

网络出版时间:2023-09-05 17:40:37 网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/34.1065.r.20230905.1537.004

◇口腔医学研究◇

# Er:YAG 激光的应用对根管玷污层清除率和牙本质显微硬度的影响

朱维晨,陈如婷,张红艳

**摘要** 目的 探究 Er:YAG 激光荡洗技术去除根管玷污层的效果和对牙本质显微硬度的影响。方法 选取 102 颗离体的前磨牙截冠,取长度 13 mm 的牙根,机械预备后分为实验组(3%次氯酸钠,3% NaOCl)和对照组(0.9% 氯化钠溶液,NS),分别接受注射器、超声和 Er:YAG 激光终末荡洗,具体分组为 NaOCl + 注射器、NaOCl + 超声、NaOCl + 激光、NS + 注射器、NS + 超声和 NS + 激光组( $n = 17$ )。扫描电子显微镜(SEM)评估根管冠方、根中和根尖处玷污层的去除情况、维氏显微硬度仪测量荡洗前后牙本质的显微硬度。结果 NaOCl + 激光组去除根管玷污层的效果最佳,降低牙本质显微硬度的幅度最大,与 NaOCl + 超声组降低显微硬度的幅度无统计学差异( $P > 0.05$ )。结论 Er:YAG 激光激活 NaOCl 溶液提高了玷污层的清除率,降低了对牙本质显微硬度。

**关键词** Er:YAG 激光;显微硬度;终末荡洗;玷污层

**中图分类号** R 781.3

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2023)09-1599-05  
doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2023.09.027

近年来,掺钕钇铝石榴石激光(erbium-doped; yttrium-aluminum-garnet, Er:YAG)简称 Er:YAG 激光,Er:YAG 激光荡洗技术因其安全性和有效性逐渐走入大众视野。光波增强的光声流效应(shock-wave enhanced emission photoacoustic streaming, SWEEPS)是一种使用波长为 2 940 nm Er:YAG 激光器的新型荡洗模式,设置激光参数为超短脉宽 25  $\mu$ s、功率 0.3 W、频率 15 Hz 和能量 20 mJ 对根管进行激活荡洗。激光光纤尖仅置于髓室内,这种方式使器械远离根尖区,溶液不易超出根尖孔,从而减少对根尖周组织产生不利影响<sup>[1]</sup>。激光发出激光源激活冲洗液,液体产生气泡并在极短时间内发射第

2 个气泡并迅速膨胀,对前一个气泡挤压使其加速破裂,气体回流形成二次空穴效应,此过程中造成非常强大的压力波使溶液在根管内快速流动<sup>[2]</sup>。由于实验设计激光参数及种类的不同和方法上的差异,所研究的结果难以综合,最终荡洗方案对清除玷污层的效率及牙本质力学性能的影响是否受激活技术不同而改变仍不清楚。

该研究设计 Er:YAG 激光 SWEEPS、被动超声荡洗(passive ultrasonic irrigation, PUI)和注射器冲洗(conventional syringe irrigation, CI)三种技术对离体牙进行终末荡洗,观察对根管玷污层的清除率和牙本质显微硬度的影响。

## 1 材料与方法

**1.1 材料与仪器** Er:YAG 激光(德国 Fotona 公司);超声治疗仪(法国 Satelec 公司);欧罗德卡(济宁德卡医疗器械有限公司);维氏显微硬度仪(日本 Mitutoyo 公司);扫描电子显微镜(德国 Carl Zeiss 公司);离子喷射仪(德国 Cressington 公司);牙科手术显微镜(德国 Leica 公司);X-Smart 根管马达(美国 Dentsply 公司)。

**1.2 样本纳入标准与储存** 收集 2022 年 1—5 月在安徽医科大学附属口腔医院口腔颌面外科 18 ~ 25 岁之间因正畸需要减数的、符合下列纳入标准的下颌单根前磨牙 102 颗:① 根尖发育完成,根尖孔闭合;② 无龋、裂纹、既往根管治疗史或充填体;③ 颊舌向和近远中向在 X 线片下确定为单根管;④ 根尖弯曲度  $< 10^\circ$ ;⑤ 根长 13 ~ 15 mm;⑥ 根管颊舌径与近远中径比为 1.5:2。所有样本用牙周刮治器刮除牙根表面牙石或牙周膜,浸泡在 0.9% 氯化钠溶液中,每日更换一次备用,储存时间不超过 3 个月。本实验通过安徽医科大学附属口腔医院伦理委员会批准(批号:HM2022005)。

**1.3 样本预处理** 在流动水下,用高速金刚钻将样本截冠至标准化长度( $13 \pm 0.5$ ) mm,拔除牙髓。插入 15 号 K 锉到根管终端,并在牙科手术显微镜下

2023-06-09 接收

基金项目:安徽省高校自然科学基金项目(编号:KJ2020A0165)

作者单位:安徽医科大学口腔医学院,安徽医科大学附属口腔医院,

安徽省口腔疾病研究重点实验室,合肥 230032

作者简介:朱维晨,女,硕士研究生;

张红艳,女,硕士,副教授,硕士生导师,责任作者,E-mail:

toothyuan@126.com

从根尖孔处看到器械时减去 1 mm 来确定根管工作长度 (12 mm)。采用标准预备技术、欧罗德卡 PIEX2.0 器械,按照 P0-P1-V1-V2-V3 (35/0.04) 依次扩大根管,每次更换器械用 5 ml 0.9% 氯化钠溶液冲洗(图 1)。处理后的样本被随机分成两份,第一部分 ( $n = 30$ ) 命名为 A 组,扫描电子显微镜 (SEM) 观察玷污层的去除情况;第二部分 ( $n = 72$ ) 为 B 组,测试牙本质的显微硬度。每部分随机分为实验组 (3% 次氯酸钠, 3% NaOCl) 和对照组 (0.9% 氯化钠溶液, NS), 分别接受 CI、PUI 和 SWEEPS 技术激活。

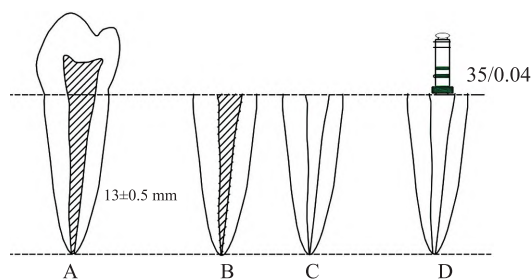


图 1 样本预处理示意图

A: 样本截冠至标准化长度 ( $13 \pm 0.5$ ) mm; B: 仅截冠, 无根管预备处理; C: 拔髓; D: 机械预备至 V3 (34/0.05)

### 1.4 牙本质玷污层实验

**1.4.1 分组和终末荡洗** 随机选取 30 颗样本, 根据终末荡洗方案分为 6 组, 5 颗/组, Aa 组: NS + CI; Ab 组: NS + PUI; Ac 组: NS + SWEEPS; Ad 组: NaOCl + CI; Ae 组: NaOCl + PUI; Af 组: NaOCl + SWEEPS。每组采用 5 ml 冲洗剂连续激活 30 s, 间隔 30 s, 共循环激活 5 次, 最后 5 ml 0.9% 氯化钠溶液冲洗 30 s 以去除残留液体。

**1.4.2 样本制备** 金刚石砂轮沿牙体长轴颊舌面纵向做两个凹槽, 在不穿透根管的情况下, 用凿子将每个样本纵向分成两部分, 牙科显微镜下排除有裂纹的样本, 每颗样本取有完整牙根管形态的一半用于观察, 并在距根尖孔 10、6 和 2 mm 处做凹槽标记表示根管冠方 1/3、根中 1/3 和根尖 1/3 处。处理后的样本在 2.5% 戊二醛溶液中固定 24 h、无水乙醇逐级脱水、干燥, 离子溅射仪表面喷金处理。

**1.4.3 玷污层观察** 先在 SEM 低倍镜下 ( $\times 25$ ) 观察样本全貌, 找到标记点后再在高倍镜下 ( $\times 1\ 000$ ) 观察玷污层的去除情况, 并拍摄三张图像 ( $30 \times 3$ , 共 90 张)。采用 Gambarini<sup>[3]</sup> 改编的评分系统评估玷污层去除情况, 由 2 名经过评分训练的实验人员 (经过医师规范化培训的安徽医科大学口腔医院研

究生, 牙体牙髓科) 采用双盲法进行评分, 如果评分不一致, 则记录评分的均值。玷污层的评分标准如表 1 所示。

表 1 玷污层评分标准

分数	牙本质表面
1	牙本质表面没有玷污层, 所有牙本质小管开放
2	牙本质表面存在少量玷污层, 大部分牙本质小管开放
3	牙本质表面覆盖一层薄的玷污层, 牙本质小管被覆盖小于 50%
4	牙本质小管被覆盖超过 50%
5	牙本质表面覆盖大量玷污层, 没有牙本质小管暴露

### 1.5 牙本质显微硬度实验

**1.5.1 样本制备与分组** 随机选取 72 颗样本包埋在蜡块中, 用金刚砂轮垂直样本长轴距离根尖孔约 8 ~ 10 mm 处截出 1 mm 厚的牙片, 置于牙科手术显微镜下观察, 排除有裂纹的样本。样本表面用 600、800 和 1200 目砂纸, 依次在蒸馏水下抛光 30 s, 根据终末荡洗方案将切片样本分为 6 组, 12 颗/组, Ba 组: NS + CI; Bb 组: NS + PUI; Bc 组: NS + SWEEPS; Bd 组: NaOCl + CI; Be 组: NaOCl + PUI; Bf 组: NaOCl + SWEEPS。

**1.5.2 显微硬度检测** 样本承载于玻璃片上, 置于维氏显微硬度仪下, 距根管内壁约 200  $\mu$ m 处, 施加 100 g 荷载力、停留 20 s, 测量每个样本切片表面平均分布的 5 个位置, 得出初始显微硬度, 取平均值。终末荡洗方式同 1.4.1, 采用相同的方法检测荡洗后样本的显微硬度, 即最终显微硬度。显微硬度差值为初始显微硬度减最终显微硬度<sup>[4]</sup>。

**1.6 统计学处理** 采用 SPSS27.0 软件进行数据分析, 玷污层的结果采用非参数检验 Kruskal-Wallis H 检验, 组间比较用 Nemenyi 检验; 显微硬度的数据采用单因素方差分析, 组间比较用配对样本 *t* 检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 牙本质玷污层** 本研究采用 Cohen's kappa 系数分析评估两名实验人员对牙本质表面玷污层清除效果评分一致性, Kappa 系数为 0.78, 具有高等强度的一致性。玷污层评分分布如图 2 所示, 在根管冠方和根中 1/3 处得 4 分的频率最高, 在根尖 1/3 处得 5 分的频率最高。玷污层评分结果见表 2。组间比较发现: 在根管冠方和根尖 1/3 处, Aa 组总得分最高, 与 Ad 组无统计学差异, 均显著高于其他组 ( $P < 0.05$ ), Af 组总得分显著低于其他组 ( $P <$

0.05)。在根中 1/3 处, Ae 与 Af 组总得分显著低于其他组 ( $P < 0.05$ )。组内比较发现, Af 组在根管冠方、根中和根尖 1/3 处总得分无统计学差异, Ac、Ad 和 Ae 组在根管冠方 1/3 得分均显著低于根尖 1/3 处 ( $P < 0.05$ ), 冠方与根中 1/3 处无统计学差异。以上结果显示, 没有一种终末荡洗方案可以完全去

除玷污层。各组玷污层去除效果的情况见图 3。

**2.2 牙本质显微硬度** 荡洗前后牙本质的显微硬度及显微硬度差值 ( $\bar{x} \pm s$ ) 见表 3。各组间初始显微硬度无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。荡洗后(最终显微硬度)显著低于荡洗前(初始显微硬度), Ba 组的显

表 2 玷污层评分 ( $\bar{x} \pm s$ )

荡洗方案 (n=5)	冠方 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
Aa	23.5 ± 0.5*	22.5 ± 0.5* <sup>△</sup>	25 ± 0.0*
Ab	18.5 ± 0.5* <sup>#</sup>	18 ± 0.5* <sup>#△</sup>	21.5 ± 0.8* <sup>#</sup>
Ac	16.5 ± 0.5* <sup>#△</sup>	20.5 ± 0.7*	20.5 ± 0.7* <sup>#</sup>
Ad	20.5 ± 0.5* <sup>△</sup>	22 ± 0.5*	24.5 ± 0.3*
Ae	13.5 ± 0.6* <sup>#△</sup>	12.5 ± 0.5* <sup>#△</sup>	18.5 ± 0.8* <sup>#</sup>
Af	7.5 ± 0.5	9.5 ± 0.7* <sup>#</sup>	10 ± 0.6* <sup>#</sup>

与 Aa 组比较: <sup>#</sup> $P < 0.05$  (列); 与 Af 组比较: \* $P < 0.05$  (列); 与根尖 1/3 比较: <sup>△</sup> $P < 0.05$  (行)

表 3 荡洗前后显微硬度及差值 ( $\bar{x} \pm s$ )

荡洗方案 (n=12)	初始显微硬度	最终显微硬度	显微硬度差值	P 值
Ba	69.34 ± 1.50	68.54 ± 5.40	0.80 ± 0.96	0.75
Bb	69.66 ± 1.51	68.91 ± 1.41	0.69 ± 1.07	0.85
Bc	69.48 ± 1.34	68.25 ± 1.33	1.20 ± 0.71	0.33
Bd	69.36 ± 1.02	68.20 ± 0.99	1.16 ± 0.76	0.37
Be	69.18 ± 1.13	65.43 ± 1.26* <sup>#</sup>	3.75 ± 1.90	<0.01
Bf	69.95 ± 1.01	64.04 ± 2.52* <sup>#</sup>	5.91 ± 2.26	<0.01
P 值	0.70	<0.01	<0.01	
F 值	0.59	18.43	27.13	

与 Ba 组比较: \* $P < 0.05$  (列); 与初始显微硬度比较: <sup>#</sup> $P < 0.05$  (行)

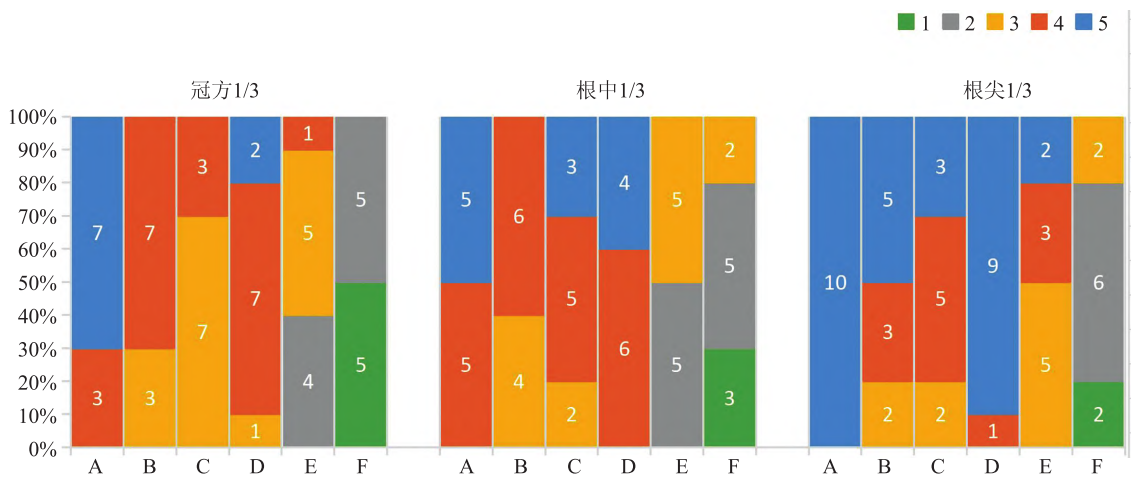


图 2 玷污层评分百分比

A: NS + CI, B: NS + PUI, C: NS + SWEEPS, D: NaOCl + CI, E: NaOCl + PUI, F: NaOCl + SWEEPS

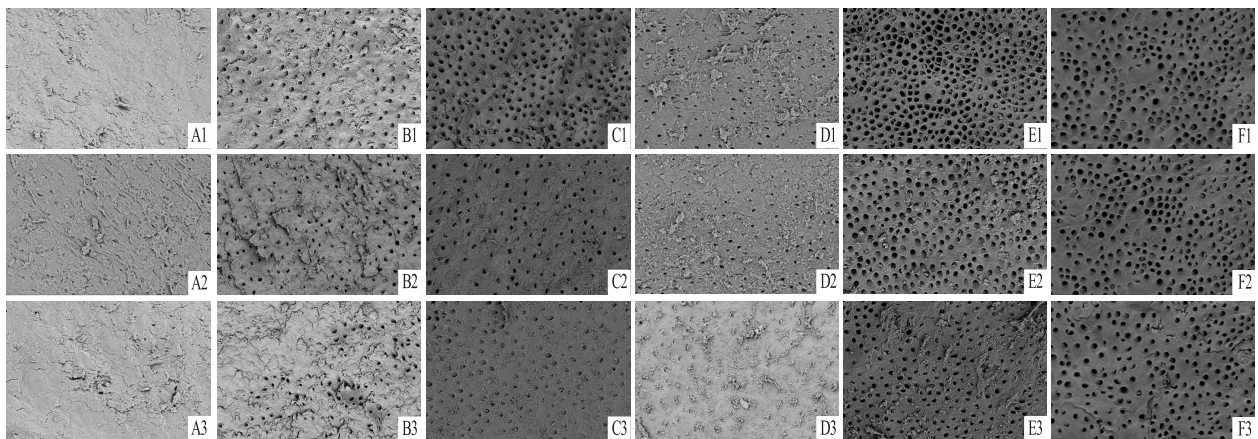


图 3 各组玷污层去除的情况 SEM × 1 000

A: NS + CI, B: NS + PUI, C: NS + SWEEPS, D: NaOCl + CI, E: NaOCl + PUI, F: NaOCl + SWEEPS; 1~3 分别代表: 冠方 1/3、根中 1/3 和根尖 1/3



微硬度降低幅度最小, Bf 组的显微硬度降低幅度最大。除了 Be 组外, Bf 组的显微硬度显著低于其他所有组 ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

机械预备过程中将牙本质碎屑、残髓、细菌等物质附着在根管内壁, 形成玷污层, 覆盖在牙本质小管表面, 阻碍根管冲洗剂、管内药物等的扩散, 从而影响根管治疗术的疗效。单一的冲洗剂无法彻底剥离附着在根管内的玷污层<sup>[5]</sup>, 因此确保根管治疗成功, 化学预备必不可少。然而化学预备的应用在对根管进行更有效消毒杀菌的同时可能对牙本质结构的物理和化学特性产生一定的影响, 包括牙本质的显微硬度、抗弯强度、弹性模量和溶解度等<sup>[6]</sup>, 影响牙根的抗折强度, 导致患牙远期的预后不良。临床常用 NaOCl 溶液辅助化学预备, 但 NaOCl 只能溶解部分有机物质, 不能溶解玷污层中的无机物, 单独使用时难以彻底清除根管玷污层, 常建议与螯合剂联合使用。研究<sup>[8]</sup>表明, 螯合剂会导致牙本质矿物含量的变化, 这种变化影响着牙本质有机和无机成分的比例, 进而改变牙本质的显微硬度和渗透性等。因此, 本实验选择 3% NaOCl 代表化学预备最常用的冲洗液, 0.9% 氯化钠溶液为对照组, 不使用任何螯合剂, 单纯评估 SWEEPS 和 PUI 激活荡洗技术对根管玷污层的清除效率及牙本质显微硬度的影响。Kosariéh et al<sup>[9]</sup>发现在使用激光进行根管预备后, SWEEPS 和光子引发的光声流效应 (photon induced photoacoustic streaming, PIPS) 都增加了溶液在根尖区的渗透率, 且二者之间并无显著差异。Jezeršek et al<sup>[1]</sup>的研究结果与之不同, 他们发现当使用适当的参数时, SWEEPS 促进冲洗剂渗透进牙本质小管的能力优于 PIPS, 在根管中上段, SWEEPS 对根管壁产生的压力较 PIPS 高约 20% ~ 40%, 激光荡洗对管壁的压力与牙本质小管的渗透率呈正相关。SWEEPS 在短时间内发出两个连续的超短脉冲, 激发出更大的能量, 增加了管内气泡破裂和液体流动的速度, 这种效应对根管内壁产生了很强的剪切应力, 从而有利于黏附在根管内壁的物质的去除, 达到对根管玷污层的清理<sup>[10-11]</sup>。然而这种能量是否会对牙本质结构及力学性能产生影响, 目前鲜有报道。在本研究牙本质玷污层实验的结果中发现, 使用注射器冲洗时, NaOCl 和 NS 组对玷污层的去除效果以及牙本质显微硬度的影响均无统计学差异, 两组都不能有效清除玷污层, 这与先前的结论一致。在根

管冠方和根中段, 无论用哪种荡洗方案对玷污层的去除都优于根尖区, 这可能是因为根管上中段处于敞开状态, 更利于器械和溶液的进出, 从而提高了化学预备的工作效率。使用 NaOCl 作为冲洗剂时, 所有组玷污层的减少幅度都更大, 但组间并无统计学差异。NaOCl + PUI 和 NaOCl + SWEEPS 组可以显著去除根管冠方和根中处的玷污层; 而在根尖区, 仅 NaOCl + SWEEPS 组对玷污层的去除效率更为有效。上述结果表明单独的冲洗剂、单独的超声或激光激活荡洗都不能有效的去除玷污层, 辅助荡洗技术和冲洗剂的联合应用, 则能在很大程度上提高玷污层的清除率。在本研究的局限下, 荡洗后的牙本质表面仍有一部分玷污层, 无论哪种荡洗方案都不能完全清除玷污层。牙本质显微硬度的检测是一种广泛应用的方法, 因其具有可逆性、不损害牙体结构的特性, 常被用来观察牙本质表面结构的变化。在显微硬度实验的结果中发现, 单独的 PUI (NS + PUI) 或 SWEEPS (NS + SWEEPS) 技术进行终末荡洗时, 对牙本质显微硬度产生的影响没有统计学意义。而联合应用 NaOCl 溶液时, 则显著降低了牙本质的显微硬度, 尤其是 SWEEPS 组。即便研究结果显示, NaOCl + SWEEPS 组显著降低了显微硬度 ( $5.91 \pm 2.26$ ), 但这样的数字仍不够明显, 只关注组间的显著性似乎不足以证明技术的危害性。在去除玷污层方面, 单纯使用 SWEEPS 激活或 NaOCl 冲洗时, SWEEPS 激活的物理作用对去除玷污层的效率高于 NaOCl 的化学作用; 相反在显微硬度方面, NaOCl 的化学作用降低牙本质的显微硬度稍高于 SWEEPS 激活的物理作用, 但两者之间均无统计学差异。由于本实验为离体试验, 并不能完全模拟荡洗技术在口内的具体情况, 具有一定局限性, 不同的激光和参数, 激活不同的冲洗剂对根管玷污层及牙本质的影响如显微硬度、溶解度和抗折强度都至关重要, 这些现象还需要结合临床试验进一步研究。本研究表明, Er:YAG 激光技术在去除根管玷污层方面表现出很大的优势, 尤其联合 NaOCl 时更是如此。化学预备对根管治疗后牙齿长期存留率的影响仍有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] Jezeršek M, Lukač N, Lukač M, et al. Measurement of pressures generated in root canal during Er:YAG laser-activated irrigation [J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2020, 38(10):625-31.
- [2] Dagher J, El Feghali R, Parker S, et al. Postoperative quality of

- life following conventional endodontic intracanal irrigation compared with laser-activated irrigation: a randomized clinical study [J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2019,37(4):248-53.
- [3] Gambarini G, Laszkiewicz J. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments[J]. *Int Endod J*, 2002,35(5):422-7.
- [4] Akbulut M B, Terlemez A. Does the photon-induced photoacoustic streaming activation of irrigation solutions alter the dentin microhardness? [J] *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2019, 37(1):38-44.
- [5] Mohammadi Z, Shalavi S, Yaripour S, et al. Smear layer removing ability of root canal irrigation solutions: a review[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2019,20(3):395-402.
- [6] Gu L S, Huang X Q, Griffin B, et al. Primum non nocere-The effects of sodium hypochlorite on dentin as used in endodontics [J]. *Acta Biomater*, 2017,61:144-56.
- [7] 陈百顺, 夏荣, 余金兰. Er,Cr:YSGG 激光加速牙本质矿化的研究[J]. *安徽医科大学学报*, 2023,58(2):270-3,279
- [8] Ballal N V, Mala K, Bhat K S. Evaluation of the effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the microhardness and surface roughness of human root canal dentin[J]. *J Endod*, 2010, 36(8):1385-8.
- [9] Kosarieh E, Bolhari B, Sanjari Pirayvatlou S, et al. Effect of Er:YAG laser irradiation using SWEEPS and PIPS technique on dye penetration depth after root canal preparation[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2021,33:102136.
- [10] Angerame D, de Biasi M, Porrelli D, et al. Retreatability of calcium silicate-based root canal sealer using reciprocating instrumentation with different irrigation activation techniques in single-rooted canals[J]. *Aust Endod J*, 2022,48(3):415-22.
- [11] Yang Q, Liu M W, Zhu L X, et al. Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach[J]. *Int Endod J*, 2020,53(4):529-38.

## Effect of Er:YAG laser application on the root canal smear layer removal and dentin microhardness

Zhu Weichen, Chen Ruting, Zhang Hongyan

(College & Hospital of Stomatology, Anhui Medical University, Key Lab. of Oral Diseases Research of Anhui Province, Hefei 230032)

**Abstract Objective** To explore the effects of Er:YAG laser irrigation technology on smear layer removal and dentin microhardness. **Methods** A total of 102 *ex vivo* premolars were selected to amputate the crown, leaving a root length of 13 mm, after mechanical preparation, there were divided into experimental group (3% sodium hypochlorite, 3% NaOCl) and control group (0.9% sodium chloride solution, NS), and received syringe, ultrasound and Er:YAG laser terminal irrigation, which were specifically grouped into NaOCl + syringe, NaOCl + ultrasound, NaOCl + laser, NS + syringe, NS + ultrasound and NS + laser groups ( $n = 17$ ). Scanning electron microscopy (SEM) evaluated smear layer removal from the upper, middle and apical parts of the root. The Vickers microhardness tester measured the microhardness before and after irrigation. **Results** The NaOCl + laser group had the best effect on removing the root canal smear layer, and the amplitude of reducing the microhardness of dentin was the largest. There was no significant difference in the reduction of microhardness compared with the NaOCl + ultrasonic group ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** Er:YAG laser-activated NaOCl solution improves the clearance of the smear layer and reduced the microhardness of dentin.

**Key words** Er:YAG laser; microhardness; terminal irrigation; smear layer