

牙髓钙化及其治疗方法的研究进展

黄昕 许晓杰 张荣华 赵媛

兰州大学口腔医学院（口腔医院）牙体牙髓科

甘肃省牙颌面重建与生物智能制造重点实验室 兰州 730000

[摘要] 牙髓钙化是牙髓组织的一种增龄性变化或病理性反应，当牙髓病或根尖周病伴有牙髓钙化时，根管治疗是其最主要的治疗方式。临床治疗中，钙化根管往往因其疏通困难，难以建立准确的髓腔通路，易发生根管侧穿、台阶形成和器械分离等并发症，导致治疗失败率高，给临床医生带来巨大的困难。近年来，随着显微超声技术及引导式牙髓病学在钙化根管治疗中的应用及推广，钙化根管治疗的成功率大幅提升。本文通过文献回顾，对牙髓钙化的病因、诊断及治疗策略等方面进行详细阐述，以期为临床医生在钙化根管的治疗策略和方案的选择上提供帮助。

[关键词] 牙髓钙化；根管预备；显微超声；引导式牙髓病学

[中图分类号] R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2024008



开放科学（资源服务）
标识码（OSID）

A review of pulp calcification and its treatment methods

Huang Xin, Xu Xiaojie, Zhang Ronghua, Zhao Yuan

Dept. of Cariology and Endodontics, School & Hospital of Stomatology, Lanzhou University & Key Laboratory of Dental Maxillofacial Reconstruction and Biological Intelligence Manufacturing, Lanzhou 730000, China

Supported by: Natural Science Fund Project of Gansu Provincial Science and Technology Department (20JR10RA594); Scientific Research Project of the Key Laboratory of Stomatology of State Ethnic Affairs Commission, Northwest Minzu University (MWZD201801)

Correspondence: Zhao Yuan, Email: zhaoy@lzu.edu.cn

[Abstract] Pulp calcification is an ageing change or pathologic reaction of pulp tissue. When endodontic or periapical disease is accompanied with pulp calcification, root canal therapy is the primary treatment modality. However, calcified root canals are usually hard to prepare, which can easily lead to complications such as root canal lateral penetration, step formation, and instrument separation, resulting in a high rate of treatment failure and causing great difficulties for clinicians. The success rate of calcified root canal treatment has increased significantly with the application and promotion of micro-ultrasound and guided endodontics in calcified root canal treatment. This article summarizes the etiology, diagnosis, and treatment strategies of pulp calcification based on several literature reviews to provide appropriate treatment strategies and protocols for dental clinicians.

[Key words] pulp calcification; root canal preparation; micro-ultrasound; guided endodontics

牙髓钙化是临床常见的牙髓疾病，通常认为是由于外伤、炎症等因素造成牙髓组织血运障碍，

牙髓中的细胞和胶原纤维等发生变性坏死，成为钙化中心，无机盐在其周围形成层状或纤维状沉积^[1]，同时成牙本质细胞在磨损及龋病等外界刺激作用时会加速分泌形成修复性牙本质，最终导致钙化物形成，堵塞于髓腔内，致使髓腔狭窄甚至闭塞。

牙髓钙化在人群中的发病率为36.53%~83.30%，可因种族和地理位置的不同而存在差异，亦受到

[收稿日期] 2023-06-20; **[修回日期]** 2023-09-23

[基金项目] 甘肃省科学技术厅自然科学基金（20JR10RA594）；西北民族大学口腔医学国家民委重点实验室项目（MWZD201801）

[作者简介] 黄昕，硕士，Email: xhuang18@lzu.edu.cn

[通信作者] 赵媛，教授，博士，Email: zhaoy@lzu.edu.cn

调查样本和研究方法不同的影响。牙髓钙化好发于上颌磨牙,尤其是第一磨牙^[2],其原因可能是第一磨牙萌出早,承受的咬合力较大,较口内其他牙齿更容易暴露于各种刺激中所致,但具体机制尚不清楚。

目前临床中牙髓钙化可分为两类^[3]: 1) 结节性钙化,又称髓石,较多见,为均质的实体结构,冠髓多见,或游离于牙髓中,或附着于髓室壁; 2) 弥漫性钙化,多见于根管内,严重时会造成髓腔和根管闭锁。此外,有学者^[4]根据牙髓钙化的影像学特征又将其分为弥漫性钙化、管状钙化和同心钙化,该分类中以弥漫性钙化最为多见(62.5%)。单纯的牙髓钙化如无症状,无需治疗,但在合并有牙髓炎或根尖周炎时,需对其进行根管治疗^[5-6]。然而,钙化根管的治疗较为困难,传统的根管预备方法容易导致根管侧穿、台阶形成及器械分离等并发症,根尖疏通率仅为49.3%^[7],失败率高达20%~70%^[8]。

在口腔临床治疗中,钙化根管的治疗难度大,失败率高,一直备受医生们关注。本文就牙髓钙化的病因、诊断以及治疗策略进行详细阐述,以期为口腔临床医生在钙化根管的治疗方面提供帮助。

1 牙髓钙化的病因

牙髓钙化为多种因素交互作用所致,其病因和发病机制较复杂,涉及多种病理生理机制,尚未形成较成熟的理论。目前认为,引起牙髓钙化的病因主要有增龄性变化、病理性和医源性刺激以及某些全身性疾病等。

1.1 增龄性变化

随着年龄增长,继发性牙本质和修复性牙本质的沉积使髓腔体积逐渐缩小,同时牙髓中血管和神经的数量明显减少,细胞(成纤维细胞、成牙本质细胞等)数量减少,而纤维组织和脂肪在牙髓中却日渐增多,因此牙髓易出现营养不良性钙化。此外一些慢性病理性刺激也可诱发牙髓发生修复性反应。有研究表明,相较于健康牙髓及可复性牙髓炎,在不可复牙髓炎状态下衰老牙髓中的碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)活性显著升高^[9],从而增加了牙髓钙化的发生,加速了牙髓的增龄性变化,因此老年人群牙髓钙化的发生率较高^[10]。

1.2 局部病理性刺激

牙髓组织在龋病、创伤及牙周病等慢性刺激下时会产生被动的防御反应,以变性坏死的牙髓细胞为中心形成钙化灶,无机盐层状或纤维状沉积^[1],最终导致钙化发生。然而,有学者分析牙髓钙化的组织病理学结果后提出,髓石和弥漫性钙化可能是一种主动性修复过程^[11],而非一般认为的被动性牙髓变性,其中髓石形成或与牙髓感染、牙髓炎相关,而根管弥散性钙化则更多与牙外伤或牙髓充血相关。牙外伤好发于前牙,牙髓钙化是创伤性损伤愈合时的常见表现,前牙外伤后有高达25%的概率发生根管钙化^[12], Mello-Moura等^[4]的研究表明:牙髓钙化在外伤乳牙中的发病率为14.9%,脱位性损伤的乳牙牙髓钙化的发生率高于硬组织损伤的乳牙,反复多次外伤的牙齿钙化发生率更高。外伤牙的固定方式也对髓腔钙化有一定影响,强度较高的固定方式如正畸夹板固定因可能造成额外的创伤而更易引起牙髓钙化^[13]。有研究^[14]发现:患牙患有牙周炎时,牙髓钙化的发生概率增加。然而Nissrin等^[15]和Sabeti等^[16]分别从影像学及组织病理学层面对牙周炎患牙和健康牙进行了对比分析,结果表明牙周炎并不会显著影响牙髓钙化,因此二者之间的关系仍有争议,需进一步研究。

1.3 医源性因素

相关研究表明:口腔临床诊疗中使用一些碱性制剂[如氢氧化钙、三氧化矿物聚合体(mineral trioxide aggregate, MTA)、iRoot BP Plus等]时,牙髓局部环境呈碱性,碱性条件下牙髓组织中ALP、骨桥蛋白及骨形态发生蛋白(bone morphogenetic protein, BMP)-2等成骨分化标志物表达上调^[17-18],牙髓细胞矿化能力增加,促使钙化结节形成^[19-20],并且钙化常从盖髓处或根管壁开始发生。因此临床中使用上述制剂进行治疗的同时也会增加牙髓钙化的风险。另外有研究^[21-23]表明:冠修复及充填治疗也可能对牙髓钙化有促进作用,这可能与患牙原有的牙体病变及治疗期间产生的刺激有关。Fleig等^[22]采用锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT)对比了修复治疗牙和无龋牙的髓腔空间,结果显示:修复治疗后的牙齿髓腔空间明显变窄。da Silva等^[23]发现修复体的存在使髓石的发生率增加了2.1倍($P<0.0001$)。此外,正畸力的作用也可能使牙髓组织发生不同程度的钙化。一项系统评价^[24]表明:在正畸力

作用下，牙齿出现髓腔体积缩小的现象，且髓石发生率增加，然而目前相关证据不足，且机制尚不清楚。

1.4 全身性疾病及用药

一些全身性疾病也可能是牙髓钙化的危险因素。糖尿病患者的牙髓中无定型钙化的发生率增加^[25]，这可能与糖尿病并发血管病变，导致牙髓中的微循环障碍有关^[26]；有研究^[27]表明高浓度的葡萄糖可使骨桥蛋白和ALP活性分别增加1.3倍和1.5倍；此外，晚期糖基化终末产物亦对牙髓病理性钙化有促进作用^[28-29]。同样，牙髓钙化也被认为是某些全身性疾病的危险因素，如动脉粥样硬化等被认为和牙髓钙化有关^[30]，其原因可能是粥样斑块与牙髓内钙化的发生机制相似。这提示对老年人或一些相关指标异常的特殊人群，牙髓钙化在临床诊疗过程中的检出可能会是某些全身性疾病的诊断指标之一^[31-32]。

Pettiette等^[33]发现：他汀类药物作为预防和治疗血脂异常的一类常见药物，与对照组相比，服用他汀类药物进行治疗的患者，髓腔高度明显降低，其机制可能是他汀类药物可激活成牙本质细胞活性促进牙本质在髓腔内沉积，进而导致牙髓钙化发生。另外牙本质发育不良的患牙因其牙本质沉积异常，髓腔常由于异常堆积的牙本质而呈现出狭窄甚至完全堵塞的现象，影像学常见早期髓腔闭塞及细线状根管伴多发髓石征象^[34]。

2 牙髓钙化的临床表现

临床上牙髓钙化的患者常无明显自觉症状，通常是因为合并牙髓病或根尖周病等出现不适而就诊。偶见髓石引起的体位性自发痛，还可沿三叉神经分布区域放散^[35]。此外还有部分患者因牙齿发黄变色而就诊，颜色改变是牙髓钙化的一种典型表现，但也应注意并非所有钙化患牙均会变色。

3 牙髓钙化的检查和诊断方法

3.1 临床检查

对于可疑患牙，临床上常采用牙髓温度测验或电活力测验，结果常表现为迟钝或敏感，此外部分患牙可表现为牙冠发黄变色。影像学检查常见有团块状钙化阻射影或弥漫性钙化阻射致髓腔原本的透射区消失。

3.2 诊断

目前诊断牙髓钙化多依赖其影像学表现，常采用根尖片、曲面断层片及CBCT进行检查^[21,36]，有外伤或修复治疗史也可作为参考。当X线检查显示髓室内有团块状高密度阻射影时即可认为有髓石；根管或整个髓腔影像出现狭窄、模糊不清，甚至完全消失时可认为是弥漫性钙化。由于X线片为二维影像，视野局限，有时可见重叠现象，因此CBCT因其三维成像及高分辨率在诊断牙髓钙化时表现出明显的优势。考虑到伴随而来的放射量增加和费用增高等因素，临床治疗时一般只在常规X线片无法提供足够信息的情况下才选择拍摄CBCT。

4 牙髓钙化的治疗原则和策略

目前多数学者认为对于无明显临床症状和尚未出现根尖病变的X线征象的患牙，不作为行根管治疗的适应证，但当牙髓钙化出现体位性自发痛或合并牙髓根尖周病时，应对其进行相应的牙髓治疗^[5-6]。根管治疗是牙髓钙化首选的治疗方式，然而钙化的管腔体积缩小，预备难度增高，因此术前应常规进行影像学及临床评估以作为治疗过程中的指导。若钙化阻塞严重或根管形态复杂，根管治疗或再治疗失败，则可选择根尖手术治疗（图1）。

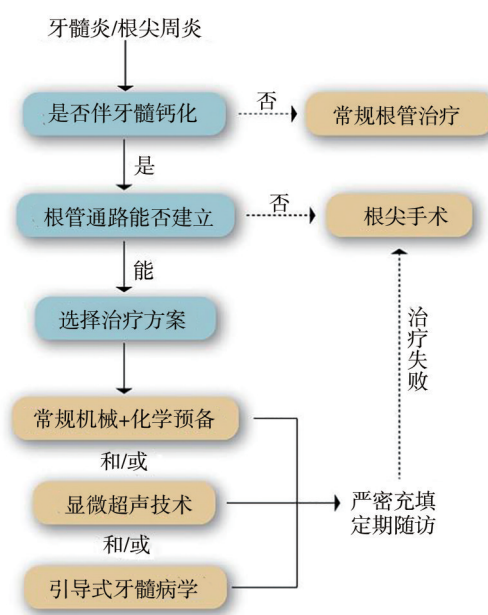


图 1 牙髓钙化的治疗策略

Fig 1 Treatment strategies for pulp calcification

4.1 术前评估

为选择最佳治疗方式,治疗前需常规拍摄X线片进行术前影像学评估,判断根管数量、走行及管腔钙化程度等。若患牙根管形态复杂,仅凭X线片无法提供足够信息时,可拍摄CBCT辅助评估。CBCT可在一定程度上弥补X线片的不足,通过任意断层的三维影像,定位髓室底及根管口,显示根管数量,较精准地呈现根管钙化的位置及程度、管腔弯曲走行等信息。McClammy^[37]通过术前CBCT发现了1例被遗漏的钙化近中颊侧第二根管MB2,成功完成了根管再治疗。在临床应用中,充分利用CBCT也要求医生具有一定的三维想象能力。

除对患牙进行影像学评估外,临床中还可通过器械在疏通根管时的手感及其能到达的深度来进一步评估治疗难度。Tang等^[7]基于美国牙髓病学协会制定的牙髓钙化分级标准,通过预备过程中不同型号K锉是否能达到根尖狭窄对其进行进一步分类:1) 15号K锉能容易达到根尖狭窄;2) 10号K锉仅仅到达根尖狭窄区;3) 10号K锉或8号K锉采取一些措施后能到达根尖狭窄区或不能达到。钙化位置越接近根尖,根管疏通越困难,相关研究^[38]表明根管下段再通成功率仅为57.1%。临床中当钙化的根管能够被疏通,可建立有效的根管通路时,应常规考虑行根管治疗,根管预备完成后严密充填,定期随访。但若钙化阻塞严重或根管系统复杂等原因导致疏通根管后患牙可能丧失保留价值,应考虑改行根尖手术。

4.2 根管通路的建立

当牙髓钙化需进行相应的牙髓治疗时,根管治疗是其最主要的治疗方式。根管通路的建立是该治疗过程中的关键环节,目前临床中主要采用器械物理预备结合化学试剂来疏通钙化阻塞的根管。近年来,随着显微超声技术和引导式牙髓病学的成熟与发展,钙化根管的预备质量已经得到明显提高。

开髓并成功定位根管口是建立根管预备通路的必要前提,然而钙化患牙的髓腔体积缩小,髓室顶高度降低,影像学可表现为髓腔原有的低密度影像变得狭窄、模糊不清,甚至完全消失,因此开髓时不应一味追寻“落空感”以免髓室底穿孔和根管侧穿等意外的发生,建议常规在显微镜下结合影像学分析进行冠方入路的建立。同时钙化堵塞的根管口难以寻找,易导致根管遗漏,因

此应常规在显微镜下操作,还可以通过亚甲蓝染色法、透照法及浸泡法等辅助技术进行根管口的定位。

4.2.1 锉的选用及化学预备 成功定位根管口后,可选择C先锋锉或C+锉小幅度捻转疏通根管,其刃部尖端较硬,是同类号其他锉尖端硬度的几倍,锉后部韧度高,抗折能力强,有利于钙化弯曲根管的疏通。镍钛器械具有超弹性和极佳的柔韧性,能够减少台阶、器械分离等并发症,提高根管预备的质量。此外,相较于手用镍钛器械,机用镍钛器械因具有一定的尖端引导能力和恒定转速,能够有力打通钙化阻塞,加快钙化根管的预备。有学者^[39]报道:使用Mtwo机用镍钛器械对C先锋锉治疗失败的钙化根管进行再预备,成功率有所提高。

无论是使用手用锉还是机用器械,机械预备后根管壁仍残留有牙本质碎屑、微生物及残余的牙髓组织等,因此使用化学制剂对根管系统进行辅助清理对达到理想的预后至关重要。目前常用的制剂如乙二胺四乙酸(ethylenediamine tetraacetic acid, EDTA),是一种强效螯合剂,可螯合钙离子进而溶解钙化组织,有利于细小钙化根管的疏通^[40]。一般临床中常用质量分数17%的凝胶或溶液制剂,使用时用锉少量蘸取后小幅度捻转,逐渐疏通根管,每次换锉后都应使用低浓度次氯酸钠或蒸馏水进行根管冲洗,充分去除碎屑。考虑到次氯酸钠对组织的高毒性及长期接触EDTA可能会导致根折和过度脱矿,Sato等^[41]开发了一种更安全、更易于操作的强碱性EDTA溶液,其酸缓冲能力与次氯酸钠相似,能够有效清洁难治性根管。Chu等^[42]探讨了EDTA结合C先锋锉及显微超声技术用于钙化根管的疏通效果,结果表明:EDTA对钙化物的溶解作用可使C先锋锉更易进入狭窄的根管,提高了根管疏通率,同时增加了患者的舒适度。

尽管使用C先锋锉及C+锉等进行机械预备同时联合化学预备减少了钙化根管的预备难度,但对于钙化堵塞严重的根管,在治疗过程中出现偏离和台阶等并发症仍较为多见,同时对术者的操作技术和经验有一定要求,根管治疗失败率仍然较高^[8]。

4.2.2 显微超声技术(micro-ultrasound) 显微超声技术的主要组成部分包括牙科显微镜、超声根管治疗仪、超声工作尖以及各种显微根管治疗器

械。牙科显微镜能够提供充足的光源和清晰的视野,可放大术区至3~30倍,使用时一般调节放大倍率为16及以上,适合根管及根尖区的细微结构的观察,帮助定位根管口,减少根管遗漏的发生。显微镜下观察钙化根管口较为明显,一般位于髓室底和髓室侧壁的交界处,钙化物呈淡黄色,透明度较高,可据此区分髓室底与钙化牙本质,定位根管口。Kumar^[43]报道了1个上颌第一磨牙7根管的罕见病例。术者通过常规方法定位了4个根管口,随后在显微镜下使用超声器械结合DG16探针又探查另外3个被遗漏根管。显微超声技术配套使用的超声工作尖体积小,可减少常规器械进入根管时对视野的遮挡,开髓时可干湿交替使用,对于髓室高度降低的患牙在进行冠方通路预备时能有效规避意外穿孔的发生,还可根据需要更换不同型号的工作尖,分别适用于寻找根管口、清理成形根管等。此外,超声波工作尖高频振荡所产生的空穴效应及声流效应极大地提高了切削效率及物理清理效果,对于所接触到的钙化组织实施高强度和快速的振荡,使钙化组织的内部结构变得松动,从而易于去除,有利于根管口的定位及管腔清理成形。Lim等^[44]在显微超声技术辅助下成功对1例牛牙症伴多发髓石的患牙完成了根管治疗,面对充满整个髓腔的髓石和难以定位的根管口,显微镜可将视野放大并清晰化,便于区分髓石和正常牙本质,同时覆有金刚砂涂层的超声工作尖可精确有效地去除髓石,避免了对侧壁过度切削。此外亦有研究^[45]表明次氯酸钠等根管冲洗液结合超声时进行根管荡洗时其化学清理能力增加。将显微放大系统同超声技术相结合运用于钙化根管的治疗,克服了肉眼操作给根管治疗所带来的局限性,不仅可以避免遗漏根管,有效去除钙化物,形成根管入路,同时也避免了对牙本质的过度切削^[43,46]。有学者^[47]利用显微超声技术进行复杂钙化根管的疏通,治疗成功率可高达94.4%,目前已在临床得到较大范围的推广,因此对于钙化根管的通路预备建议有条件者应常规辅助使用显微超声技术。尽管显微超声技术在钙化根管的治疗中表现出了相当的优越性,但也有研究^[48]报道:因为超声治疗仪功率大,工作尖锐削能力强,易产热,因此对根管高度弥散性钙化的患者应注意轻微施力,不能强行打通,否则在处理根管下段时仍易出现台阶、偏移等并发症,因此仍有一定局限性。

4.2.3 引导式牙髓病学 (guided endodontics, GE) 近年来随着数字化牙科技术的迅速发展,GE作为一种新的牙髓治疗方式,在钙化根管的治疗中表现出显著的优势。2016年, Krastl等^[49]提出了GE的概念,通过使用3D打印导板辅助术者定位、预备根管,又被称之为静态导航牙髓治疗 (static guided endodontics, SGE)。SGE通过CBCT和三维口腔扫描采集患者牙齿和口内软组织的相关数据,以医学数字成像和通信 (digital imaging and communication in medicine, DICOM) 格式合并文件,在虚拟设计软件 (如SimPlant、coDiagnostix等) 中进行根管入路和导航车针的个性化设计,最后以广泛开放式表面镶嵌语言 (surface tessellation language, STL) 格式输出设计结果,通过3D打印形成个性化导板。导板多为牙支持式,与术前印模或石膏灌注模型配准合适后即可将其戴入患者口内,在导板引导下预备根管入路。导航车针一般是基于口腔种植学工具设计而来,直径多为0.8~1.5 mm^[49-52]。Connert等^[51]研究比较了3D打印导板与传统预备技术,认为在数字化导板引导下的根管预备可以显著减少牙体组织丧失,车针直径较小者更能避免牙本质过度切削。有学者^[53]报道:在3D导板引导下治疗上颌侧切牙牙髓坏死伴根尖周炎1例,CBCT示该患牙髓室及根管原有的低密度影像完全消失,髓腔钙化阻塞严重,经协商最终方案选择在虚拟设计软件中完成通路设计,在导板引导下配合小直径车针成功建立了根管通路,完成了该患牙的根管治疗,治疗过程的可预见性高,避免了牙体组织的过度切削,术后随访显示预后良好。受到后牙预备空间不足和根管弯曲等的限制,目前该技术一般局限于前牙区较直的根管,但也有报道^[54]应用于后牙牙髓治疗取得成功的案例。此外,3D打印导板的费用相对较高,术前准备时间长,术中牙本质碎屑可能堵塞导板套管导致水冷却不足,同时无法直视术区,一旦出现偏移难以调整等也成为该技术应用的局限性所在。

为弥补静态导航所带来的局限性,动态导航牙髓治疗 (dynamic guided endodontics, DGE) 应运而生,因此现阶段GE的内容不再只局限于静态导航技术,而是对所有能够指导完成根管微创入路的数字化规划技术的统称。动态实时导航系统 (如X-Guide、Navident) 由口腔种植学辅助软件发展而来,无需打印导板和使用适合套管的特定车

针,将患者术前CBCT及三维口扫的数据导入实时导航系统中,术者即可在术中通过观察实时导航来调整车针方向及深度,有效避免了后牙区操作空间受限、碎屑堵塞及水冷却不足等问题,同时由于术者为直立坐位,亦避免了长时间的低头弯腰动作。Dianat等^[55]使用X-guide系统成功进行了1例右上颌第一磨牙根管钙化合并牙髓根尖周病的根管治疗,预后良好。但DGE前期投入较大,同时术者需经过一定的培训,目前临床应用仅为个例,仍处于探索阶段。

GE的安全性和临床有效性目前已得到充分验证,在3D打印的导板引导下根管口定位及预备的准确率大幅上升^[56-58],根管入路在根尖目标点与原计划入路偏差较小,其大小为0.12~0.47 mm,平均角度偏差为1.59°~1.81°,能够精确预备到根尖三分之一,并能有效避免台阶、穿孔等并发症发生,缩短治疗时间。同时有研究表明DGE引导下的根管预备成功率可达93%^[59],其准确率与SGE相似,均高于自由手^[60]。尽管引导式牙髓病学在牙髓钙化的治疗中表现出显著优势,但其仍存在成本高、技术不够成熟等问题,尚未广泛应用于临床诊疗中。

4.3 根尖手术

根管治疗是钙化患牙的首选治疗方法,但对于根管系统复杂、临床症状较重的钙化患牙,若保守治疗失败,可选择进行根尖手术治疗,即切除病损区的根尖后进行倒预备及倒充填。然而对于根尖手术来说自由手操作同样存在定位较难和过度切削的问题,钙化的根管末端也使得管腔定位和倒预备存在困难,因此除了常规在显微镜下操作之外,导航技术近年来也逐渐应用于根尖手术^[61-63],将手术过程精准化、微创化,能够有效保护毗邻的重要解剖结构,充分提高治疗成功率。有研究^[64]表明:对于有经验和无经验的术者,数字化导板引导下根尖切除术的长度和角度偏差均有明显降低,在95%置信区间内,平均长度偏差分别降至0.31 mm和0.31 mm,角度偏差分别降至5.04°和6.79°,相较于传统根尖手术表现出了明显的优越性。

5 小结

牙髓钙化是一种增龄性变化或病理性反应,是一种多因素疾病,多无临床症状,其诊断多依

赖于影像学表现。单纯的牙髓钙化不需要特殊治疗,但当其出现牙髓或根尖周病变时,则首选根管治疗。钙化堵塞的根管口难以定位,根管疏通困难,易发生根管侧穿、台阶形成等并发症,因此如何高效精准地进行钙化根管预备是治疗成功的关键和未来的研究方向。C先锋锉、C+锉及镍钛器械等在疏通钙化根管时较其他根管器械表现出明显的优势,结合EDTA等制剂进行化学预备,有利于去除钙化物,是钙化根管建立通路的有效方式。显微超声技术可放大术区,帮助定位髓室底及钙化的根管口,避免遗漏;同时超声的声流效应及空穴效应等大大提高了切削效率,目前已广泛应用于临床。GE是近年来的研究热点,利用数字化技术的优势,SGE/DGE将预备过程精准、微创化,能有效减少并发症的发生,但目前该技术仍处于探索阶段,存在成本高、应用量少等问题,因此在探寻更适合于临床治疗的技术方面仍需大量研究工作。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

- [1] Carvalho TS, Lussi A. Age-related morphological, histological and functional changes in teeth[J]. *J Oral Rehabil*, 2017, 44(4): 291-298.
- [2] Jannati R, Afshari M, Moosazadeh M, et al. Prevalence of pulp stones: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Evid Based Med*, 2019, 12(2): 133-139.
- [3] 于世凤. 口腔组织病理学[M]. 7版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 181-192.
Yu SF. Oral histopathology[M]. 7th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 181-192.
- [4] Mello-Moura AC, Bonini GA, Zardetto CG, et al. Pulp calcification in traumatized primary teeth: prevalence and associated factors[J]. *J Clin Pediatr Dent*, 2011, 35(4): 383-387.
- [5] Malhotra N, Mala K. Calcific metamorphosis. Literature review and clinical strategies[J]. *Dent Update*, 2013, 40(1): 48-50, 53-54, 57-58.
- [6] 史瑞棠, 侯本祥. 牙髓钙化的病因、诊断和治疗策略[J]. *中华口腔医学杂志*, 2022, 57(3): 220-226.
Shi RT, Hou BX. Causes, diagnosis and treatment strategies for dental pulp calcification[J]. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(3): 220-226.

- [7] Tang L, Sun TQ, Gao XJ, et al. Tooth anatomy risk factors influencing root canal working length accessibility[J]. *Int J Oral Sci*, 2011, 3(3): 135-140.
- [8] Yang YM, Guo B, Guo LY, et al. CBCT-aided microscopic and ultrasonic treatment for upper or middle thirds calcified root canals[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 4793146.
- [9] Aslantas EE, Buzoglu HD, Karapinar SP, et al. Age-related changes in the alkaline phosphatase activity of healthy and inflamed human dental pulp[J]. *J Endod*, 2016, 42(1): 131-134.
- [10] Gulsahi A, Cebeci AI, Özden S. A radiographic assessment of the prevalence of pulp stones in a group of Turkish dental patients[J]. *Int Endod J*, 2009, 42(8): 735-739.
- [11] 张文萍, 陈瑞扬. 牙髓钙化形成的原因探讨[J]. *临床口腔医学杂志*, 2008, 24(5): 272-274.
Zhang WP, Chen RY. Analysis of the causes of the pulp calcification formation[J]. *Clin J Stomatol*, 2008, 24(5): 272-274.
- [12] McCabe PS, Dummer PM. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge[J]. *Int Endod J*, 2012, 45(2): 177-197.
- [13] Andreasen FM, Kahler B. Pulpal response after acute dental injury in the permanent dentition: clinical implications—a review[J]. *J Endod*, 2015, 41(3): 299-308.
- [14] Huang LG, Chen G. A histological and radiographic study of pulpal calcification in periodontally involved teeth in a Taiwanese population[J]. *J Dent Sci*, 2016, 11(4): 405-410.
- [15] Nissrin B, Basma R, Majid S. Association between periodontitis and pulp calcifications: radiological study[J]. *Int J Dent*, 2022, 2022: 9599554.
- [16] Sabeti M, Tayeed H, Kurtzman G, et al. Histopathological investigation of dental pulp reactions related to periodontitis[J]. *Eur Endod J*, 2021, 6(2): 164-169.
- [17] Youssef AR, Emara R, Taher MM, et al. Effects of mineral trioxide aggregate, calcium hydroxide, biodentine and emdogain on osteogenesis, odontogenesis, angiogenesis and cell viability of dental pulp stem cells[J]. *BMC Oral Health*, 2019, 19(1): 133.
- [18] Okabe T, Sakamoto M, Takeuchi H, et al. Effects of pH on mineralization ability of human dental pulp cells[J]. *J Endod*, 2006, 32(3): 198-201.
- [19] Almutairi W, Al-Dahman Y, Alnassar F, et al. Intracanal calcification following regenerative endodontic treatment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(4): 3333-3342.
- [20] Zaen El-Din AM, Hamama HH, Abo El-Elaa MA, et al. The effect of four materials on direct pulp capping: an animal study[J]. *Aust Endod J*, 2020, 46(2): 249-256.
- [21] Tassoker M, Magat G, Sener S. A comparative study of cone-beam computed tomography and digital panoramic radiography for detecting pulp stones[J]. *Imaging Sci Dent*, 2018, 48(3): 201-212.
- [22] Fleig S, Attin T, Jungbluth H. Narrowing of the radicular pulp space in coronally restored teeth[J]. *Clin Oral Investig*, 2017, 21(4): 1251-1257.
- [23] da Silva EJNL, Prado MC, Queiroz PM, et al. Assessing pulp stones by cone-beam computed tomography[J]. *Clin Oral Investig*, 2017, 21(7): 2327-2333.
- [24] Vitali FC, Cardoso IV, Mello FW, et al. Association between orthodontic force and dental pulp changes: a systematic review of clinical and radiographic outcomes[J]. *J Endod*, 2022, 48(3): 298-311.
- [25] Srivastava KC, Shrivastava D, Nagarajappa AK, et al. Assessing the prevalence and association of pulp stones with cardiovascular diseases and diabetes mellitus in the Saudi Arabian population—a CBCT based study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(24): 9293.
- [26] Alsamahi S, Milne TM, Hussaini H, et al. Type 2 diabetes and the clinically normal pulp: an *in vitro* study[J]. *Int Endodontic J*, 2022, 55(6): 660-671.
- [27] Inagaki Y, Yoshida K, Ohba H, et al. High glucose levels increase osteopontin production and pathologic calcification in rat dental pulp tissues[J]. *J Endod*, 2010, 36(6): 1014-1020.
- [28] Nakajima Y, Inagaki Y, Hiroshima Y, et al. Advanced glycation end-products enhance calcification in cultured rat dental pulp cells[J]. *J Endod*, 2013, 39(7): 873-878.

- [29] Sugiyama K, Miura J, Shimizu M, et al. Effects of advanced glycation end products on dental pulp calcification[J]. *Oral Dis*, 2022, 28(3): 745-755.
- [30] Nayak M, Kumar J, Prasad LK. A radiographic correlation between systemic disorders and pulp stones[J]. *Indian J Dent Res*, 2010, 21(3): 369-373.
- [31] Ezoddini-Ardakani F, Nemayandeh SM, Sadrbafighi SM, et al. Diagnostic value of dental pulp stones in the early diagnosis of ischemic heart diseases[J]. *Health*, 2015, 7(3): 336-345.
- [32] Babu J, Swarnalatha C, Rao P, et al. Pulp stones as risk predictors for coronary artery disease[J]. *Int J Prev Med*, 2020, 11(1): 7.
- [33] Pettiette MT, Zhong S, Moretti AJ, et al. Potential correlation between statins and pulp chamber calcification[J]. *J Endod*, 2013, 39(9): 1119-1123.
- [34] American Academy of Pediatric Dentistry. Guideline on dental management of heritable dental developmental anomalies[J]. *Pediatr Dent*, 2013, 35(5): E179-E184.
- [35] Amler MH. Pulp calcification as a possible factor in trigeminal neuralgia: a case report[J]. *N Y State Dent J*, 1986, 52(1): 32-33.
- [36] Patel S. New dimensions in endodontic imaging: part 2. cone beam computed tomography[J]. *Int Endod J*, 2009, 42(6): 463-475.
- [37] McClammy TV. Endodontic applications of cone beam computed tomography[J]. *Dent Clin North Am*, 2014, 58(3): 545-559.
- [38] 徐琼, 刘建伟, 凌均荣. 手术显微镜配合超声技术处理钙化根管的治疗效果[J]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2011, 5(1): 52-57.
- Xu Q, Liu JW, Ling JQ. Clinical effect of calcified root canals with ultrasonic instruments under dental operating microscope[J]. *Chin J Stomatol Res (Electr Ed)*, 2011, 5(1): 52-57.
- [39] 赵隽隽, 周卓君, 韩俊力, 等. Mtwo 镍钛器械在钙化阻塞根管治疗中的应用[J]. *上海口腔医学*, 2016, 25(2): 204.
- Zhao JJ, Zhou ZJ, Han JL, et al. Clinical management of calcified root canal with Mtwo NiTi files[J]. *Shanghai J Stomatol*, 2016, 25(2): 204.
- [40] Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, et al. Calcium loss from root canal dentin following EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl treatment with or without subsequent NaOCl irrigation[J]. *J Endod*, 2007, 33(5): 581-584.
- [41] Sato T, Fujimaki R, Suzuki J, et al. Bactericidal effect of a novel alkaline EDTA root canal cleaning solution[J]. *Eur J Dent*, 2021, 15(3): 546-550.
- [42] Chu T, Ni XF, Zhu YH. EDTA combined with C-pilot files and microultrasound for root canal calcification: dredging effect and safety analysis[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 1911448.
- [43] Kumar R. Report of a rare case: a maxillary first molar with seven canals confirmed with cone-beam computed tomography[J]. *Iran Endod J*, 2014, 9(2): 153-157.
- [44] Lim A, le Clerc J. Endodontic treatment of a hypertaurodontic mandibular left second molar in a patient with many taurodonts combined with multiple pulp stones[J]. *Aust Endod J*, 2019, 45(3): 414-419.
- [45] Robinson JP, Macedo RG, Verhaagen B, et al. Cleaning lateral morphological features of the root canal: the role of streaming and cavitation[J]. *Int Endod J*, 2018, 51(Suppl 1): e55-e64.
- [46] Ashwinkumar V, Nandini S, Velmurugan N. Endodontic management of three-canal mandibular lateral incisor using dental operating microscope[J]. *J Dent (Tehran)*, 2014, 11(4): 490-494.
- [47] 毛学理, 凌均荣, 林正梅, 等. 锥形束CT结合显微超声技术处理钙化根管的效果评价[J]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2011, 5(6): 594-599.
- Mao XL, Ling JQ, Lin ZM, et al. Evaluation of cone beam computed tomography combining with dental microscopy and ultrasonic instrument in the treatment of canal calcification[J]. *Chin J Stomatol Res (Electr Ed)*, 2011, 5(6): 594-599.
- [48] Aydemir S, Cimilli H, Mumcu G, et al. Crack formation on resected root surfaces subjected to conventional, ultrasonic, and laser root-end cavity preparation[J]. *Photomed Laser Surg*, 2014, 32(6): 351-355.
- [49] Krastl G, Zehnder MS, Connert T, et al. Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology[J]. *Dent Traumatol*, 2016, 32(3): 240-246.

- [50] Torres A, Shaheen E, Lambrechts P, et al. Micro-guided endodontics: a case report of a maxillary lateral incisor with pulp canal obliteration and apical periodontitis[J]. *Int Endod J*, 2019, 52(4): 540-549.
- [51] Connert T, Krug R, Eggmann F, et al. Guided endodontics versus conventional access cavity preparation: a comparative study on substance loss using 3-dimensional-printed teeth[J]. *J Endod*, 2019, 45(3): 327-331.
- [52] Todd R, Resnick S, Zicarelli T, et al. Template-guided endodontic access[J]. *J Am Dent Assoc*, 2021, 152(1): 65-70.
- [53] Kaur G, Venkatesh KV, Sihivahanan D. Micro-guided endodontics: a case report of conservative approach for the management of calcified maxillary lateral incisors[J]. *Saudi Endod J*, 2021, 11(2): 266.
- [54] Shi XL, Zhao SY, Wang WD, et al. Novel navigation technique for the endodontic treatment of a molar with pulp canal calcification and apical pathology[J]. *Aust Endod J*, 2018, 44(1): 66-70.
- [55] Dianat O, Gupta S, Price JB, et al. Guided endodontic access in a maxillary molar using a dynamic navigation system[J]. *J Endod*, 2021, 47(4): 658-662.
- [56] Zehnder MS, Connert T, Weiger R, et al. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location[J]. *Int Endod J*, 2016, 49(10): 966-972.
- [57] Connert T, Zehnder MS, Weiger R, et al. Micro-guided endodontics: accuracy of a miniaturized technique for apically extended access cavity preparation in anterior teeth[J]. *J Endod*, 2017, 43(5): 787-790.
- [58] Peña-Bengoa F, Valenzuela M, Flores MJ, et al. Effectiveness of guided endodontics in locating calcified root canals: a systematic review[J]. *Clin Oral Investig*, 2023, 27(5): 2359-2374.
- [59] Torres A, Boelen GJ, Lambrechts P, et al. Dynamic navigation: a laboratory study on the accuracy and potential use of guided root canal treatment[J]. *Int Endod J*, 2021, 54(9): 1659-1667.
- [60] Jain SD, Carrico CK, Bermanis I. 3-dimensional accuracy of dynamic navigation technology in locating calcified canals[J]. *J Endod*, 2020, 46(6): 839-845.
- [61] Gambarini G, Galli M, Stefanelli LV, et al. Endodontic microsurgery using dynamic navigation system: a case report[J]. *J Endod*, 2019, 45(11): 1397-1402.e6.
- [62] Giacomino CM, Ray JJ, Wealleans JA. Targeted endodontic microsurgery: a novel approach to anatomically challenging scenarios using 3-dimensional-printed guides and trephine burs—a report of 3 cases [J]. *J Endod*, 2018, 44(4): 671-677.
- [63] Fu WT, Chen C, Bian Z, et al. Endodontic microsurgery of posterior teeth with the assistance of dynamic navigation technology: a report of three cases[J]. *J Endod*, 2022, 48(7): 943-950.
- [64] Peng L, Zhao J, Wang ZH, et al. Accuracy of root-end resection using a digital guide in endodontic surgery: an *in vitro* study[J]. *J Dent Sci*, 2021, 16(1): 45-50.

(本文编辑 吴爱华)