

ICS 11.060.01

C05

# 团体标准

T/CHSA XXX-2021

## 年轻恒牙根尖诱导成形术操作专家共识

Consensus of apexification for immature permanent teeth

(征求意见稿)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中华口腔医学会 发布

## 目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 年轻恒牙.....	1
3.2 根尖诱导成形术.....	1
4 适应证选择.....	1
5 治疗前准备.....	1
5.1 病史采集.....	1
5.2 临床检查.....	1
5.3 影像学检查.....	2
5.4 诊断 .....	2
5.5 知情同意.....	2
6 治疗通用技术.....	2
6.1 麻醉方式的选择 .....	2
6.2 术区隔离方法 .....	3
6.3 显微镜辅助操作技术.....	3
7 根尖诱导成形术的临床诊疗阶段 .....	3
8 经典根尖诱导成形术的临床操作流程 .....	3
8.1 开髓、根管预备与消毒.....	3
8.2 根尖诱导成形术的材料选择与置入.....	4
8.3 冠方封闭.....	4
8.4 定期检查.....	4
8.5 永久性根管充填.....	5
8.6 患牙修复.....	5
8.7 根尖诱导成形术牙根继续发育类型和疗效评价标准.....	5
8.8 注意事项.....	5
8.9 根尖诱导成形术的局限性.....	6
9 年轻恒牙根尖屏障术的临床操作流程 .....	6
9.1 开髓、根管预备与消毒.....	6
9.2 根尖屏障术的材料选择与置入.....	6
9.3 永久性根管充填和患牙修复.....	7
9.4 定期随访.....	7
9.5 根尖屏障术疗效评价的依据和标准.....	7
参考文献.....	8

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中华口腔医学会儿童口腔医学专业委员会提出。

本文件由中华口腔医学会归口。

本文件起草单位：北京大学口腔医院、四川大学华西口腔医院、空军军医大学口腔医院、上海交通大学医学院附属第九人民医院、武汉大学口腔医院、中山大学附属口腔医院、同济大学附属口腔医院、哈尔滨医科大学口腔医院、吉林大学口腔医院、南京医科大学附属口腔医院、首都医科大学附属北京口腔医院。

本文件主要起草人：赵玮、林家成、卢佳璇、高硕、陆慧、李佩、秦满、邹静、王小竞、汪俊、宋光泰、赵玉梅、刘英群、黄洋、梅予锋、尚佳健。

## 引 言

年轻恒牙牙髓根尖周病是临床常见病。年轻恒牙牙根发育不完全，根尖呈开放状态，根尖孔未闭合，当发生牙髓严重病变或根尖周感染时，开放的根尖无法形成有效的封闭，传统的根管治疗效果不佳，因此治疗时应首先形成根尖封闭区。根尖诱导成形术是指在感染控制的基础上，使用药物及非外科手术方法保存根尖部的牙髓，促使根尖部沉积硬组织，使牙根继续发育和根尖形成的治疗方法<sup>[1]</sup>。现阶段，我国对于年轻恒牙牙髓根尖周病的诊疗水平参差不齐，临床上对根尖诱导成形术操作标准不一。针对这些问题，中华口腔医学会儿童口腔医学专业委员会召集国内著名医学院校及医院专家对此进行专题讨论，同时参考和借鉴国内外近年来对年轻恒牙牙髓根尖周病的研究成果与诊治经验，最终制订此共识，供临床医师参考。

# 年轻恒牙根尖诱导成形术操作专家共识

## 1 范围

本专家共识对年轻恒牙根尖诱导成形术的临床操作过程予以规范，适用于龋病、外伤及牙齿发育异常等因素引起的年轻恒牙牙髓坏死或根尖周疾病的诊疗。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 年轻恒牙 Immature permanent teeth

年轻恒牙是指牙齿已萌出，在形态和结构上尚未完全形成和成熟的恒牙。

### 3.2 根尖诱导成形术 Apexification

根尖诱导成形术是指牙根未完全形成之前发生牙髓严重病变或根尖周炎症的年轻恒牙，在控制感染的基础上，用药物诱导根尖部的牙髓和（或）根尖部硬组织形成，使牙根继续发育和根尖形成的治疗方法<sup>[1, 2]</sup>。除了经典的根尖诱导成形术外，亦可选用非外科手术方法将生物相容材料填充到根管根尖部，待其硬固后形成根尖止点，直接实现根尖封闭，亦被称之为根尖屏障术（Apical barrier technique）<sup>[3]</sup>。

## 4 适应证选择

根尖诱导成形术适应证：牙髓病变已波及根髓而不能保留根髓的年轻恒牙，牙髓全部坏死或并发根尖周炎症的年轻恒牙<sup>[4]</sup>。

在年轻恒牙根尖诱导成形术操作中，包括经典的根尖诱导术和根尖屏障术，可根据患牙情况、诊疗条件和患者的配合度等进行合理选择。经典的根尖诱导成形术操作容易掌握、医疗材料和器械易于获取，更适合基层医生完成。当患牙根尖区的感染可以得到控制、牙根长度足够、医生技术和条件（如具备显微镜、生物陶瓷材料等）允许的情况下，可推荐应用根尖屏障术。

## 5 治疗前准备

### 5.1 病史采集

重点询问患牙疼痛史及软组织肿胀史，外伤牙应注意询问外伤发生时间及就诊处置内容。通常情况下，有疼痛史表明牙髓已有炎症，甚至是牙髓坏死。软组织肿胀或窦道史提示牙髓感染已累及根尖周和/或根分歧组织。

### 5.2 临床检查

#### 5.2.1 软组织检查

牙龈出现肿胀或者窦道是诊断年轻恒牙牙根周围组织存在炎症的可靠指标，但应注意与牙周或牙龈脓肿相鉴别。

### 5.2.2 叩诊和松动度检查

叩诊检查时，顺序应由健康牙至可疑患牙，力度以不引起正常牙齿疼痛为宜，避免引起患儿明显不适，使其配合度降低，影响后续治疗。由于年轻恒牙根尖未发育完全，生理动度偏大，且存在个体差异，在检查时应与健康同名牙比较。

### 5.2.3 牙髓活力检查

年轻恒牙牙根未发育完全，因此牙髓活力测试准确性较低，温度测试结果可提供一定参考<sup>[5]</sup>，但应注意鉴别外伤致牙髓休克等原因造成的假阴性和因患儿紧张等造成的假阳性。近年来研究显示，激光多普勒可应用于牙髓组织血流量的检测，对牙髓状态有一定提示作用<sup>[6]</sup>。

## 5.3 影像学检查

术前需拍摄高质量的患牙根尖片以了解根尖周病变范围和牙根发育情况。年轻恒牙根尖部有骨密度稀疏区域，为根尖牙乳头的部位，外围包绕连续致密骨硬板，应注意与根尖周病变区别以免误诊。此外，脱位性牙外伤后可能发生暂时的根尖周组织破坏<sup>[7]</sup>，需予以鉴别。

对于复杂病变，在平衡诊断价值与辐射摄入风险后，选择性使用 CBCT 检查<sup>[8]</sup>。

## 5.4 诊断

结合患者疼痛史、临床检查（牙齿叩痛、异常松动、牙龈肿胀或牙髓活力异常）和影像学检查，或根管探查，判断牙髓病变已波及全根髓，患牙的诊断可能为：① 不可复性牙髓炎；② 牙髓坏死；③ 急性根尖周炎；④ 慢性根尖周炎，可考虑行根尖诱导成形术或根尖屏障术。

## 5.5 知情同意

由于患牙在治疗前的牙根发育状态和炎症程度不一，行根尖诱导成形术后并非所有病例的牙根均可发育成正常形态，应用经典的根尖诱导成形术治疗患牙，可能出现根尖周炎症未彻底消除、长期根尖未封闭或钙化组织未形成等；患牙因牙根内外严重吸收而需拔除等情况。治疗前需向患者及监护人提示相关风险，充分告知诊断、治疗计划、有无备选方案、疗程、费用、术中术后并发症（如疼痛、肿胀、牙体变色、牙折裂、牙根吸收等）和后续牙体修复需要等，签署知情同意书。

## 6 治疗通用技术

### 6.1 麻醉方式的选择

年轻恒牙根尖孔未完全闭合，根尖区可能存在部分活髓组织，多根牙可能存在某一牙根或几个牙根牙髓坏死而其他根管内为活髓或残留活髓，在清理炎症组织时可能引起患儿疼痛不适，应注意对患儿的疼痛控制。由于儿童对疼痛耐受力差，为减轻疼痛对后续治疗的不利影响，可对患牙行局部麻醉。儿童常用的口腔局麻药包括酰胺类利多卡因、阿替卡因、甲哌卡因等，使用前应询问患儿及监护人既往史和过敏史。

根尖诱导成形术操作过程中，常用的局部麻醉方式包括：局部浸润麻醉、传导阻滞麻醉和

牙周膜注射麻醉等，髓腔内注射麻醉需要慎重选用。儿童上下颌骨骨质较疏松，使用局部浸润麻醉效果较好，且较传导阻滞麻醉更安全。麻药注射宜采用慢、稳、轻的方法，亦可使用计算机控制下的局部麻醉注射系统（Computer-controlled local anesthesia delivery, C-CLAD）以减轻注射中压力过大引起的疼痛<sup>[9]</sup>。儿童使用口腔局部麻醉时，需要根据治疗情况合理控制麻醉的有效范围和持续时间，以减少麻醉后患儿软组织咬伤的风险，并完善术后医嘱。

## 6.2 术区隔离方法

常用的术区隔离方法包括橡皮障隔离术和棉卷隔湿法。

橡皮障隔离术可为口腔治疗提供不受唾液、血液和其他组织液污染的操作空间，获得良好入路和视野，且可避免口腔软组织损伤和误吞误咽等不良事件的发生，增加操作的安全性和舒适感。橡皮障安置方法主要分为橡皮布优先法和布-橡皮障夹整体法。由于患儿张口度较小和张口时间短等特点，推荐采用后者减少术者在患儿口内操作时间。为避免操作过程中橡皮障夹滑脱造成误吞误吸，可在橡皮障夹安置牙线牵引<sup>[10]</sup>。牙齿萌出不足或位置不正而无法安放橡皮障夹者，不建议使用橡皮障夹，可改用橡皮障楔线。牙齿缺损过大而无法安放橡皮障夹者可通过制备假壁后再行橡皮障隔离术。不适用橡皮障的情况为：患有上呼吸道感染、鼻道狭窄或鼻部阻塞严重影响鼻呼吸者和乳胶过敏者<sup>[11]</sup>。

在无法使用橡皮障隔离术时，推荐使用“四手操作”下棉卷隔湿法以保持术区干燥。放置棉卷时动作轻柔，避免引起患儿恶心呕吐，预防棉卷误吞误吸。

## 6.3 显微镜辅助操作技术

在具备显微镜和相应操作技术的情况下，建议在牙科显微镜下行年轻恒牙根尖诱导成形术和根尖屏障术。牙科显微镜能将根管系统放大，使术者更好地看清根管内部结构，便于清理根管内炎症组织，确认根尖孔位置，并将诱导药物或材料准确输送到预期区域。

## 7 根尖诱导成形术的临床诊疗阶段

经典根尖诱导成形术的全过程分为两个阶段，第一阶段消除感染和根尖周病变，诱导牙根继续发育；第二阶段，永久性根管充填和患牙修复。第一阶段药物诱导需多次复诊检查牙根发育和根尖闭合/屏障形成情况，两个阶段之间的间隔时间和牙根继续发育所需时间不等，为6个月至2年左右<sup>[3]</sup>，其时间的长短与牙根原来的长度、根尖孔形态、根尖周炎症的程度以及患者的机体状况等有关<sup>[12, 13]</sup>。

除了经典的根尖诱导成形术外，部分病例可选用非外科手术方法将生物相容材料直接填充到根尖部，实现封闭，即根尖屏障术<sup>[14]</sup>。根尖屏障术的治疗过程是在消除感染和根尖周病变的基础上，置入生物陶瓷材料，即刻形成根尖屏障，仅需1-2次复诊，即可完成永久性根管充填和患牙修复。

## 8 经典根尖诱导成形术的临床操作流程

### 8.1 开髓、根管预备与消毒

#### 8.1.1 备洞开髓

建议在橡皮障下常规备洞开髓。开髓的位置和大小应使根管器械能循直线方向进入。

### 8.1.2 确定工作长度

年轻恒牙不适合使用目前常用的电子根尖定位仪测量根管工作长度，因此根管预备前，需参照术前 X 线片，结合根管探查估测根管工作长度，避免将根管器械超出根尖孔<sup>[15]</sup>。如存留部分生活牙髓，建议在局部麻醉下进行操作。

### 8.1.3 根管预备与消毒

与发育完成的恒牙不同，年轻恒牙根管粗大，根管壁薄，根尖孔未闭合，根管预备主要采用化学方法去除根管内感染物质，避免过度机械预备切削牙本质。根尖部的牙髓、牙乳头、上皮根鞘是根尖诱导形成的组织基础<sup>[16]</sup>，操作时应尽量保护根尖部残存的生活牙髓及牙乳头等组织。使用 0.5%~3%次氯酸钠溶液+17%EDTA 溶液反复交替冲洗，彻底去除根管内的感染组织<sup>[17, 18]</sup>。根据医疗条件，亦可选用 0.5%~3%次氯酸钠溶液+生理盐水、3%过氧化氢溶液+生理盐水或 2%氯己定结合超声反复交替冲洗<sup>[19, 20]</sup>。文献报道消毒能力各有不同。冲洗时不要加压，以免将感染物质推出根尖。有研究显示，以上浓度范围内的次氯酸钠消毒效果无明显差异，建议尽量采用新鲜配置、低浓度次氯酸钠溶液大量冲洗根管。超声配合根管消毒溶液荡洗可获得良好的清洁效果<sup>[21]</sup>。近年来，有学者提出新型冲洗器械或方法，如激光系统、负压系统和声波系统等对年轻恒牙根管进行冲洗消毒，其效果仍待进一步研究验证。

### 8.1.4 根管封药

干燥根管，封入消毒力强、刺激性小的药物如氢氧化钙制剂、抗生素糊剂等，严密封闭窝洞。根管封药时间为 2 周至 1 个月，直至患牙无症状、根管无渗出。对于患急性根尖周炎的患牙，如渗出严重，可建立有效的引流，开放 1-2 天<sup>[22]</sup>，待渗出控制后暂封。若患者伴有间隙感染，则需要全身抗炎治疗以及适当延长开放时间，待患牙叩痛减轻、松动度减小，牙龈肿胀减轻后再行封药，感染严重时可视情况换药。

## 8.2 根尖诱导成形术的材料选择与置入

### 8.2.1 根尖诱导材料的选择

根尖诱导剂的作用是控制根管内感染，消除根尖周组织炎症，恢复并促进根尖端牙髓、牙乳头的修复功能，从而达到使根尖继续发育或根端闭合的目的。氢氧化钙类制剂是目前根尖诱导的首选药物<sup>[23]</sup>，现临床上多使用氢氧化钙碘仿糊剂<sup>[24, 25]</sup>。

### 8.2.2 根尖诱导的操作过程

去除患牙冠方暂封物和根管内封药，再次进行根管冲洗。干燥根管后，将具有诱导根尖闭合作用的药物，按 X 线片和根管探查确定的根管工作长度导入至根尖，使诱导药物充满根管腔并接触根尖部组织，同时拍摄 X 线片，以确定诱导药物的充填效果。

## 8.3 冠方封闭

根管内放置根尖诱导药物后，使用玻璃离子水门汀或树脂材料严密充填窝洞以防止微渗漏。若牙齿缺损过大，同时需维持牙齿近远中向和垂直向的间隙，可选择应用过渡性修复<sup>[26]</sup>。

## 8.4 定期检查

根尖诱导成形治疗后，每3-6个月复查一次<sup>[27]</sup>，至根尖形成或根端闭合为止。复查时，观察有无临床症状，如：疼痛、肿胀、窦道、牙齿异常松动及能否行使功能等；拍摄X线片，观察牙根继续发育情况、根尖周炎症和病变愈合情况。目前，学者们对根管内诱导药物的更换频率尚存争议。有学者认为，3-6个月（甚至更短周期如一个月）定期更换氢氧化钙制剂，有利于维持其强碱性，抑制细菌生长和促进根尖周组织硬组织沉积<sup>[12, 16, 28]</sup>；亦有观点认为，无需定期换药，以避免根管再次开放和冲洗对根尖诱导造成的干扰<sup>[29, 30]</sup>。由于更换频率尚无定论，临床上应根据检查结果，视情况更换根管内药物，当X线片提示根尖周病变有扩大趋势，或根管内药物不密实、不完整或出现明显吸收时，应及时更换根管内药物<sup>[31]</sup>。

### 8.5 永久性根管充填

当根尖诱导操作完成后，行永久性根管充填，其后需定期随访观察。

永久性根管充填的指征为<sup>[1]</sup>：① 无临床症状，包括患牙无明显松动、牙龈窦道闭合、根管内药物干燥；② X线片显示根尖周病变愈合，根尖闭合或根尖区钙化屏障形成；③ 根管内探查根尖端有钙化物沉积。

### 8.6 患牙修复

基于对根管治疗后薄弱牙体的保护和冠部的严密封闭，可选择性地对患牙窝洞进行树脂充填、过渡性修复以及择期的永久修复<sup>[32, 33]</sup>。

### 8.7 根尖诱导成形术牙根继续发育类型和疗效评价标准

1966年 Frank 使用传统氢氧化钙糊剂作为诱导药物观察牙根继续发育类型，将年轻恒牙根尖诱导成形术治疗后的牙根发育状况分为4型<sup>[1]</sup>：

- (1) 根尖继续发育、管腔缩小，根尖封闭。
- (2) 根管腔无变化，根尖封闭。
- (3) X线片未显示牙根发育，根管内探测有阻力，说明根尖处有钙化屏障。
- (4) X线片见根端 1/3 处形成钙化屏障。

近年研究显示，牙根形成类型不仅与年轻恒牙牙髓和根尖周炎症程度有关，也与发生病变时牙根发育阶段密切相关<sup>[34]</sup>。学界将根尖周炎症和病变愈合情况，以及牙根继续发育状况作为疗效评价的依据。评价标准：

- (1) 成功：根尖周病变消失，牙根延长，管腔缩小，根尖形成或根端闭合。
- (2) 好转：根尖周病变消失，牙根延长，根尖未完全形成或形成极不规则。
- (3) 失败：牙根未能延长，或根尖周病变未见缩小或消失。

成功与好转为有效，失败为无效。

### 8.8 注意事项

根尖诱导成形术应遵循根管治疗术的基本原则，在根管预备、根管消毒和根管充填的过程中强调根管消毒过程并增加药物诱导环节。临床操作要点和注意事项有<sup>[1]</sup>：① 根尖诱导成形术治疗周期长、预后复杂多变，需告知患儿家长并签署知情同意书；② 年轻恒牙根管壁薄

，应尽量减少机械预备，而主要通过化学方法清除根管内感染物质；③ 正确把握工作长度，避免操作中损伤牙乳头及根尖周组织等；④ 掌握根管充填时机，通常在X线片显示根尖周病变愈合、牙根继续发育并形成根尖屏障，或根管内探查根尖端有钙化物沉积时为宜。

### 8.9 根尖诱导成形术的局限性

尽管根尖诱导成形术治疗年轻恒牙牙髓坏死或根尖周病有较确切的疗效<sup>[35, 36]</sup>，但仍存在以下不足：① 治疗周期长；② 复诊次数多，需要患儿及家长良好的依从性；③ 临时修复材料脱落或封闭性不佳导致根管内再感染，影响预后；④ 氢氧化钙制剂长期封药会增加牙齿根折风险<sup>[37]</sup>。

## 9 年轻恒牙根尖屏障术的临床操作流程

近二十年来，以矿物三氧化物凝聚体（Mineral trioxide aggregate, MTA）为代表的生物陶瓷材料在临床上得到广泛应用，其具有良好的生物相容性，并可诱导根尖硬组织形成，即刻在根尖区形成人工止点<sup>[38]</sup>。将生物陶瓷材料应用于根尖屏障术以治疗年轻恒牙牙髓根尖周病，与经典的根尖诱导成形术相比，能减少就诊次数，缩短随访周期，且具有封闭效果良好和根尖屏障形成可预测等优点<sup>[13]</sup>，故有学者称之为改良的根尖诱导成形术。临床上可综合考虑年轻恒牙根尖孔大小、根管长度、根管壁厚度、患者依从性和术者条件等因素，合理选择应用。

### 9.1 开髓、根管预备与消毒

方法同与8.1。工作长度的确定需拍试尖片进行确认。

### 9.2 根尖屏障术的材料选择与置入

#### 9.2.1 根尖屏障术的材料选择

文献报道用于根尖屏障术的材料较多，如硅酸钙生物陶瓷、磷酸钙生物陶瓷等。生物陶瓷是一种与羟基磷灰石具有类似生物活性的复合物，具有良好的抗菌性、生物相容性和边缘封闭性，同时具有一定的成骨诱导性及放射阻射性<sup>[39]</sup>。MTA是根尖屏障术中最经典的生物陶瓷材料，可促进组织愈合且不受潮湿环境的影响<sup>[13, 40, 41]</sup>。其早期使用较为广泛，因此国际上曾称根尖屏障术为MTA根尖成形术(MTA apexification)<sup>[36, 42, 43]</sup>或MTA根尖屏障术(MTA barrier)<sup>[38, 44]</sup>。目前，MTA的应用存在一定局限性，如使用前需将粉剂与液体制剂混合，难以确保材料的均质性、固化时间长、需多次复诊、引起牙体变色等<sup>[41]</sup>。近年来，越来越多改良新型生物陶瓷材料被开发<sup>[38, 45-47]</sup>。学者将多种改良新型生物陶瓷材料应用于年轻恒牙根尖屏障术中，均取得较好效果，但成功率与传统MTA比较是否存在差异尚缺乏高质量系统研究，其临床效果仍待进一步明确。

#### 9.2.2 根尖屏障术的材料置入

建议在手术显微镜下进行根尖封闭材料的放置。

先彻底去除根管内的氢氧化钙糊剂，干燥根管。根据试尖片确定的工作长度，以输送器

将根尖封闭材料置于根尖部，将垂直加压器根据充填厚度做好标记，适当加压，直至将根尖端4-5mm充填密实<sup>[17]</sup>，用纸尖或小毛刷清理根管壁上段多余的材料。暂封开髓孔，拍X线片确认根尖封闭材料的位置及充填效果。

新型材料参照材料说明书进行使用。

### 9.3 永久性根管充填和患牙修复

由于不同材料固化时间不同，需参照材料说明书确定复诊时间行永久根管充填。根管充填之前，使用根管锉探查根尖封闭材料是否硬固。若尚未硬固，需再次清理根管，重新置入根尖封闭材料；若已完全硬固，形成良好的根尖止点，即可进行永久根管充填，严密充填根管，并进行后续的冠方封闭和修复，同8.6。

### 9.4 定期随访

每3-6个月复查一次，复查时观察有无临床症状，有无牙折的发生，拍X线片观察根尖周情况。

### 9.5 根尖屏障术疗效评价的依据和标准

通过临床症状和X线检查两方面判断评价根尖屏障术的治疗效果。根据AAPD指南，其成功标准为<sup>[48]</sup>：

- (1) 牙齿无自发疼痛、松动、牙龈肿胀等自觉症状；
- (2) 临床检查和X线片确认根尖屏障形成；
- (3) X线检查治疗中和治疗后牙齿无根外吸收、根侧病变、根折以及根尖周支持组织的破坏；
- (4) 未完全萌出的年轻恒牙能继续萌出，牙槽骨能继续生长。

## 参 考 文 献

- [1] 文玲英, 根尖诱导成形术[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2000. 03: p. 187-189.
- [2] Huang G.T., Apexification: the beginning of its end[J]. *Int Endod J*, 2009. 42(10): p. 855-866.
- [3] Shabahang S., Treatment options: apexogenesis and apexification[J]. *J Endod*, 2013. 39(3 Suppl): p. S26-29.
- [4] 葛力宏, 邹静, 秦满. 儿童口腔医学, 第5版[M][J]. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [5] Fuss Z., Trowbridge H., Bender I.B., et al., Assessment of reliability of electrical and thermal pulp testing agents[J]. *J Endod*, 1986. 12(7): p. 301-305.
- [6] Jafarzadeh H., Laser Doppler flowmetry in endodontics: a review[J]. *Int Endod J*, 2009. 42(6): p. 476-490.
- [7] Hammarström L., Blomlöf L., and Lindskog S., Dynamics of dentoalveolar ankylosis and associated root resorption[J]. *Endod Dent Traumatol*, 1989. 5(4): p. 163-175.
- [8] Kühnisch J., Anttonen V., Duggal M.S., et al., Best clinical practice guidance for prescribing dental radiographs in children and adolescents: an EAPD policy document[J]. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 2020. 21(4): p. 375-386.
- [9] Chang H., Noh J., Lee J., et al., Relief of Injection Pain During Delivery of Local Anesthesia by Computer-Controlled Anesthetic Delivery System for Periodontal Surgery: Randomized Clinical Controlled Trial[J]. *J Periodontol*, 2016. 87(7): p. 783-789.
- [10] Hou R., Zhou H., Hu K., et al., Thorough documentation of the accidental aspiration and ingestion of foreign objects during dental procedure is necessary: review and analysis of 617 cases[J]. *Head Face Med*, 2016. 12(1): p. 23.
- [11] 冯琳, 岳林. 橡皮障隔离技术的临床应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2019(07):498-502.
- [12] Finucane D. and Kinirons M.J., Non-vital immature permanent incisors: factors that may influence treatment outcome[J]. *Endod Dent Traumatol*, 1999. 15(6): p. 273-277.
- [13] Lin J.C., Lu J.X., Zeng Q., et al., Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Formos Med Assoc*, 2016. 115(7): p. 523-530.
- [14] Simon S., Rilliard F., Berdal A., et al., The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study[J]. *Int Endod J*, 2007. 40(3): p. 186-197.
- [15] Kim Y.J. and Chandler N.P., Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review[J]. *Int Endod J*, 2013. 46(6): p. 483-491.
- [16] Dominguez Reyes A., Muñoz Muñoz L., and Aznar Martín T., Study of calcium hydroxide apexification in 26 young permanent incisors[J]. *Dent Traumatol*, 2005. 21(3): p. 141-145.
- [17] Valois C.R. and Costa E.D., Jr., Influence of the thickness of mineral trioxide aggregate on sealing ability of root-end fillings in vitro[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004. 97(1): p. 108-111.
- [18] American Association of Endodontists Clinical, Clinical Consideration for a Regenerative Procedure. Revised 6-8-16. Available at:

- <https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2017/06/currentregenerativeendodonticconsiderations.pdf>. [J]. Accessed April 23 2022.
- [19]Wong D. T. and Cheung G. S., Extension of bactericidal effect of sodium hypochlorite into dentinal tubules[J]. *J Endod*, 2014. 40(6): p. 825-829.
- [20]Rôças I. N., Provenzano J. C., Neves M. A., et al., Disinfecting Effects of Rotary Instrumentation with Either 2.5% Sodium Hypochlorite or 2% Chlorhexidine as the Main Irrigant: A Randomized Clinical Study[J]. *J Endod*, 2016. 42(6): p. 943-947.
- [21]Căpută P. E., Retsas A., Kuijk L., et al., Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review[J]. *J Endod*, 2019. 45(1): p. 31-44. e13.
- [22]Siqueira J. F., Jr., Microbial causes of endodontic flare-ups[J]. *Int Endod J*, 2003. 36(7): p. 453-463.
- [23]Fava L. R. and Saunders W. P., Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications[J]. *Int Endod J*, 1999. 32(4): p. 257-282.
- [24]Al Khasawnah Q., Hassan F., Malhan D., et al., Nonsurgical Clinical Management of Periapical Lesions Using Calcium Hydroxide-Iodoform-Silicon-Oil Paste[J]. *Biomed Res Int*, 2018. 2018: p. 8198795.
- [25]黄艳, 樊明文. Metapex 糊剂在根尖诱导成形术中的应用 [J]. *口腔医学研究*, 2009, 25(06): 776-777.
- [26]Katebzadeh N., Dalton B. C., and Trope M., Strengthening immature teeth during and after apexification[J]. *J Endod*, 1998. 24(4): p. 256-259.
- [27]Agrafioti A., Giannakoulas D. G., Filippatos C. G., et al., Analysis of clinical studies related to apexification techniques[J]. *Eur J Paediatr Dent*, 2017. 18(4): p. 273-284.
- [28]Abbott P. V., Apexification with calcium hydroxide--when should the dressing be changed? The case for regular dressing changes[J]. *Aust Endod J*, 1998. 24(1): p. 27-32.
- [29]Sheehy E. C. and Roberts G. J., Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review[J]. *Br Dent J*, 1997. 183(7): p. 241-246.
- [30]Gupta S., Sharma A., and Dang N., Apical bridging in association with regular root formation following single-visit apexification: a case report[J]. *Quintessence Int*, 1999. 30(8): p. 560-562.
- [31]Frank A. L., Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation[J]. *J Am Dent Assoc*, 1966. 72(1): p. 87-93.
- [32]陈智, 陈彬文. 根管治疗后牙体修复的治疗方案选择 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2015. 33(02): p. 115-120.
- [33]Tronstad L., Asbjørnsen K., Døving L., et al., Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth[J]. *Endod Dent Traumatol*, 2000. 16(5): p. 218-221.
- [34]Lu H, Lu J, Guo J, Zeng B, Zeng Q, Zhao W, Lin J. Radiographic outcomes and prognostic factors in nonvital immature permanent teeth after apexification with modified calcium hydroxide paste: a retrospective study. *Clin Oral Investig*. 2022 Apr 11.

- [35]Pereira A.C., Oliveira M.L., Cerqueira-Neto A., et al., Outcomes of traumatised immature teeth treated with apexification or regenerative endodontic procedure: a retrospective study[J]. *Aust Endod J*, 2021. 47(2): p. 178-187.
- [36]Casey S.M., Fox D., Duong W., et al., Patient Centered Outcomes among a Cohort Receiving Regenerative Endodontic Procedures or Apexification Treatments[J]. *J Endod*, 2022. 48(3): p. 345-354.
- [37]Rosenberg B., Murray P.E., and Namerow K., The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength[J]. *Dent Traumatol*, 2007. 23(1): p. 26-29.
- [38]Torabinejad M., Parirokh M., and Dummer P.M.H., Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications[J]. *Int Endod J*, 2018. 51(3): p. 284-317.
- [39]田青鹭,王艳. 生物陶瓷材料在根尖屏障术中的应用进展[J]. *口腔医学研究*, 2021. 37(03):191-194.
- [40]Asgary S., Motazedian H.R., Parirokh M., et al., Twenty years of research on mineral trioxide aggregate: a scientometric report[J]. *Iran Endod J*, 2013. 8(1): p. 1-5.
- [41]Parirokh M. and Torabinejad M., Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action[J]. *J Endod*, 2010. 36(3): p. 400-413.
- [42]El-Meligy O.A. and Avery D.R., Comparison of apexification with mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide[J]. *Pediatr Dent*, 2006. 28(3): p. 248-253.
- [43]Lee L.W., Hsieh S.C., Lin Y.H., et al., Comparison of clinical outcomes for 40 necrotic immature permanent incisors treated with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate apexification/apexogenesis[J]. *J Formos Med Assoc*, 2015. 114(2): p. 139-146.
- [44]Kahler B., Rossi-Fedele G., Chugal N., et al., An Evidence-based Review of the Efficacy of Treatment Approaches for Immature Permanent Teeth with Pulp Necrosis[J]. *J Endod*, 2017. 43(7): p. 1052-1057.
- [45]Majumdar N., Mazumdar d.p., and Das U., SINGLE VISIT APEXIFICATION AND OBTURATION OF IMMATURE NECROTIC PERMANENT TEETH USING BIODENTINE - FOUR CASE REPORTS[J]. *International Journal of Advanced Research*, 2017. 5: p. 373-376.
- [46]Vidal K., Martin G., Lozano O., et al., Apical Closure in Apexification: A Review and Case Report of Apexification Treatment of an Immature Permanent Tooth with Biodentine[J]. *J Endod*, 2016. 42(5): p. 730-734.
- [47]刘景,袁媛. 生物陶瓷 iRoot BP plus 和无机三氧化物聚合物在未成年患者根尖孔未闭合患牙形成根尖屏障中的效果对比[J]. *全科口腔医学电子杂志*, 2018, 5(20):1-2+7.
- [48]American Academy of Pediatric Dentistry. Pulp Therapy for Primary and Immature Permanent Teeth[J]. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*. Chicago, Ill.: American Academy of Pediatric Dentistry; 2021:399-407.