

4种机用镍钛锉根管预备后形成牙本质微裂的研究

王梓 薛明

中国医科大学口腔医学院·附属口腔医院牙体牙髓病学教研室，
辽宁省口腔疾病重点实验室，沈阳 110002

[摘要] 目的 运用micro-CT比较T-Flex、Reciproc Blue (RB)、ProTaper Gold (PTG)和ProTaper Universal (PTU) 4种机用镍钛锉在体外根管预备后牙本质微裂形成方面的差异。方法 选用根管弯曲度不大于10°的新鲜离体双根管前磨牙32颗建立体外根管预备模型。根据所用镍钛系统将其随机分为T-Flex、RB、PTG、PTU组($n=8$)。设置micro-CT体素大小为17.18 μm ，扫描分析预备前后牙根横断面图像($n=56\ 940$)，观察牙本质微裂的存在。各组结果以存在裂纹的断层图像的数量及百分比来表示，McNemar检验用于比较预备前后牙本质微裂的存在是否有显著差异，显著性水平设定为 $P<0.05$ 。结果 总体有11.04%的图像显示有牙本质微裂($n=6\ 288$)。T-Flex、RB、PTG和PTU组在预备后观察到具有牙本质微裂截面的比例各自为9.82%、10.79%、12.27%和11.25%。所有在预备后断层图像上发现的牙本质微裂在相应的预备前图像中均已存在。使用上述镍钛系统预备前磨牙根管未出现新的微裂纹。结论 未经根管预备的离体牙中预先即存在牙本质微裂纹；T-Flex、RB、PTG和PTU 4种机用镍钛器械对前磨牙直根管进行根管预备均不会导致新的牙本质微裂纹形成。

[关键词] 根管预备；牙本质微裂；镍钛器械；微型计算机断层扫描

[中图分类号] R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2023.2023257



本文链接 开放科学标识码

Formation of dentinal microcracks after root canal preparation with four kinds of mechanical nickel-titanium files

Wang Zi, Xue Ming

Dept. of Conservative Dentistry and Endodontics, School and Hospital of Stomatology, China Medical University, Liaoning Provincial Key Laboratory of Oral Diseases, Shenyang 110002, China

Correspondence: Xue Ming, E-mail: 1623853367@qq.com

[Abstract] **Objective** This study aimed to compare the differences among four kinds of mechanical Ni-Ti files including T-Flex, Reciproc Blue (RB), ProTaper Gold (PTG), and ProTaper Universal (PTU) in dentinal microcrack generation after root canal preparation *in vitro* by using micro-computed tomography (micro-CT) analysis. **Methods** A total of 32 freshly extracted double-root-canal premolars with an angle not exceeding 10° were selected and established as root canal preparation models *in vitro*. Then, the specimens were randomly assigned to four experimental groups ($n=8$) according to the different Ni-Ti systems used for root canal preparation: group T-Flex, group RB, group PTG, and group PTU. The voxel size of the micro-CT was set at 17.18 μm . Pre- and post-operative cross-sectional images of roots ($n=56\ 940$) were scanned and analyzed to identify the presence of dentinal microcracks. The results of each group were expressed by the quantity and percentage of sectional images with microcracks. McNemar test was used to determine whether a significant difference existed in the existence of dentinal microcracks before and after instrumentation. The level of significance was set at $P<0.05$. **Results** Overall, 11.04% of the images presented dentinal defects ($n=6\ 288$). Dentinal microcracks were observed in 9.82%, 10.79%, 12.27%, and 11.25% of the post-instrumentation images from groups T-Flex, RB, PTG, and PTU, respectively. However, all these dentinal microcracks were already present in the

corresponding pre-operative images. No new microcrack of premolars were generated after the root canal preparation utilizing the aforementioned systems. **Conclusion**

[收稿日期] 2023-08-14; **[修回日期]** 2023-11-06

[作者简介] 王梓, 医师, 硕士, E-mail: AZ97_wangzi@163.com

[通信作者] 薛明, 主任医师, 博士, E-mail: 1623853367@qq.com

Denti-nal microcracks already existed in advance in extracted teeth before root canal preparation. Root canal preparation using the T-Flex, RB, PTG, and PTU systems did not induce the formation of new dentinal microcracks on the straight root canals of premolars.

[Key words] root canal preparation; dentinal microcracks; Ni-Ti instrument; micro-computed tomography

根管治疗术 (root canal therapy, RCT) 旨在通过机械化学预备清理根管系统内定植的细菌等微生物, 实现对感染的有效控制。因微生物多以抗药性更强的生物膜形式存在, 感染根管中细菌侵入根管壁的深度可达 200~500 μm , 故根管机械预备对于有效清洁和根管成形来说必不可少。机用镍钛锉作为根管预备的主流器械, 清除残髓、生物膜、毒素等较手用不锈钢锉更加高效、彻底且成形能力更好。但镍钛器械对根管壁形成的瞬时应力集中被认为会引发牙本质的细小微裂纹^[1-2]。微裂纹在日常咀嚼等反复承受应力的过程中, 可能会进展最终形成牙根纵裂, 使得患牙的远期保存率大大降低^[3]。微裂缝隙处还可能有残存的细菌定植, 产生微渗漏, 破坏根管封闭系统, 导致再感染发生。镍钛器械预备过程造成的牙本质微裂属医源性损伤, 相关学者^[2,4]认为根管锉的切削能力、横截面形状、锥度大小、合金晶相、运动方式等镍钛锉相关设计因素均与其预备过程中是否会导致牙本质微裂发生有关。

ProTaper Universal (PTU; Dentsply 公司, 瑞士) 作为传统超弹性奥氏体镍钛丝制成的连续旋转运动模式多支锉系统, 刃部为变化大锥度设计, 横截面呈凸三角形。以上设计使得 PTU 具有较好的成形效果和较高的切削效率, 但有学者^[5]认为这会造成牙本质去除量过大, 增加薄弱区牙本质发生微裂的风险。

而独特的 Gold 热处理技术, 特定的两阶段相变行为和较高的奥氏体精加工温度, 可使与 PTU 具有相同机械设计的 ProTaper Gold (PTG; Dentsply 公司, 瑞士) 在提高灵活性、降低硬度、减少微裂产生等方面均有不错的表现^[6-7]。

Reciproc Blue (RB; VDW 公司, 德国) 单支锉系统截面呈 S 形, 通过 Blue 热处理工艺提高器械的延展性、柔韧性和抗循环疲劳能力, 使得 RB 必要时可预弯, 往复运动模式也对根管壁的压力有所缓解, 可减少产生裂纹的风险^[8]。

T-Flex (深圳葆丰医疗器械有限公司) 是近年推出的连续旋转模式多支锉镍钛系统, 横截面为矩形, 由新型热处理的低碳、低氧杂质、高纯黑色记忆控制合金丝 (controlled memory wire, CM-

wire) 制成。T-Flex 锉回弹力小且灵活, 可遵循根管的原始形态和自然曲率旋转运动, 均匀切割根管内壁, 提高弯曲根管治疗效果。该系列仅 25 号有 0.06 锥度设计, 30 号及以上精修锉均为 0.04 锥度以保护根部牙本质。目前暂无关于 T-Flex 锉是否会造成牙本质微裂的研究。

牙本质微裂使用常规器械无法探查, 需通过显微镜等放大设备或借助实验仪器离体观测。现有的研究^[7,9]结果显示根管机械预备后微裂纹的发生率从 0% 到 80% 不等, 有关 RB、PTG、PTU 是否会导致牙本质微裂发生的相关结论仍有分歧^[10-12], 这种高度的变异性可能因实验方法不同造成。已有的实验结果中, 切片法结合体视显微镜观察多获得根管预备与牙本质微裂形成存在相关性的结论, 但该方法因破坏性而具有争议。扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 的检测过程需要切割样本并保持样品干燥, 但牙本质脱水会造成牙体断裂韧性降低、裂纹增多, 可能致实验结果出现偏倚^[13]。锥形束计算机断层扫描 (cone beam computed tomography, CBCT) 即使最高分辨率设置与微型计算机断层扫描 (micro-computed tomography, micro-CT) 相比也存在局限性^[14]。micro-CT 更为精细的体素大小能精确诊断牙隐裂等牙体硬组织存在的裂纹, 是目前最可靠的实验室检测牙本质微裂的方法。本次研究选用 micro-CT 评价 T-Flex、RB、PTG、PTU 系统在前磨牙根管内对牙本质微裂形成的影响。

1 材料和方法

1.1 样本量确定

Bürklein 等^[14]发现完全和不完全性牙本质微裂样本的百分比总和从 18.3% 到 51.6% 不等。De-Deus 等^[15]据此应用卡方检验和方差统计检验计算得到的效应大小为 7.6 ($\alpha=0.05$, $\beta=0.95$), 认为 8 个样本牙可作为观察镍钛锉对牙本质微裂影响所需的最小理想样本量。

1.2 样本收集与选择

本研究已经患者本人及家属知情同意, 并且获取中国医科大学科研伦理委员会批准 (编号:

K2022031)。选取2022年1—6月在中国医科大学附属口腔医院颌面外科门诊因正畸减数需拔除的年轻人(18~35岁)新鲜前磨牙96颗,冲洗血渍,用手用刮治器去除牙根表面牙石及软组织。在 $\times 20$ 牙科显微镜下进行观察,要求样本牙无龋损、充填体、修复体、牙髓治疗史,根尖发育完全、无根尖吸收或破坏,根面完整、无根裂,牙根长度较长(根尖至釉牙骨质界距离 ≥ 15 mm)。CBCT(120 kV、5 mA)体素大小0.2 mm、视野16 cm \times 16 cm \times 8 cm,检测根管形态。排除牙髓钙化及内吸收者,选用弯曲度 $\leq 10^\circ$ (Schneider测量法)、根管形态规则且通畅的双根管前磨牙。

使用金刚砂车针垂直于牙长轴水平截去符合前述标准离体牙的牙冠部分,过程中喷水冷却。统一牙根长度标准为距根尖15 mm \pm 1 mm。钨钢裂钻开髓,修整洞形,揭除髓室顶。10#K锉疏通根管,锉尖端在根尖孔处可见,回退1 mm作为工作长度。最终初尖锉为15#的样本牙共32颗纳入终选样本,保存于生理盐水中。

1.3 实验分组及研究模型制备

随机数字法编号32颗样本牙并分为T-Flex、RB、PTG、PTU组($n=8$)。采用0.15~0.38 mm厚的铝箔包绕牙根保留牙周膜间隙,并将其垂直插入充满甲基丙烯酸树脂的统一规格硅胶管中,包埋牙根至釉牙骨质界,树脂完全固化后取出铝箔和样本,在树脂形成的模型内壁灌注硅橡胶轻体,放入刚刚取出并去除铝箔的样本牙,印膜材包裹牙根模拟牙周膜(图1)。

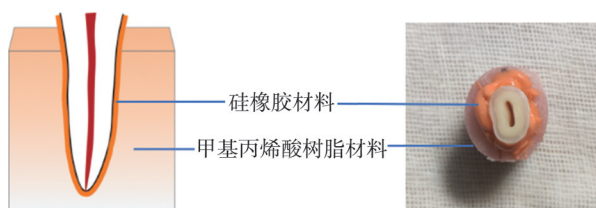


图1 样本包埋示意图与模型

Fig 1 Schematic diagram and model of specimen embedding

1.4 预备前micro-CT空白对照图像获取

根管预备前使用micro-CT(70 kV、200 μ A)以17.18 μ m体素预扫描样本牙,扫描方式为绕样本牙垂直轴旋转180°、旋转步长0.18°,注意校正射束硬化伪影、环状伪影等,调整样本的图像清晰度到最佳值。使用Mimics Research 21.0软件图像重建,每个样本牙牙根获得840~940个micro-CT横断面图像。

1.5 根管预备

由同一操作者按照不同镍钛系统的使用说明设定根管马达参数,以40#为终末工作宽度,采用根向预备技术进行所有样本的根管预备。T-Flex组:T-Flex™20/07 \rightarrow 15/03 \rightarrow 20/04 \rightarrow 25/04 \rightarrow 25/06 \rightarrow 30/04 \rightarrow 35/04 \rightarrow 40/04;RB组:R40(40/06);PTG组:Sx(19/035) \rightarrow S1(17/02) \rightarrow S2(20/04) \rightarrow F1(20/07) \rightarrow F2(25/08) \rightarrow F3(30/09) \rightarrow F4(40/06);PTU组:Sx(19/035) \rightarrow S1(17/02) \rightarrow S2(20/04) \rightarrow F1(20/07) \rightarrow F2(25/08) \rightarrow F3(30/09) \rightarrow F4(40/06)。

每预备3个样本牙更换崭新器械,在根管内充满1%NaClO溶液的同时进行预备。多支锉系统在根管内停留时间每支不超过5 s/次,更换器械时清理螺纹内碎屑,并使用27G侧方开口冲洗器匀速冲洗根管直至预备完成;单支锉系统上下提拉运动幅度约3 mm,每提拉3次清理沟槽并冲洗直至预备終了。共冲洗1%NaClO溶液10 mL/根管,预备结束后先后用17%EDTA 5 mL和0.9%生理盐水5 mL终末冲洗。预备过程中与完成后分别使用15#K锉疏通回锉,40#K锉确认终末工作宽度。

1.6 预备后micro-CT检测及牙本质微裂的评估

各组预备过程结束后,使用micro-CT以前述体素再次扫描样本牙。图像传输至Mimics Research 21.0进行三维成像,获得每个样本的轴位、冠状位和矢状位影像。对所有扫描获得的预备前、后横断面图像($n=56$ 940)进行评估:首先观察记录预备后图像中具有牙本质微裂的横断面数量,再检查预备前相应的横断面图像,以验证牙本质微裂是否预先存在。图像中根管内壁及外表面均无微裂纹或皸裂线的截面被认定为“无裂纹”;根部牙本质中有任何微裂纹或断裂则被定义为“有裂纹”。验证筛选过程由3名观察员三盲条件下完成,观察员们每次对比图像的顺序采用完全随机原则,无针对实验分组固定规律。出现分歧时则时隔2周再次检查图像且不参考前一次数据记录,直至结论一致。

1.7 统计学处理

结果以每组样本中检测出牙本质微裂横截面的数量及百分比表示,采用SPSS 21.0统计软件分析数据。McNemar检验评估各组器械根管预备前后微裂纹存在情况是否有显著差异,显著性水平设为 $P<0.05$;Kappa检验评估观察员自身及观察员间的一致性。

2 结果

Kappa 值可达到 0.9, 表明观察员自身及观察员间所得结果具有良好的一致性。

在 T-Flex 组、RB 组、PTG 组和 PTU 组总共获得的 56 940 张 micro-CT 断层图像中, 总计 11.04%

的图像存在牙本质微裂 ($n=6\ 288$), 各组观察到牙本质微裂的截面比例分别为 9.82% ($n=682$)、10.79% ($n=768$)、12.27% ($n=875$) 和 11.25% ($n=819$) (表 1)。然而, 在预备后扫描图像中发现的所有牙本质微裂纹在相应的预备前扫描图像中均已存在, 使用所选镍钛系统进行根管预备后, 没有新的微裂纹产生 (图 2、3)。

表 1 各实验组每次扫描中存在牙本质微裂的截面数量

Tab 1 The number of cross-sections with dentinal microcracks in each experimental group

扫描时间	T-Flex 组		RB 组		PTG 组		PTU 组		合计	
	有微裂	无微裂	有微裂	无微裂	有微裂	无微裂	有微裂	无微裂	有微裂	无微裂
预备前	682	6 263	768	6 351	875	6 254	819	6 458	3 144	25 326
预备后	682	6 263	768	6 351	875	6 254	819	6 458	3 144	25 326
合计	1 364	12 526	1 536	12 702	1 750	12 508	1 638	12 916	6 288	50 652

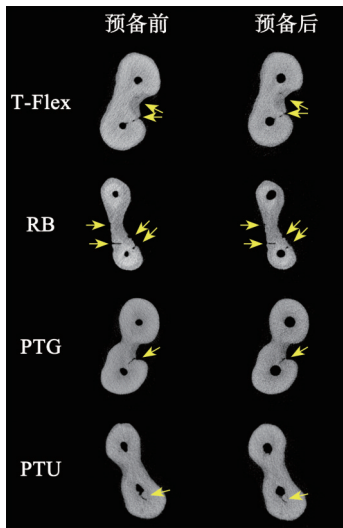


图 2 4组镍钛锉根管预备后发现的微裂纹 (箭头示) 于预备前已经存在

Fig 2 Microcracks (arrow) found after root canal preparation with four groups of Ni-Ti files had already existed before preparation

菌消毒需求的同时, 避免其对牙本质的硬度、弹性模量和挠曲强度的影响。另外, 因有研究^[17]表明充分敞开根管中上段可降低根尖牙本质裂纹的发生率, 实验采用根向预备技术。为避免牙本质过分脱水干燥造成实验结果假阳性, 样本牙全程保存在生理盐水中。

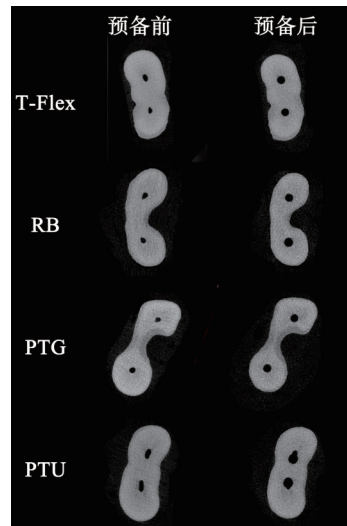


图 3 4组镍钛锉根管预备前、后均没有微裂纹

Fig 3 There were no microcracks before or after root canal preparation with four groups of Ni-Ti files

3 讨论

牙齿本身解剖形态的复杂性和变异性都会对牙本质微裂的研究产生影响, 造成样本标准化困难。本实验选择的双根管前磨牙根管截面多呈狭长带状或存在峡区, 是微裂纹的高发部位^[16]。样本牙供者的年龄限于 18~35 岁, 控制样本牙牙本质间抗折性和断裂韧性的差异; 均截去部分牙冠以统一工作长度; 综合考虑临床操作标准与各镍钛系统型号设计, 统一终末工作宽度为 40#。选用 1% 浓度的 NaClO 溶液化学预备, 满足临床基本杀

本实验采用 micro-CT 获得 T-Flex、RB、PTG 和 PTU 各组预备前、后总共 56 940 张横断面图像, 6 288 张横断面图像存在裂纹, 各实验组根管预备后的图像中观察到的微裂纹在相应的术前图像中均已存在。使用 T-Flex、RB、PTG、PTU 进行根管预备并不会产生新的牙本质微裂。

以上研究结果与以往表明根管预备与牙本质微裂形成之间存在相关性的研究不同。然而, 以

往结论多通过破坏性方法(即切割牙体)结合体视显微镜或SEM观察获得:将根管预备后的牙根在距离根尖不同长度处截断,置于体视显微镜下观察根部切片,过程中可结合染色、调整光源辅助观察^[18-19];或完全脱水、涂层后进行电子扫描。破坏性切割过程中产生的应力可能会导致新的牙本质微裂产生或加重已有裂纹;脱水可能会造成样本牙断裂韧性减弱,实验结果发生偏倚。此外,以上两种方法于根管预备前采用体视显微镜检测预先存在的牙本质微裂。显微镜的分辨率有限且局限于检查牙根外表面,无法全面检测到根管预备前存在的全部裂纹,相关研究报告也缺少关于空白对照组牙本质是否预先存在裂纹的描述,无法确定预备后观察到的微裂纹是因预备过程产生还是其他操作造成。此外,切割法每隔2~3 mm获取一个样本截面的方式无法覆盖样本全部,只能观察到少数几张横断面图像,判读受二维空间限制有遗漏检测的可能。而采用CBCT方法的研究认为临床诊疗常用的体素参数设置(150 μm)不能准确检测到牙本质微裂纹,若将CBCT体素大小设置到其可达到的最精细程度(80 μm)可提高其对微小结构的诊断潜力,但仍存在不可忽视的局限性^[13-14]。

micro-CT则可规避以上缺点。与切割法相比,micro-CT为非破坏性检测方法,可以在不对样本进行切割的情况下获得根管预备前后的三维图像,且每个样本都可作为自身的空白对照进行检查。检测环境无需完全干燥,可避免因脱水引起的样本牙韧性改变。同时micro-CT小体素高精度的特点使得每个样本可获得数百张截面图像,最大程度减少了检测遗漏,且所得图像中裂纹清晰易鉴别。除牙根表面外,牙根内预先存在的裂纹和预备后新产生的牙本质微裂也可以通过二次成像对比准确地筛查出来。本研究样本牙在×20牙科显微镜下均未观察到牙根表面裂纹,但预备前micro-CT扫描仍显示11.04%的截面预先存在牙本质微裂。其他学者^[20]通过micro-CT扫描也证实了根管预备前离体牙内微裂纹的存在,仅在显微镜下对牙根表面进行评估并不足以确保样本完好。实验操作前牙齿存在的咬合功能障碍、拔除过程、创伤和储存条件等均可能造成牙本质微裂。

本实验中T-Flex系统没有造成新的微裂纹,可能与器械的制造性能有关。T-Flex由特殊工艺合成的黑色镍钛合金制成。新型的热处理技术使T-Flex锉表面呈现蓝色,并表现出较低的硬度、较小的

回弹力和较强的柔韧性,使其可以围绕根管的曲线轴,顺应根管固有解剖结构均匀切割根管壁,避免对薄弱部位产生过大应力。

与Martins等^[21]使用micro-CT方法检测的研究结果一致,本研究中RB系统同样没有造成新的微裂纹。除Blue热处理技术可改善器械柔韧性并降低刃缘表面硬度外,RB切割动作和释放刃缘交替往复的运动方式可将器械与牙本质之间的压力降至最低,避免在根管内壁产生持续的旋转应力。S形截面设计也会影响器械的切削能力、与管壁的接触方式及其在牙本质表面产生的应力大小。

本实验显示PTG根管预备不产生牙本质裂纹,同样与其他使用micro-CT的学者^[7,10]实验结果一致。PTU与PTG具有相同的数量、锥度、横截面形状设计和运动模式,但以往研究^[19]表明PTU根管预备后产生微裂纹。PTG采用的Gold热处理冶金技术可改变器械的性能,PTG在临床条件下主要呈马氏体或R相,相比奥氏体相的PTU质地更柔软,可塑性更强,与牙本质的弹性模量更接近。材质的差异似乎可以作为二者形成牙本质微裂差异的原因,许多实验结果也表明热处理工艺开发制造的新型镍钛器械与传统镍钛器械相比产生的牙本质裂纹更少^[7,11]。但与已有体外实验结论相悖,本实验结果中PTU未造成任何牙本质微裂。

在进行根管预备等操作之前,本实验采用弹性模量与牙周膜相近的硅橡胶轻体,以及密度与牙槽骨相似的甲基丙烯酸树脂制作离体模型,模拟口内牙周组织情况。而一项在人颌骨模型上对上颌前磨牙进行原位根管预备的研究^[22]表明,PTU器械不会造成任何牙本质微裂。更有学者^[23]使用PTU于体内对需正畸减数的前磨牙进行根管预备,预备完成后微创拔除并检测,同样没有发现任何牙本质微裂纹产生。此两项实验的结果与本研究一致,说明有关牙本质微裂的实验设计中,考虑到牙周组织对天然牙的支持与保护作用至关重要。另外此两项实验设计均采用micro-CT方法检测,提示前述PTU造成微裂的体外实验^[19],可能因其采用切割法设计,由自身的局限性或者储存条件不当等因素影响最终结论。

根管的预备锥度过大会使根管壁应力增大、去除牙本质过多,也是牙本质微裂的成因之一。本研究中RB、PTG和PTU的终末锥度均大于T-Flex,但4种器械都没有引起任何微裂纹,这表明锥度不是裂纹产生的直接因素,发生牙本质微裂是不同因素共同作用的结果。本研究中镍钛锉的

运动模式及数量并不影响微裂纹的发生率,这一观点也受到其他相关 micro-CT 研究^[24]结果的支持;关于锉的运动方式和数量与牙本质微裂纹有关的观点,多为使用切割法的研究^[25]报道。此外,笔者认为样本牙根管弯曲度小、根尖孔较粗大、根管通路顺畅等因素可天然降低发生牙本质微裂的风险;根向预备技术以及低浓度化学冲洗的选择,也是增加根管预备安全性,减少牙本质微裂发生的原因。

另有学者^[11]认为即使镍钛锉在根管预备后未在数量上产生新的牙本质裂纹,也可能影响微裂纹的长度等形态变化。但本研究认为 micro-CT 仅可用于评估产生裂纹的数量差异,对于评价微裂纹的长度和宽度变化具有局限性:1) 机械预备后的根管直径较预备前会有增加,若预先存在的裂纹其端点位于镍钛锉切削范围内,则预备过程可能会破坏测量裂纹长度的观测点,导致无法准确比较预备前后裂纹长度变化。2) 裂纹宽度的检测则受 micro-CT 图像质量的影响,先后两次在样品管中放置样本牙模型的过程可能无法完全避免出现少许角度误差,该误差可能会造成断层图像中裂纹影像的拉伸,对裂纹宽度的评估产生干扰。

综上所述,本实验中 T-Flex、RB、PTG 和 PTU 系统均不会在根管预备过程中于直根管前磨牙根管壁产生牙本质微裂,临床操作中如必要,可选用硬度较大的镍钛锉,适当扩大预备宽度以彻底清除此类根管内感染。但本研究选用前磨牙,纳入样本牙完整健康、牙龄群体偏年轻相对存在局限性;离体牙模型也不能完全模拟体内真实受力情况。micro-CT 可检测到根管壁中存在牙本质微裂,但对于微裂纹延伸、宽度等形态变化的观测仍需要检测方法进一步地发展以进行更详细的评估。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Soares CJ, Rodrigues MP, Faria-E-Silva AL, et al. How biomechanics can affect the endodontic treated teeth and their restorative procedures[J]. *Braz Oral Res*, 2018, 32 (Suppl 1): 169-183.
- [2] Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, et al. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file [J]. *J Endod*, 2012, 38(2): 232-235.
- [3] Patel S, Bhuva B, Bose R. Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth[J]. *Int Endod J*, 2022, 55(Suppl 3): 804-826.
- [4] Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation[J]. *J Endod*, 2013, 39(4): 501-504.
- [5] Alkahtany SM, Al-Madi EM. Dentinal microcrack formation after root canal instrumentation by XP-Endo Shaper and ProTaper Universal: a microcomputed tomography evaluation[J]. *Int J Dent*, 2020, 2020: 4030194.
- [6] Orel L, Velea-Barta OA, Sinescu C, et al. Comparative assessment of the shaping ability of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and ProTaper Gold in simulated root canals [J]. *Materials (Basel)*, 2022, 15(9): 3028.
- [7] Bayram HM, Bayram E, Ocak M, et al. Effect of ProTaper Gold, Self-Adjusting File, and XP-endo Shaper instruments on dentinal microcrack formation: a micro-computed tomographic study[J]. *J Endod*, 2017, 43(7): 1166-1169.
- [8] De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the reciproc files[J]. *J Endod*, 2017, 43(3): 462-466.
- [9] Çapar İD, Gök T, Uysal B, et al. Comparison of micro-computed tomography, cone beam tomography, stereomicroscopy, and scanning electron microscopy techniques for detection of microcracks on root dentin and effect of different apical sizes on microcrack formation[J]. *Microsc Res Tech*, 2019, 82(10): 1748-1755.
- [10] Miguéns-Vila R, Martín-Biedma B, De-Deus G, et al. Microcomputed tomographic evaluation of dentinal microcracks after preparation of curved root canals with ProTaper Gold, WaveOne Gold, and ProTaper Next instruments[J]. *J Endod*, 2021, 47(2): 309-314.
- [11] Aksoy Ç, Keriş EY, Yaman SD, et al. Evaluation of XP-endo Shaper, Reciproc Blue, and ProTaper Universal Ni-Ti systems on dentinal microcrack formation using micro-computed tomography[J]. *J Endod*, 2019, 45(3): 338-342.
- [12] Jamleh A, Nassar M, Alfadley A, et al. Influence of additional apical enlargement on microcrack formation in root dentine: a micro-computed tomography investigation[J]. *Clin Oral Invest*, 2021, 25(6): 4137-4143.
- [13] Tonelli SQ, Antunes MA, Soares de Toubes KM, et al. Dentinal microcracks induced by endodontic procedures:

- suggested design for experimental studies using micro-computed tomography and strain gauges[J]. J Endod, 2021, 47(7): 1157-1165.
- [14] Tolentino ES, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, et al. Accuracy of high-resolution small-volume cone-beam computed tomography in detecting complex anatomy of the apical isthmi: *ex vivo* analysis[J]. J Endod, 2018, 44(12): 1862-1866.
- [15] De-Deus G, Silva EJ, Marins J, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems[J]. J Endod, 2014, 40(9): 1447-1450.
- [16] PradeepKumar AR, Shemesh H, Jothilatha S, et al. Diagnosis of vertical root fractures in restored endodontically treated teeth: a time-dependent retrospective cohort study [J]. J Endod, 2016, 42(8): 1175-1180.
- [17] Borges ÁH, Damião MS, Pereira TM, et al. Influence of cervical preflaring on the incidence of root dentin defects [J]. J Endod, 2018, 44(2): 286-291.
- [18] Kfir A, Elkes D, Pawar A, et al. Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative *ex vivo* study[J]. Clin Oral Investig, 2017, 21(1): 405-411.
- [19] Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, et al. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments[J]. Int Endod J, 2016, 49(9): 905-910.
- [20] PradeepKumar AR, Shemesh H, Chang JW, et al. Pre-existing dentinal microcracks in nonendodontically treated teeth: an *ex vivo* micro-computed tomographic analysis[J]. J Endod, 2017, 43(6): 896-900.
- [21] Martins JCLGD, Oliveira BP, Duarte DA, et al. Micro-computed tomographic assessment of dentinal microcrack formation in straight and curved root canals in extracted teeth prepared with hand, rotary and reciprocating instruments[J]. Int Endod J, 2021, 54(8): 1362-1368.
- [22] De-Deus G, César de Azevedo Carvalhal J, Belladonna FG, et al. Dentinal microcrack development after canal preparation: a longitudinal in situ micro-computed tomography study using a cadaver model[J]. J Endod, 2017, 43(9): 1553-1558.
- [23] PradeepKumar AR, Shemesh H, Archana D, et al. Root canal preparation does not induce dentinal microcracks *in vivo*[J]. J Endod, 2019, 45(10): 1258-1264.
- [24] Rödiger T, Krämer J, Müller C, et al. Incidence of microcracks after preparation of straight and curved root canals with three different NiTi instrumentation techniques assessed by micro-CT[J]. Aust Endod J, 2019, 45(3): 394-399.
- [25] Üstün Y, Topçuoğlu HS, Düzgün S, et al. The effect of reciprocation versus rotational movement on the incidence of root defects during retreatment procedures[J]. Int Endod J, 2015, 48(10): 952-958.

(本文编辑 杜冰)

《中国口腔医学年鉴》2022年卷出版发行

书籍名称:《中国口腔医学年鉴》2022年卷

主编:周学东

出版社:四川科学技术出版社

出版时间:2023年9月

内容简介:本书是中国口腔医学领域集史料性、综合性、实用性于一体的连续出版物,以年鉴的形式介绍了中国口腔医学领域当年的发展状况,是了解和研究中国口腔医学发展史的珍贵资料,也是中国口腔医学与国际口腔医学广泛交流的重要平台。本书是一部对口腔医学发展具有重要意义和价值的书籍,可供口腔医生和口腔医学生阅读参考。

