置、根尖病变范围及邻近解剖结构,从而指导手术路径<sup>[47-48]</sup>。在某些病例中,如果根尖周炎无法通过常规或微创技术控制,且牙齿结构脆弱,可能需要考虑拔牙后种植修复的方案。这类决策需要综合患者全身健康状况、口腔功能需求及经济承受能力,确保处理方案的安全性和可行性<sup>[31,38-39]</sup>。

无论采取哪种策略,术者经验和操作技术是影响治疗成功的重要因素。微创技术的推广,如超声器械结合显微镜,可在不损伤过多牙本质的情况下松动分离器械,显著降低对牙根抗折强度的影响<sup>[22,30,41,43,51-52]</sup>。术前充分沟通和随访计划同样不可或缺。对于保留策略,应定期影像学评估根尖周炎消退情况,确保未发生病情恶化;对于取出或根管外科手术策略,术前向患者解释可能并发症,如根管穿孔、牙根折裂、取出失败及术后根尖周炎复发风险<sup>[30-31,42,47]</sup>。在必要时,可结合三维导航系统进行精确操作,提高安全性和成功率<sup>[58]</sup>。

4. 乳牙病例的决策特殊性:在乳牙根管治疗中,器械分离的处理原则与恒牙存在显著差异。乳牙根壁薄、根尖存在生理性吸收,且儿童患者依从性有限,使得“保留分离器械”在临床上风险更高、可行性更低。临床病例报道及相关综述提示,在确保不损伤继承恒牙牙胚的前提下,应优先尝试取出分离器械;若取出困难、分离器械位于根尖1/3且伴有感染风险,或患儿无法进行长期复查时,应考虑拔除患牙,以消除对继承恒牙发育的潜在影响<sup>[14-16,36]</sup>。因此,乳牙病例的临床决策应以继承恒牙的发育安全为首要目标,而非单纯追求乳牙的保留。

综上所述,临床决策的制定应基于对根尖周状

态、分离器械位置及牙根结构等关键因素的系统评估,同时综合技术条件与患者依从性进行个体化权衡。对于活髓牙且无根尖周炎的病例,保留策略通常为首选方案;若存在根尖周感染,则应优先尝试安全取出分离器械;当取出失败或伴随较高风险时,根管外科手术或拔除成为必要的替代选择。在乳牙病例中,决策原则以继承恒牙发育安全为首要考量,在感染风险高或无法随访时,倾向于取出分离器械或拔除患牙。此外,术前CBCT精确评估、显微辅助下的微创操作,以及标准化的根管预备流程,是确保不同决策路径成功实施的基础。

#### 四、临床实践中的决策流程

发生器械分离后,临床医师需要作出合理、系统的判断。由于分离器械可能改变根管系统的形态,阻碍根尖部清创与消毒,处理策略的选择直接决定了预后。因此,建立一个科学、可操作的决策流程尤为关键。

1. 第一步:确认分离。一旦发现旋转阻力骤增或器械断裂,应立即停止进一步操作,避免将分离的器械推挤至根尖或穿出根管。随后应利用根管口的直视、显微镜检查,以及根尖片或CBCT来确认折断器械的位置、长度、直径及其与根管壁的关系。尤其是CBCT的应用,不仅能够三维空间中准确显示分离器械所在位置,还能评估周围牙体组织和根尖周状态,为后续决策提供客观依据<sup>[48,59,60]</sup>。

2. 第二步:评估预后。大量研究表明,根尖周炎的存在与否是决定性因素。如果牙齿为活髓或感染未及根尖周组织,分离器械对长期存活率的影响并不明显;相反,如果存根尖周炎,器械阻挡往往导致根管末端清创不彻底,从而显著增加治疗失败的风险<sup>[19,29,31,42]</sup>。因此,在决策之前,必须结合临床症状、影像学表现和病史综合判断。

3. 第三步:制定方案。临床上主要有三类路径,分别是保留、取出或在取出失败及风险过高时通过根管外科手术或拔牙等方式进行再治疗。

对于活髓牙或无根尖周炎的情况,最安全且被广泛接受的做法是保留器械。研究显示,在这些病例中,只要能确保器械上方的根管系统得到充分清理与充填,牙齿的长期存活率与无分离器械的病例相近<sup>[1,38,42]</sup>。此时的关键在于患者沟通,应明确解释分离的性质和对预后的影响,并建立定期随访机制,以便监测潜在的病变变化。

对伴有根尖周炎的牙齿,情况则更为复杂。如

果伴有根尖周炎,单纯保留器械的风险较大。此时需仔细权衡是否尝试取出。影响取出可行性的主要因素包括:分离器械所在位置(直线段或弯曲段)、根管弯曲程度、分离器械的长度和直径,以及医师的经验和设备条件<sup>[30,40-41,43,49,61]</sup>。直线段或冠中1/3的分离器械更易于操作,而严重弯曲根管中或位于根尖1/3的分离器械,取出风险明显增加。随着超声系统、专用取针器械和手术显微镜的普及,分离器械取出的成功率有了显著提升,但同时也存在根管壁过度磨除、牙根薄弱甚至根折的风险<sup>[37,46,51-52]</sup>。因此,在决定取出前必须进行详细的风险评估分析,并与患者充分沟通。

若取出失败或风险过高,下一步便是外科干预或拔除。根管外科手术能够通过根尖切除和根管倒预备、倒充填,直接控制根尖部感染源。研究显示,该方式在无法常规取出的病例中仍能提供良好的治疗成功率<sup>[55-56]</sup>。然而,根管外科干预并非适用于所有患者,还需考虑全身健康状况、牙齿保存价值及患者的意愿。如果手术不可行或患者拒绝,则建议拔除患牙。

然而,在乳牙根管治疗中发生器械分离时,决策流程需与恒牙区别对待。乳牙根尖及其周围组织的解剖结构特殊,可更容易受到炎症扩散或异物滞留的影响<sup>[36]</sup>。因此,乳牙病例中“保留分离器械”的适应证更为严格。若分离器械位于根尖1/3且存在感染或无法保证患儿长期随访时,应优先考虑拔除,以避免对继承恒牙造成潜在损伤。仅当分离器械位于冠中段且无感染迹象、继承牙胚位置安全且患儿依从性良好时,才可在显微辅助下尝试取出或选择密切观察。治疗过程中应严格控制操作深度与器械使用长度,防止穿透根尖区或误伤牙胚<sup>[14-16,36]</sup>。

在整个决策链条中,医患沟通是不可或缺的一环。分离器械的出现往往令患者焦虑,而不同处理策略在风险、费用和疗效上差异明显。医师必须以通俗而准确的语言向患者解释各方案的利弊,确保患者在知情的情况下参与决策。这不仅是医学伦理和法律责任的体现,也有助于增强患者对治疗过程的信任与配合<sup>[31,47,62]</sup>。

此外,近年来新的技术手段为复杂病例提供了更多可能性。例如,动态导航系统与三维显微镜在定位和取出分离器械方面表现出较高的精确性<sup>[58]</sup>;Nd:YAG激光技术也被尝试用于去除或分解分离器械,但临床应用仍需进一步验证<sup>[57,63]</sup>。尽管这些新

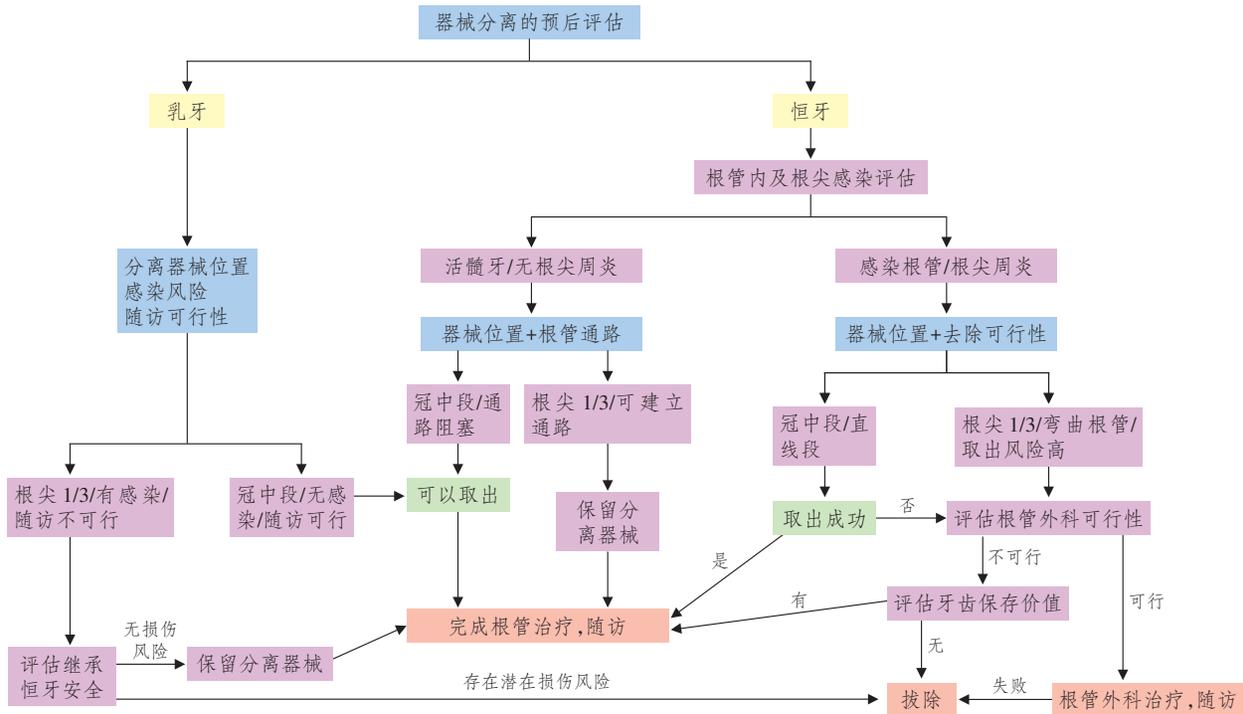


图1 器械分离的临床标准化决策流程图

兴方法尚未成为主流,但可能提示了未来发展方向。

总体而言,面对器械分离,临床决策并非单一选择,而是一个结合解剖因素、感染状态、技术条件与患者意愿的综合判断过程。科学的流程不仅能降低并发症,还能提升治疗成功率。在临床实践中,应尽可能建立标准化的决策图谱(图1),使医师在复杂情况下有章可循,从而提高处理的可预见性和一致性。

### 五、总结与展望

器械分离后的预后评估是复杂的临床命题,但并非无章可循。关键在于充分理解根尖周状态对预后的决定性作用,并在此基础上权衡“保留”与“取出”的风险和收益。近年来,该领域取得了诸多进展。人工智能和深度学习方法的引入,为根管系统及分离器械的检测提供了新的可能,研究显示这些算法在识别分离器械的位置、形态及长度方面具有较高的准确性,可在早期为临床医师提供决策辅助<sup>[64-67]</sup>。新型纳米抗菌材料(如银纳米粒子及壳聚糖基载体系统)在体外研究中展现出优异的抗菌活性和药物递送潜力,有望用于提升感染控制效果<sup>[68-69]</sup>。此外,机器人辅助手术与微型机器人系统的探索,正推动显微操作向更高精度、更小创伤方向发展,为复杂根管病例的微创管理提供了新的思

路<sup>[70-71]</sup>。然而,当前证据多基于有限样本的实验研究或个案报道,尚缺乏大规模、多中心的临床验证。未来的研究应进一步关注真实临床环境中的疗效评估与长期随访,以实现实验成果的临床转化。随着人工智能、先进材料及微创技术的不断融合,器械分离的检测与处理有望更加精准、安全与个体化。尽管技术持续演进,以患者预后为中心的临床思维和理性决策仍是牙髓病学实践的核心价值。唯有在科学依据与人文关怀的双重支撑下,才能实现分离器械的最优处置,最大化保存天然牙的治疗价值<sup>[24]</sup>。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 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] 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.
- [3] 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.
- [4] Alfouzan K, Jamleh A. Fracture of nickel titanium rotary instrument during root canal treatment and re-treatment: A 5-year

- retrospective study [J]. *Int Endod J*, 2018, 51(2): 157-163. DOI:10.1111/iej.12826.
- [5] Ungerechts C, Bårdsen A, Fristad I. Instrument fracture in root canals: Where, why, when and what? A study from a student clinic [J]. *Int Endod J*, 2014, 47(2): 183-190. DOI: 10.1111/iej.12131.
- [6] Alrahabi MK. Evaluation of complications of root canal treatment performed by undergraduate dental students [J]. *Libyan J Med*, 2017, 12(1): 1345582. DOI:10.1080/19932820.2017.1345582.
- [7] Saatchi M, Mohammadi G, Vali Sichani A, et al. Technical quality of root canal treatment performed by undergraduate clinical students of isfahan dental school [J]. *Iran Endod J*, 2018, 13(1): 88-93. DOI:10.22037/iej.v13i1.18517.
- [8] Iqbal M, Fillmore E. Preoperative predictors of number of root canals clinically detected in maxillary molars: A PennEndo Database study [J]. *J Endod*, 2008, 34(4): 413-416. DOI: 10.1016/j.joen.2007.12.023.
- [9] 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.
- [10] Cheung GS, Bian Z, Shen Y, et al. Comparison of defects in ProTaper hand-operated and engine-driven instruments after clinical use [J]. *Int Endod J*, 2007, 40(3): 169-178. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2006.01200.x.
- [11] 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.
- [12] Shahabinejad H, Ghassemi A, Pishbin L, et al. Success of ultrasonic technique in removing fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals and its effect on the required force for root fracture [J]. *J Endod*, 2013, 39(6): 824-828. DOI:10.1016/j.joen.2013.02.008.
- [13] Shao T, Guan R, Zhang C, et al. Influence of operator's experience on complications of root canal treatment using contemporary techniques: A retrospective study [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 96. DOI:10.1186/s12903-024-03876-9.
- [14] Gauba K, Goyal A, Kapur A, et al. Management of endodontic instrument separation in primary teeth [J]. *J South Asian Assoc Pediatr Dent*, 2020, 3(1): 34-38. DOI: 10.5005/jp-journals-10077-3039.
- [15] Kaul R, Gupta R, Chhabra S, et al. Dental operating microscope-guided retrieval of broken instrument from a deciduous molar using ultrasonics [J]. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2022, 15(Suppl 1): S114-S118. DOI: 10.5005/jp-journals-10005-1892.
- [16] Garrocho-Rangel A, Sánchez-Reynoso A, Rosales-Berber MA, et al. Clinical management of intra-pulp canal broken endodontic files in primary teeth: Literature review [J]. *Odovtos-Int J Dent Sci*, 2021, 23(2): 14-18. DOI:10.15517/ijds.2021.43859.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, et al. Impact of a retained instrument on treatment outcome: A systematic review and Meta-analysis [J]. *J Endod*, 2010, 36(5): 775-780. DOI: 10.1016/j.joen.2009.12.029.
- [20] Hansen JR, Beeson TJ, Ibarrola JL. Case series: Tooth retention 5 years after irretrievable separation of LightSpeedLSX instruments [J]. *J Endod*, 2013, 39(11): 1467-1470. DOI: 10.1016/j.joen.2013.06.031.
- [21] McGuigan MB, Louca C, Duncan HF. The impact of fractured endodontic instruments on treatment outcome [J]. *Br Dent J*, 2013, 214(6): 285-289. DOI: 10.1038/sj.bdj.2013.271.
- [22] Ward JR, Parashos P, Messer HH. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: Clinical cases [J]. *J Endod*, 2003, 29(11): 764-767. DOI:10.1097/00004770-200311000-00018.
- [23] Nur BG, Ok E, Altunsoy M, et al. Evaluation of technical quality and periapical health of root-filled teeth by using cone-beam CT [J]. *J Appl Oral Sci*, 2014, 22(6): 502-508. DOI: 10.1590/1678-775720140110.
- [24] Fan Y, Gao Y, Wang X, et al. Expert consensus on management of instrument separation in root canal therapy [J]. *Int J Oral Sci*, 2025, 17(1): 46. DOI: 10.1038/s41368-025-00372-w.
- [25] Venskutonis T, Plotino G, Juodzbalys G, et al. The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: A review of the literature [J]. *J Endod*, 2014, 40(12): 1895-1901. DOI: 10.1016/j.joen.2014.05.009.
- [26] Rosen E, Venezia NB, Azizi H, et al. A comparison of cone-beam computed tomography with periapical radiography in the detection of separated instruments retained in the apical third of root canal-filled teeth [J]. *J Endod*, 2016, 42(7): 1035-1039. DOI: 10.1016/j.joen.2016.04.016.
- [27] Ruddle CJ. Nonsurgical retreatment [J]. *J Endod*, 2004, 30(12): 827-845. DOI: 10.1097/01.don.0000145033.15701.2d.
- [28] Shen Y, Peng B, Cheung GS. Factors associated with the removal of fractured NiTi instruments from root canal systems [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004, 98(5): 605-610. DOI: 10.1016/j.tripleo.2004.04.011.
- [29] Lin LM, Rosenberg PA, Lin J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? [J]. *J Am Dent Assoc*, 2005, 136(2): 187-193+231. DOI: 10.14219/jada.archive.2005.0140.
- [30] 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.
- [31] 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.

- [32] Farid H, Khan FR, Rahman M. ProTaper rotary instrument fracture during root canal preparation: A comparison between rotary and hybrid techniques [J]. Oral Health Dent Manag, 2013, 12(1):50-55.
- [33] Ayatollahi F, Tabrizzadeh M, Razavi H, et al. Diagnostic value of cone - beam computed tomography and digital periapical radiography in detection of separated instruments [J]. Iran Endod J, 2019, 14(1):14-17. DOI:10.22037/iej.v14i1.22590.
- [34] Baratto-Filho F, Vavassori de Freitas J, Fagundes Tomazinho FS, et al. Cone - beam computed tomography detection of separated endodontic instruments [J]. J Endod, 2020, 46(11):1776-1781. DOI:10.1016/j.joen.2020.08.011.
- [35] Verner FS, D'Addazio PS, Campos CN, et al. Influence of cone-beam computed tomography filters on diagnosis of simulated endodontic complications [J]. Int Endod J, 2017, 50(11):1089-1096. DOI:10.1111/iej.12732.
- [36] 中华口腔医学会儿童口腔医学专业委员会. 乳牙牙髓病诊疗指南 [J]. 中华口腔医学杂志, 2021, 56(9):840-848. DOI:10.3760/cma.j.cn112144-20210301-00095.
- [37] Souter NJ, Messer HH. Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique [J]. J Endod, 2005, 31(6):450-452. DOI:10.1097/01.don.0000148148.98255.15.
- [38] 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.
- [39] Cujé J, Bargholz C, Hülsmann M. The outcome of retained instrument removal in a specialist practice [J]. Int Endod J, 2010, 43(7):545-554. DOI:10.1111/j.1365-2591.2009.01652.x.
- [40] Terauchi Y, O'Leary L, Suda H. Removal of separated files from root canals with a new file-removal system: Case reports [J]. J Endod, 2006, 32(8):789-797. DOI:10.1016/j.joen.2005.12.009.
- [41] 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.
- [42] Nevares G, Cunha RS, Zuolo ML, et al. Success rates for removing or bypassing fractured instruments: A prospective clinical study [J]. J Endod, 2012, 38(4):442-444. DOI:10.1016/j.joen.2011.12.009.
- [43] Ruddle CJ. Broken instrument removal. The endodontic challenge [J]. Dent Today, 2002, 21(7):70-72, 74, 76.
- [44] Madarati AA. Temperature rise on the surface of NiTi and stainless steel fractured instruments during ultrasonic removal [J]. Int Endod J, 2015, 48(9):872-877. DOI:10.1111/iej.12383.
- [45] Terauchi Y. Separated file removal [J]. Dent Today, 2012, 31(5):108, 110-113.
- [46] Garg H, Grewal MS. Cone-beam computed tomography volumetric analysis and comparison of dentin structure loss after retrieval of separated instrument by using ultrasonic EMS and ProUltra tips [J]. J Endod, 2016, 42(11):1693-1698. DOI:10.1016/j.joen.2016.06.016.
- [47] Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJ. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intra-canal fracture of endodontic instruments. Part 2 [J]. Int Endod J, 2008, 41(12):1079-1087. DOI:10.1111/j.1365-2591.2008.01473.x.
- [48] Kalogeropoulos K, Xiropotamou A, Koletsi 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.
- [49] Terauchi Y, O'Leary L, Kikuchi I, et al. Evaluation of the efficiency of a new file removal system in comparison with two conventional systems [J]. J Endod, 2007, 33(5):585-588. DOI:10.1016/j.joen.2006.12.018.
- [50] Yang Q, Shen Y, Huang D, et al. Evaluation of two trephine techniques for removal of fractured rotary nickel - titanium instruments from root canals [J]. J Endod, 2017, 43(1):116-120. DOI:10.1016/j.joen.2016.09.001.
- [51] Madarati AA, Qualtrough AJ, Watts DC. A microcomputed tomography scanning study of root canal space: Changes after the ultrasonic removal of fractured files [J]. J Endod, 2009, 35(1):125-128. DOI:10.1016/j.joen.2008.10.005.
- [52] Madarati AA, Qualtrough AJ, Watts DC. Vertical fracture resistance of roots after ultrasonic removal of fractured instruments [J]. Int Endod J, 2010, 43(5):424-429. DOI:10.1111/j.1365-2591.2010.01698.x.
- [53] Walters JD, Rawal SY. Severe periodontal damage by an ultrasonic endodontic device: A case report [J]. Dent Traumatol, 2007, 23(2):123-127. DOI:10.1111/j.1600-9657.2005.00384.x.
- [54] Gandhi N, Gandhi S, Bither S. Displacement of endodontic instruments in inferior alveolar canal [J]. Indian J Dent Res, 2011, 22(5):736. DOI:10.4103/0970-9290.93476.
- [55] Harada T, Harada K, Nozoe A, et al. A novel surgical approach for the successful removal of overextruded separated endodontic instruments [J]. J Endod, 2021, 47(12):1942-1946. DOI:10.1016/j.joen.2021.08.012.
- [56] Liao Q, Han ZM, Zhang R, et al. Management of separated instruments extruded into the maxillary sinus and soft tissue: A case series [J]. Chin J Dent Res, 2022, 25(1):67-73. DOI:10.3290/j.cjdr.b2752707.
- [57] Hagiwara R, Suehara M, Fujii R, et al. Laser welding method for removal of instruments debris from root canals [J]. Bull Tokyo Dent Coll, 2013, 54(2):81-88. DOI:10.2209/tdcpublish.54.81.
- [58] Karim MH, Faraj BM. Comparative evaluation of a dynamic navigation system versus a three - dimensional microscope in retrieving separated endodontic files: An *in vitro* study [J]. J Endod, 2023, 49(9):1191-1198. DOI:10.1016/j.joen.2023.06.014.
- [59] Ramos Brito AC, Verner FS, Junqueira RB, et al. Detection of

- fractured endodontic instruments in root canals: Comparison between different digital radiography systems and cone - beam computed tomography [J]. *J Endod*, 2017, 43 (4) : 544 - 549. DOI:10.1016/j.joen.2016.11.017.
- [60] Xu J, He J, Yang Q, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography in measuring dentin thickness and its potential of predicting the remaining dentin thickness after removing fractured instruments [J]. *J Endod*, 2017, 43 (9) : 1522 - 1527. DOI:10.1016/j.joen.2017.03.041.
- [61] 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.
- [62] Nasiri K, Wrbas KT. Management of separated instruments in root canal therapy [J]. *J Dent Sci*, 2023, 18 (3) : 1433 - 1434. DOI:10.1016/j.jds.2023.04.001.
- [63] Cvikl B, Klimescha J, Holly M, et al. Removal of fractured endodontic instruments using an Nd:YAG laser[J]. *Quintessence Int*, 2014, 45(7) : 569-575. DOI:10.3290/j.qi.a31961.
- [64] Buyuk C, Arican Alpay B, Er F. Detection of the separated root canal instrument on panoramic radiograph: A comparison of LSTM and CNN deep learning methods [J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2023, 52(3) : 20220209. DOI:10.1259/dmfr.20220209.
- [65] Özbay Y, Kazangirler BY, Özcan C, et al. Detection of the separated endodontic instrument on periapical radiographs using a deep learning -based convolutional neural network algorithm [J]. *Aust Endod J*, 2024, 50 (1) : 131 - 139. DOI: 10.1111/aej.12822.
- [66] Çatmabacak ED, Çetinkaya İ. Deep learning algorithms for detecting fractured instruments in root canals [J]. *BMC Oral Health*, 2025, 25(1) : 293. DOI: 10.1186/s12903-025-05652-9.
- [67] Estrela LRA, Bueno MR, Azevedo BC, et al. A novel methodology for detecting separated endodontic instruments using a combination of algorithms in post - processing CBCT software [J]. *Sci Rep*, 2025, 15 (1) : 6088. DOI: 10.1038/s41598 - 025 - 90652-6.
- [68] Afkhami F, Chen Y, Walsh LJ, et al. Application of nanomaterials in endodontics [J]. *BME Front*, 2024, 5 : 0043. DOI: 10.34133/bmef.0043.
- [69] Par M, Cheng L, Camilleri J, et al. Applications of smart materials in minimally invasive dentistry: Some research and clinical perspectives [J]. *Dent Mater*, 2024, 40(11) : 2008-2016. DOI:10.1016/j.dental.2024.09.017.
- [70] Babeer A, Bukhari S, Alrehaili R, et al. Microrobotics in endodontics: A perspective [J]. *Int Endod J*, 2024, 57(7) : 861-871. DOI:10.1111/iej.14082.
- [71] Fu M, Zhao S, Zhou X, et al. Removal of a fractured file beyond the apical foramen using robot-assisted endodontic microsurgery: A clinical report [J]. *BMC Oral Health*, 2025, 25 (1) : 8. DOI: 10.1186/s12903-024-05329-9.

(收稿日期:2025-10-27)

(本文编辑:王嫚)