

· 特约述评 ·

临床导向的机用镍钛预备器械研究新进展

崔晨 权晶晶 韦曦

中山大学附属口腔医院牙体牙髓病科, 广东省口腔疾病临床医学研究中心, 广州 510055

[摘要] 根管治疗是牙髓及根尖周疾病的主要治疗手段, 为了增进根管清理和成形的效果, 不同材质和设计的根管预备器械不断涌现, 其中机用镍钛预备器械极大提高了根管预备效率。然而, 随着根管系统解剖复杂性、根管治疗目的和预后的认识的深入, 临床实践对机用镍钛预备器械提出了新需求, 这些基于临床导向的需求为器械改革创新提供了动力。目前镍钛预备系统不断推陈出新, 新型机用镍钛预备系统的改良及优势何在, 其如何提高根管预备效率, 本文拟对这类问题进行系统阐述。

[关键词] 根管治疗; 镍钛器械; 机动预备; 微创; 效率; 临床应用

[中图分类号] R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2024.2024225



本文链接 开放科学标识码

Research progress in problem-solving nickel-titanium rotary instrument in endodontics

Cui Chen, Quan Jingjing, Wei Xi

Dept. of Operative Dentistry and Endodontics, Hospital of Stomatology, Sun Yat-sen University & Guangdong Provincial Clinical Research Center of Oral Diseases, Guangzhou 510055, China

Supported by: National Natural Science Foundation of China (82370943, 82100972); The Key Clinical Technical Project of Guangzhou (2023P-ZD07)

Correspondence: Wei Xi, E-mail: weixi@mail.sysu.edu.cn

[Abstract] Root canal therapy is the primary treatment method for pulpal and periapical diseases. Various advanced endodontic instruments for mechanical preparation have been marketed. The emergence of nickel-titanium rotary instruments has greatly improved the efficiency of root canal preparation. New demands have been put forward for nickel-titanium rotary instruments as a result of the deepening of clinicians' awareness of root canal anatomy system as well as the purpose and prognosis of root canal treatment. These clinical-oriented demands accelerate instrument reform and innovation. This work presents new marketed nickel-titanium systems and discusses the advantages and limitations of these systems and how they perform in terms of the efficiency and outcome of root canal preparation.

[Key words] root canal therapy; nickel-titanium instrument; rotary preparation; minimally invasive; efficiency; clinical application

根管预备是根管治疗中的重要步骤之一, 其目的是应用机械和化学预备手段彻底去除根管内的感染物, 为根管充填提供足够的空间。基于根管治疗病例的长期随访及反馈, 近年对根管预备

提出了新的要求, 包括微创预备避免健康牙体组织的损失、高效预备简化操作流程、三维成形提高复杂根管内感染物的清理效能等。根管预备要求的提升引起了根管治疗策略的变化, 也伴随着根管预备器械设计和应用的改良。在过去的30多年中, 机用镍钛器械的使用极大地提高了根管清理和成形的效率, 成为临床操作重要的组成部分。目前商品化的机用镍钛器械推陈出新, 本文就近年新型镍钛器械的机械性能、微创成形能力及操作特点等相关研究进展作一总结, 归纳新型机用

[收稿日期] 2024-06-12; **[修回日期]** 2024-07-09

[基金项目] 国家自然科学基金 (82370943, 82100972); 广州地区临床重大技术项目 (2023P-ZD07)

[作者简介] 崔晨, 主治医师, 博士, E-mail: cuich7@mail.sysu.edu.cn

[通信作者] 韦曦, 教授, 博士, E-mail: weixi@mail.sysu.edu.cn

镍钛器械在解决临床相关问题方面的进展。

1 微创牙髓治疗是否对镍钛预备器械的性能提出了新要求和新主张?

自2000年微创牙科学的概念提出以来,微创治疗已应用于临床诊疗的不同阶段,其强调保护原有组织结构,在治疗中尽可能减少健康组织的损失^[1]。在牙髓领域,为了达到更加安全、精准和有效的治疗效果,微创牙髓治疗理念逐渐成为临床治疗的趋势。微创牙髓治疗不仅要求预防和治理患牙根尖周炎症,还需要考虑患牙的远期保留,因此对传统根管治疗方法进行了修正。微创牙髓治疗的发展得益于根管治疗器械的改进。在机械预备中,微创治疗要求预备器械充分清理根管的同时尽可能保留根管原有形态结构,因此对预备器械提出了新要求。

髓腔进入和初预备是根管治疗的首要操作步骤,即在开髓后进行冠方预敞,并用小号预备锉探测和疏通根管。冠方预敞的优点包括建立根管直线通路、减少因根管上端阻碍引起的根管偏移与器械分离、为冲洗液和牙本质碎屑提供回流和排出空间。然而,过度扩大根管口可能会损失颈周牙本质。颈周牙本质特指牙槽嵴附近的牙本质,包括从位于牙槽嵴顶冠方4 mm至根方4 mm范围内的牙本质区域^[2]。颈周牙本质可将牙冠负荷传递至牙根以分散咬合力,并为修复提供必要的牙本质肩领,因此颈周牙本质的保留在根管治疗后患牙修复中具有重要意义。传统不锈钢G钻刚性强、震动大,易发生根管偏移或造成根管上段微裂。机用镍钛开口锉能够更好地顺应根管走向,保持根管原有形态,避免颈周牙本质受到过度切削。随着新型镍钛器械发展,镍钛开口锉的柔韧性和抗疲劳能力得以提高,中心定位能力增加、器械分离减少,在预备过程中自根管中段向上适度扩大敞,避免过度预敞根管口。

在预备过程中随着大锥度镍钛机用器械的广泛使用,有研究^[3]发现当镍钛机用器械预备至20号0.04锥度时根管冠1/3段已达到相对清洁,然而此时根尖1/3处仍存在大量玷污层,根管需继续预备扩大。以往机用镍钛器械以单一锥度为主,此时若继续扩大根管以彻底清理根尖区,势必会造成根管口过度预备。那么可否组合多种类型镍钛器械达到微创根管预备的效果呢?近年来新型机用镍钛器械就此问题进行了设计改良,超柔韧性

材料的发明及可变锥度镍钛器械的设计为根管上段与下段预备宽度的矛盾提供了解决途径。TruNatomy是2020年推出的新型镍钛锉系统,除特殊的热处理工艺外,使用最大凹槽直径为0.8 mm的细长镍钛丝和偏心的平行四边形横截面设计制造,使器械在具备高柔韧度的同时,预备提拉过程可高效排出牙本质碎屑,减少对根管冠方空间的依赖。其变锥度设计在冠方锥度减小,理论上利于颈周牙本质的保护。在具体实践中,不同研究者体外对比了TruNatomy与其他新型锉如ProTaper Gold、ProTaper Ultimate、WaveOne Gold对牙体预备前后颈周牙本质的改变,发现TruNatomy对颈周牙本质的体积影响最小,提示TruNatomy在颈周牙本质保存方面表现优越^[4-5]。此外,新型镍钛锉VDW. ROTATE同样采取了变锥度设计,利用特殊热处理工艺及偏心运动设计,提高了器械的灵活性,操作过程更加尊重根管原有解剖形态。在乳磨牙袋状根管及恒切牙椭圆形根管中使用VDW. ROTATE均能有效清理根管内碎屑并减少根管内未预备表面积^[6-7]。在弯曲根管中,使用VDW. ROTATE与TruNatomy有相似的成形效果,两者均可保持良好的中心定位能力,避免根管偏移引起的过度预备^[8]。然而,镍钛器械不是微创根管预备的唯一手段,有学者^[9]组合不同髓腔入路设计与新型镍钛器械TruNatomy和WaveOne Gold对颈周牙本质保留的效果,结果发现使用微创保守髓腔入路对牙体剩余组织的保护作用优于传统开髓方式,且在微创入路的前提下两种新型镍钛锉对根管壁牙本质的保护作用相似,提示临床操作中还需结合患牙具体情况针对性设计操作策略。

根管探查和疏通的目的是建立顺滑通路,即建立一从根管口到生理性根尖孔的平滑顺畅的通道。建立顺滑通道可以减少侧穿风险,引导成型锉在根管中安全顺畅运动。临床常使用小号手动不锈钢K锉进行根管疏通,其具有良好的触觉反馈,但切削效率较低,同时技术敏感性高,易将牙本质碎屑推出根尖孔发生根尖部堵塞。机用疏通锉的出现优化了顺滑通道的建立。有研究^[10-11]表明,在弯曲根管中,与传统K锉相比,机用疏通锉如PathFile和ProGlider操作时间更短,且施力更均匀,减少碎屑推出根尖孔,术后患者发生诊间疼痛的比例降低。在使用相同镍钛锉成形的条件下,对比机用疏通锉与手用K锉疏通对弯曲根管偏移的影响,发现K锉在根尖1/3产生偏移。在根管疏通过程中引起的根管偏移后期会随着大锥

度镍钛器械的使用而放大,导致机械清理效率降低、根管侧穿风险增加,并因过度切削健康牙体影响患牙的远期保留。K锉刚性较大,尖端切削能力强,在遇到根管弯曲或阻塞时易偏离原有方向;而机用疏通锉使用半引导尖,柔韧性高,利于维持根管解剖形态,避免根管口扩大和根管拉直^[12-14]。目前多种商品化序列锉推出配套使用的机用疏通锉,对比不同类型机用疏通锉,有研究^[15]发现,使用特殊热处理加工工艺的疏通锉 ProGlider 和 WaveOne Gold Glider 的抗疲劳能力均优于传统镍钛疏通锉 PathFile。另外,尽管根尖区中心定位能力相似,特殊的往复运动方式疏通锉 WaveOne Gold Glider 和 R-Pilot 在根管中上段的中心定位能力均优于 ProGlider^[16]。同时,临床队列对照研究^[17]结果显示,相比于 ProGlider, WaveOne Gold Glider 疏通根管引起的术后疼痛发生率更低。TruNatomy 与 TruNatomy Glider 配套使用在微创保守髓腔入路中则更具优势,相比于 WaveOne Gold 与 WaveOne Gold Glider, TruNatomy 在微创保守髓腔入路中操作时间更短^[18]。需要注意的是,已有学者^[19]提出目前大部分机用疏通锉的目的是初步扩大根管而非探查和疏通根管,因此临床上特别是在狭窄弯曲及钙化根管中,在使用机用疏通锉之前仍需首先使用 8 号或 10 号手用锉初步建立顺滑通道。

2 提高临床预备效率是否提倡使用单支锉系统代替多支序列锉?

当代牙髓治疗不仅要求微创操作,也对操作效率提出要求。一方面显微镜的普及使临床医生能在放大明亮视野中操作,促进根管治疗效率的提升;另一方面,机用镍钛器械的改良,尤其是单支锉系统的出现进一步提高了预备效率。单支锉系统采用单一器械同步完成根管口预敞和根管顺滑通路预备,简化操作流程,达到高效的根管预备。体外研究^[20]发现,使用 Reciproc R25 (VDW) 在没有预先建立根管通路的前提下,90.7%的弯曲根管和 96.4%的直根管均可顺利到达根管工作长度。另一项临床试验研究^[21]同样证实,利用 Reciproc R25 预备上颌磨牙 MB2 根管无须顺滑通路,约 86% 病例能直接预备至工作长度,预备效率高于手用锉。

单支锉系统的实现不仅基于材料及器械设计的发展,而且与器械的运动模式有关。目前商品

化的单支锉可根据其运动方式分为连续旋转运动式和往复运动式。连续旋转运动是最常见的机用镍钛锉的工作模式,通过马达驱动以中心对称旋转或偏心旋转的方式在根管内进行 360° 旋转。在圆形根管中连续旋转运动中心稳定性良好,但在弯曲根管中旋转过程切削刃易嵌入牙本质壁进而产生较大的扭转力。而往复运动模式则是依据“平衡力”原理提出,即大角度正向旋转与小角度反向旋转相结合的运动方式。大角度旋转有利于切割牙本质壁成形根管,而小角度逆向旋转可缓解根管壁的压力并释放器械应力,从而提高器械抗疲劳性能。研究^[22-23]证实,使用相同的镍钛器械,往复运动模式器械的抗疲劳性能强于连续旋转运动。此外,单支锉在保护碎屑推出根尖孔、减少术后疼痛方面具有优势。在牙髓炎或根尖周炎的患牙中,当根管预备过程中不慎将感染碎屑推出根尖孔,可引发根尖周区域的急性炎症反应并引起疼痛。体外试验对根尖推出物进行定量分析,对比传统手用锉、多支序列锉 ProTaper 与复式单支锉 WaveOne、Reciproc 的根尖碎屑推出情况,发现手用锉技术推出物最多,ProTaper 其次,WaveOne、Reciproc 推出碎屑最少^[24]。以上结果提示单支锉系统在预备效率和能力方面比传统预备器械有所提升。

那么单支锉的出现是否可以替代多支序列锉呢?首先在成形效果方面,单支锉系统的优势尚存在争议。一项研究^[25]在 20°~40° 的下颌磨牙根管中对比单支锉系统 OneShape、Reciproc、WaveOne 与多支序列锉 ProTaper Next、TFA、ProTaper Universal 的预备效果,发现其在根管偏移、根管弯曲度、中心定位等方面均未发现明显差异。Saleh 等^[26]在树脂块中对 WaveOne、Reciproc 和 OneShape 三种单支锉的成形能力进行研究,发现连续运动式单支锉 OneShape 比往复运动式单支锉 WaveOne 和 Reciproc 能更好地保存 S 型根管曲度。但 Saber 等^[27]则得到了相反的结论,他们利用弯曲度 25°~35° 的下颌磨牙,发现往复运动式单支锉 WaveOne、Reciproc 能更好地维持根管原有形态,而连续运动式单支锉 OneShape 预备所需时间最短。这些结果提示,除了镍钛器械本身性能,体外研究模具材质、根管形态、操作者经验等多种因素也会影响根管的成形能力。其次,在碎屑推出方面,研究^[28]对比 WaveOne Gold、Twisted Files 和 ProTaper Next 推出物重量,发现三者推出物程度相似,提示新型多支序列锉同样可以减少根尖碎

屑推出。一项临床随机对照试验分析了新型镍钛锉引起术后疼痛的表现,将120例下颌第一磨牙不可复性牙髓炎患者分为3组,分别使用手用锉、ProTaper Next和WaveOne Gold进行预备,观察术后12 h到1周不同时间点患者的疼痛情况。结果发现,尽管在远期效果反馈中三者对患者疼痛评分无明显差异,但机用锉在术后12 h较手用锉疼痛评价下降,提示新型单支锉及多支序列锉均能有效避免术后短时疼痛^[29]。以上研究提示,单支锉系统虽然较传统预备手段有所改进,但尚不能完全替代多支序列锉。

3 根管三维成形的要求是否倒逼全新设计的预备系统的问世?

尽管各种镍钛系统通过材料、设计及运动方式的改良在根管预备的效率、成形效果及防范并发症方面均有改进,但根管系统错综复杂,包括卵圆形、C形、袋状根管,还有形态各异的根管弯曲、根管交通、根管分歧和侧副根管,这些因素均增加了根管清理和成形的难度。在X线影像中能观察到传统镍钛器械预备的根管呈光滑连续锥形,但随着三维CT的应用,研究^[30-32]发现临床中机械预备清洁根管的表面积常不足根管壁总面积的60%,并伴随部分健康牙体组织过度切削,尚无一种镍钛器械可达到对所有根管壁完整预备。因此,实现根管预备的三维成形成为现代预备器械的目标。旋转运动的机用镍钛器械切削牙本质在横截面上仅能形成对称圆形截面,无法对不规则根管横截面均匀切割。自调节根管锉(SAF)系统及Gentlefile系统采用全新的设计及运动模式,在根管三维成形方面提出新思路。

SAF由120 mm的镍钛晶体组成薄壁中空网状圆柱形设计,尖端为非对称锥体^[33]。器械进入根管后可轻易发生压缩及拉伸形变从而主动贴合根管原有形态,并对根管壁产生持续压力。器械与根管壁接触面粗糙,通过振幅0.4 mm的高频轴向震动,在卵圆形及不规则根管中显著减少未预备根管壁的面积。中空设计允许整个根管预备期间持续冲洗,同时也不会产生冲洗压力,避免碎屑和冲洗液推出根尖孔。一项针对不可复性牙髓炎患者的临床对照研究发现,SAF预备患者术后疼痛程度低于XP-endo Shaper镍钛锉,且两种机用器械引起的术后疼痛均低于手用器械,展示了SAF在减少术后疼痛方面的优势^[34]。但是SAF系统的

使用也存在局限,首先是SAF通过对根管壁施力清理根管,施力随着根管壁的扩大而逐渐减小,目前该系统有1.5 mm和2.0 mm两种直径规格,因此对于超出直径范围的粗大根管尚不适用。其次,疲劳检测发现该系统的网格与纵轴连接节点是薄弱点,可能出现网格断裂,增加了器械分离的风险,因此不推荐重复使用,增加了治疗成本^[35]。

Gentlefile系统采用不锈钢丝制作,中央主丝直径小于0.15 mm,根尖段盘绕第二根直径小于0.2 mm的不锈钢丝,根中上段盘绕第三根直径小于0.35 mm的不锈钢丝。尽管由不锈钢丝组成,体外研究发现Gentlefile的抗疲劳性能优于镍钛器械ProTaper Next和RevoS,且在工作中对根管壁施加的力明显小于后者,减少了临床器械分离的风险^[36]。这可能与Gentlefile的运动模式有关,器械表面粗糙化处理,工作时表面同样通过“刮擦”牙本质进行机械清洁和管壁扩大,避免了工作刃直接嵌入牙本质内形成应力集中^[37]。成形能力评价发现在曲度15°~25°的离体前磨牙中,Gentlefile预备后根管偏移小于ProTaper Next和HyFlex EDM,且清除玷污层的能力更强^[38]。然而目前关于Gentlefile的研究十分有限,在钙化、弯曲等不同根管条件下Gentlefile的成形能力有待验证,同时尚未见临床研究观察其远期效果,因此仍需大规模体内外研究评估。但不可否认,这类新型运动方式预备系统的出现为镍钛机用器械的变革打开思路。

4 根管系统的复杂性是否为多策略协同镍钛机械预备的推手?

迄今为止,尚未有一种预备系统可以机械清理全根管,而在器械难以进入的区域可容纳大量组织碎屑和感染物,尤其在感染根管中根管壁表面玷污层会含有多菌种生物膜,降低根管治疗的成功率,因此临床操作需要多策略协同配合镍钛机械进行根管清理。根管化学冲洗是根管清理必不可少的组成部分,注射器冲洗是临床常规使用方法,然而由于“气锁效应”的存在,根尖区根管内很难得到充分清洁;同时注射器冲洗效率与根管预备体积呈正相关,根管微创预备部分限制了注射器冲洗的潜能^[39]。因此动能冲洗设备应运而生,在液体输送和激活方面发挥重要作用。

除了常见的声波荡洗、超声冲洗及荡洗等动能冲洗设备,近年来出现了负压动能冲洗、机动

动能冲洗、激光动能冲洗等手段。负压动能冲洗(如EndoVac)通过负压推动冲洗液从髓腔到根尖方向的闭环流动,解除了气锁效应导致的根尖区冲洗不到位的问题。但在操作中,回收套管头须到达根尖,因此要求根尖预备直径须至少大于套管外径0.32 mm,多适用于粗大根管^[40]。机用动能冲洗系统是将镍钛合金器械制备成非锥体形态放入根管内,通过搅动荡洗达到根管清洗效果。体外研究^[41]在下颌磨牙中加入粪肠球菌,发现机用动能冲洗系统XP-Endo Finisher清除细菌效率较超声冲洗系统高,但两种系统对根管峡部及根尖区生物膜的清除效果均不明显。激光动能冲洗利用红外激光激活冲洗剂,通过产生的气泡内爆冲洗波并继发流体运动有效清洁根管壁,大大提高了玷污层清除效率。光子诱导光声流(photon-initiated photo acoustic streaming, PIPS)使用短脉宽激光持续作用创造强烈的光声冲击波,将锥形尖端放入髓腔即可使整个根管系统达到有效清洁^[42]。冲击波增强型发射光声流(shock wave enhanced emission photo acoustic streaming, SWEEPS)通过同步激光脉冲输送,增加次生气泡在根管壁周围产生剪切流,增加清洁效果。研究^[43]表明,在弯曲根管中使用PIPS及SWEEPS对根中及根尖段生物膜的清洁能力明显高于注射器、超声荡洗及声波荡洗。一项临床研究^[44]对200例下颌前磨牙不可逆性牙髓炎患者分别使用注射器冲洗、声波荡洗、超声冲洗、PIPS及SWEEPS进行根管冲洗,发现PIPS和SWEEPS可显著减少术后疼痛。但激光动能冲洗尚未普及,其临床效果仍待验证。目前尚未有任何一种冲洗手段可以完全清除根管内微生物及碎屑,临床亦无标准化程序,因此对于冲洗手段及组合策略的研究仍需深入。在复杂根管系统的患牙,尤其是感染根管内,必须联合镍钛预备及化学冲洗,采取多种策略协同清理感染物。

综上,随着根管治疗的应用及长期随访观察,对根管解剖系统的复杂性、根管治疗的目的和预后有了更深入的认识和理解,这些新发现和临床新问题是根管预备器械改革创新的动力。目前商品化的新型镍钛器械层出不穷,而其预备成形和清理效果需在临床中接受检验。通过临床实践与器械设计改良双向互动的良性循环,机用镍钛预备器械产生螺旋式上升的质变效应,将逐步接近完美的根管清理效果。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] White JM, Eakle WS. Rationale and treatment approach in minimally invasive dentistry[J]. J Am Dent Assoc, 2000, 131 Suppl: 13S-19S.
- [2] Clark D, Khademi J. Modern molar endodontic access and directed dentin conservation[J]. Dent Clin N Am, 2010, 54(2): 249-273.
- [3] Plotino G, Özyürek T, Grande NM, et al. Influence of size and taper of basic root canal preparation on root canal cleanliness: a scanning electron microscopy study[J]. Int Endod J, 2019, 52(3): 343-351.
- [4] Silva EJNL, Lima CO, Barbosa AFA, et al. The impact of TruNatomy and ProTaper gold instruments on the preservation of the periradicular dentin and on the enlargement of the apical canal of mandibular molars[J]. J Endod, 2022, 48(5): 650-658.
- [5] Ribeiro G, Martin V, Rodrigues C, et al. Comparative evaluation of the canal shaping ability, pericervical dentin preservation, and smear layer removal of TruNatomy, WaveOne gold, and ProTaper ultimate—an *ex vivo* study in human teeth[J]. J Endod, 2023, 49(12): 1733-1738.
- [6] Gucyemez Topal B, Falakaloglu S, Silva E, et al. Shaping ability of novel nickel-titanium systems in printed primary molars[J]. Int J Paediatr Dent, 2023, 33(2): 168-177.
- [7] Romeiro K, Brasil SC, Souza TM, et al. Influence of brushing motions on the shaping of oval canals by rotary and reciprocating instruments[J]. Clin Oral Investig, 2023, 27(7): 3973-3981.
- [8] Ürgüplüoğlu SN, Akıncı L, Şimşek N. Micro-computed tomography analysis of shaping ability of nickel-titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion[J]. Aust Endod J, 2024. doi: 10.1111/aej.12850.
- [9] Vorster M, van der Vyver PJ, Markou G. The effect of different access cavity designs in combination with WaveOne gold and TruNatomy instrumentation on remaining dentin thickness and volume[J]. J Endod, 2023, 49(1): 83-88.
- [10] Gunes B, Yesildal Yeter K. Effects of different glide path files on apical debris extrusion in curved root canals[J]. J Endod, 2018, 44(7): 1191-1194.
- [11] Zheng LX, Ji XF, Li CX, et al. Comparison of glide

- paths created with K-files, PathFiles, and the ProGlider file, and their effects on subsequent WaveOne preparation in curved canals[J]. *BMC Oral Heal*, 2018, 18(1): 152.
- [12] van der Vyver PJ, Paleker F, Vorster M, et al. Micro-computed tomographic evaluation of two single rotary glide path systems[J]. *Int Endod J*, 2019, 52(3): 352-358.
- [13] Liu JY, Zhou ZX, Tseng WJ, et al. Comparison of canal transportation and centering ability of manual K-files and reciprocating files in glide path preparation: a micro-computed tomography study of constricted canals[J]. *BMC Oral Heal*, 2021, 21(1): 83.
- [14] van der Vyver PJ, Paleker F, Vorster M, et al. Root canal shaping using nickel titanium, M-wire, and gold wire: a micro-computed tomographic comparative study of one shape, ProTaper next, and WaveOne gold instruments in maxillary first molars[J]. *J Endod*, 2019, 45(1): 62-67.
- [15] Ha JH, Kwak SW, Versluis A, et al. Buckling resistance of various nickel-titanium glide path preparation instruments in dynamic or static mode[J]. *J Endod*, 2020, 46(8): 1125-1129.
- [16] Aydın ZU, Keskin NB, Özyürek T, et al. Microcomputed assessment of transportation, centering ratio, canal area, and volume increase after single-file rotary and reciprocating glide path instrumentation in curved root canals: a laboratory study[J]. *J Endod*, 2019, 45(6): 791-796.
- [17] Danaci Z, Yeter KY. Evaluation of pain following the use of different single-file glide path systems: a randomized clinical trial[J]. *J Endod*, 2024, 50(2): 120-128.
- [18] Vorster M, van der Vyver PJ, Markou G. The effect of different molar access cavity designs on root canal shaping times using rotation and reciprocation instruments in mandibular first molars[J]. *J Endod*, 2022, 48(7): 887-892.
- [19] Plotino G, Nagendrababu V, Bukiet F, et al. Influence of negotiation, glide path, and preflaring procedures on root canal shaping-terminology, basic concepts, and a systematic review[J]. *J Endod*, 2020, 46(6): 707-729.
- [20] De-Deus G, Arruda TE, Souza EM, et al. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path[J]. *Int Endod J*, 2013, 46(10): 993-998.
- [21] Zuolo ML, Carvalho MC, De-Deus G. Negotiability of second mesiobuccal canals in maxillary molars using a reciprocating system[J]. *J Endod*, 2015, 41(11): 1913-1917.
- [22] Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion[J]. *J Endod*, 2013, 39(12): 1585-1588.
- [23] Kiefner P, Ban M, De-Deus G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments[J]. *Int Endod J*, 2014, 47(5): 430-436.
- [24] De-Deus G, Neves A, Silva EJ, et al. Apically extruded dentin debris by reciprocating single-file and multi-file rotary system[J]. *Clin Oral Investig*, 2015, 19(2): 357-361.
- [25] Capar ID, Ertas H, Ok E, et al. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals[J]. *J Endod*, 2014, 40(6): 852-856.
- [26] Saleh AM, Vakili Gilani P, Tavanafar S, et al. Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals[J]. *J Endod*, 2015, 41(4): 548-552.
- [27] Saber SEDM, Nagy MM, Schäfer E. Comparative evaluation of the shaping ability of WaveOne, Reciproc and OneShape single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth[J]. *Int Endod J*, 2015, 48(1): 109-114.
- [28] Elias W, Czarnecka B, Surdacka A. Apical extrusion of debris during root canal preparation with ProTaper Next, WaveOne Gold and Twisted Files[J]. *Materials (Basel)*, 2021, 14(21): 6254.
- [29] Shetty V, Yelke S, Wahjuningrum DA, et al. Post-operative quality of life after single-visit root canal treatment employing three different instrumentation techniques—An institutional randomized clinical trial[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(4): 1535.
- [30] Belladonna FG, Carvalho MS, Cavalcante DM, et al. Micro-computed tomography shaping ability assessment of the new blue thermal treated reciproc instrument[J]. *J Endod*, 2018, 44(7): 1146-1150.
- [31] De-Deus G, Belladonna FG, Simões-Carvalho M, et al. Shaping efficiency as a function of time of a new heat-treated instrument[J]. *Int Endod J*, 2019, 52(3): 337-342.
- [32] Zuolo ML, Zaia AA, Belladonna FG, et al. Micro-CT assessment of the shaping ability of four root canal instrumentation systems in oval-shaped canals[J]. *Int Endod J*, 2018, 51(5): 564-571.

- [33] Kim HC, Sung SY, Ha JH, et al. Stress generation during self-adjusting file movement: minimally invasive instrumentation[J]. J Endod, 2013, 39(12): 1572-1575.
- [34] Pawar AM, Bhardwaj A, Zanza A, et al. Severity of post-operative pain after instrumentation of root canals by XP-Endo and SAF full sequences compared to manual instrumentation: a randomized clinical trial[J]. J Clin Med, 2022, 11(23): 7251.
- [35] Nayak A, Kankar PK, Jain N, et al. Force and vibration correlation analysis in the self-adjusting file during root canal shaping: an *in-vitro* study[J]. J Dent Sci, 2018, 13(3): 184-189.
- [36] Moreinos D, Dakar A, Stone NJ, et al. Evaluation of time to fracture and vertical forces applied by a novel gentlefile system for root canal preparation in simulated root canals[J]. J Endod, 2016, 42(3): 505-508.
- [37] Neelakantan P, Khan K, Li KY, et al. Effectiveness of supplementary irrigant agitation with the Finisher GF Brush on the debridement of oval root canals instrumented with the Gentlefile or nickel titanium rotary instruments[J]. Int Endod J, 2018, 51(7): 800-807.
- [38] Htun PH, Ebihara A, Maki K, et al. Cleaning and shaping ability of gentlefile, HyFlex EDM, and ProTaper next instruments: a combined micro-computed tomographic and scanning electron microscopic study[J]. J Endod, 2020, 46(7): 973-979.
- [39] Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, et al. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model[J]. Int Endod J, 2010, 43(10): 909-916.
- [40] Pasricha SK, Makkar S, Gupta P. Pressure alteration techniques in endodontics-a review of literature[J]. J Clin Diagn Res, 2015, 9(3): ZE01-ZE06.
- [41] Alves FRF, Andrade-Junior CV, Marceliano-Alves MF, et al. Adjunctive steps for disinfection of the mandibular molar root canal system: a correlative bacteriologic, micro-computed tomography, and cryopulverization approach[J]. J Endod, 2016, 42(11): 1667-1672.
- [42] Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ, et al. Elimination of intracanal tissue and debris through a novel laser-activated system assessed using high-resolution micro-computed tomography: a pilot study[J]. J Endod, 2014, 40(4): 584-587.
- [43] Tong J, Liu L, Du J, et al. Effect of photon-induced photoacoustic streaming and shock-wave enhanced emission photoacoustic streaming technique on the removal of the smear layer after root canal preparation in curved root canals[J]. J Dent Sci, 2023, 18(1): 157-164.
- [44] Erkan EH, Gündoğar M, Uslu G, et al. Postoperative pain after SWEEPS, PIPS, sonic and ultrasonic-assisted irrigation activation techniques: a randomized clinical trial[J]. Odontology, 2022, 110(4): 786-794.

· 专家介绍 ·



韦曦, 主任医师、教授、博士生导师, 中山大学附属口腔医院牙体牙髓病科主任。兼任中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会副主任委员, 广东省口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会主任委员, 国家医师资格考试口腔类别试题开发专家委员会委员。主要从事牙髓病根尖周病的防治研究, 擅长牙体牙髓疾病的显微与数字化治疗。发表学术论文200余篇, 其中SCI收录96篇, 主编、副主编专著6部。主持国家自然科学基金、省部级科研项目等18项, 获省部级科技进步奖6项、省级教学成果一等奖3项。

(本文编辑 李彩)