

# 半导体激光对根管峡部牙本质形貌及显微硬度的影响

赵云<sup>1</sup>, 杨宗强<sup>2</sup>, 潘芳洁<sup>1</sup>, 蒋谊芳<sup>2\*</sup>

1. 桂林市人民医院 口腔科, 广西 桂林 541003

2. 桂林医学院附属口腔医院 牙体牙髓病科, 广西 桂林 541004

DOI:10.61369/MRP.2025080031

**摘要:** 目的: 探究不同功率半导体激光对根管峡部牙本质形貌及显微硬度的影响。方法: 通过 CBCT 筛选具有根管峡部的实验离体牙 56 颗, 根管预备后随机分为空白对照组、激光组 (0.75W、1.0W、1.25W)、超声荡洗组 (1 档、2 档、3 档)。采用扫描电镜 (SEM) 评估根管峡部玷污层的去除效果, 并通过显微硬度仪测量牙本质显微硬度。结果: 形貌分析显示, 1.0W 和 1.25W 激光组在去除根管峡部玷污层方面、根管峡部牙本质显微硬度优于其他组 ( $P < 0.05$ ), 且两者间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。结论: 1.0W 和 1.25W 半导体激光在去除根管峡部玷污层方面优于超声荡洗; 1.0W 和 1.25W 激光照射可增强根管峡部牙本质显微硬度, 而超声荡洗和 0.5W 激光对牙本质显微硬度影响不显著。

**关键词:** 半导体激光; 超声荡洗; 根管峡部; 玷污层; 显微硬度

## The Effect of Semiconductor Lasers on the Morphology and Microhardness of Dentin in the Root Canal Isthmus

Zhao Yun<sup>1</sup>, Yang Zongqiang<sup>2</sup>, Pan Fangjie<sup>1</sup>, Jiang Yifang<sup>2\*</sup>

1. Department of Stomatology, Guilin People's Hospital, Guilin, Guangxi 541003

2. Department of Endodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Guilin Medical University, Guilin, Guangxi 541004

**Abstract:** Objective: To investigate the effects of different power levels of semiconductor lasers on the morphology and microhardness of dentin at the root canal isthmus. Methods: A total of 56 experimental ex vivo teeth with root canal isthmuses were selected using CBCT. After root canal preparation, the teeth were randomly divided into a blank control group, a laser group (0.75 W, 1.0 W, 1.25 W), and an ultrasonic irrigation group (level 1, level 2, level 3). Scanning electron microscopy (SEM) was used to assess the removal of the smear layer in the root canal isthmus, and microhardness was measured using a microhardness tester. Results: Morphological analysis showed that the 1.0W and 1.25W laser groups were superior to the other groups in terms of removing the smear layer at the root canal isthmus and improving the microhardness of dentin at the root canal isthmus ( $P < 0.05$ ), and there was no significant difference between the two groups ( $P > 0.05$ ). Conclusion: 1.0W and 1.25W semiconductor lasers were superior to ultrasonic irrigation in removing the smear layer in the root canal isthmus; 1.0W and 1.25W laser irradiation enhanced the microhardness of dentin in the root canal isthmus, while ultrasonic irrigation and 0.5W laser had no significant effect on dentin microhardness.

**Keywords:** semiconductor laser; ultrasonic irrigation; root canal isthmus; smear layer; microhardness

根管峡部是根管系统中一种窄形且成带状的结构, 内含有牙髓及其生成组织, 存在于两个根管之间<sup>[1]</sup>, 传统治疗器械难以触及, 易导致碎屑和细菌堆积, 形成玷污层, 影响治疗效果。近年来, 半导体激光因其高效杀菌、清除玷污层及潜在的牙本质改性能力, 在根管治疗中展现出应用潜力<sup>[2]</sup>。然而, 其对根管峡部牙本质形貌及显微硬度的影响尚不明确。本研究旨在探讨不同功率半导体激光对根管峡部牙本质的影响, 为优化根管治疗提供新策略。

## 一、材料和方法

### (一) 样本纳入标准与排除标准

本实验经桂林市人民医院伦理委员会批准 (2022-052KY)。选取 2024 年 10 月至 2025 年 5 月内因正畸拔除的上颌前磨牙。利用 CBCT 筛选出按 Hsu 等<sup>[3]</sup>峡部分型中的第 V 型, 且在距根尖 4-6mm 均存在峡部的实验离体牙 56 颗, 并标记根管峡部所对应的牙根表面

具体位置。纳入标准: ①冠根比良好; ②无龋坏、非氟斑牙; ③牙根无吸收, 牙齿形态大小相似, 牙根长度 12-15mm; ④牙根无畸形且根尖发育完全。排除标准: ①牙根有裂纹或折断; ②严重龋坏累及牙根; ③牙齿有修复史或根管治疗史。筛选好的离体牙刮除牙石、去净牙周膜, 用生理盐水中浸泡放在 4°C 的冰箱中保存。

### (二) 离体牙根管预备

首先, 使用 TC-11 截除牙冠硬组织至釉牙骨质界上方约 2mm

基金项目: 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题 (激光和超声荡洗对上颌前磨牙根管峡部牙本质形貌及根管显微硬度的影响研究) 合同编号: Z-C20221660。

处。然后进行开髓拔髓，并用10# K 锉疏通根管。显微镜下确认K 锉到达根尖孔后，确定工作长度（测量长度减1mm）。依次使用15# 至20# 手动K 锉逐步扩大根管，每级更换预备锉时冲洗液先后为0.2ml 17% EDTA 与1ml 3% NaClO 溶液，使用侧方开口冲洗针。最终使用 WaveOne Gold 镍钛锉预备至 primary 锉07 锥度25号，随后用生理盐水冲洗并吸干，无菌棉球封闭开髓口。

（三）实验分组和处理

在完成样本预备工作之后，采用随机分组的方式将样本分为7 组，每组样本数量为8 颗。具体分组情况及相应处理见表1：

表1 分组方式及参数设置

分组	样本数量	处理方式	参数设置
A 组	n=8	空白对照组	用蒸馏水冲洗1 分钟，纸尖干燥根管
B 组	n=8	激光组 0.75W	设置半导体激光治疗仪的波长：970nm；功率：0.75W；辐射模式：连续波；光纤直径：200μm；每次照射5s，其间隔5s，持续1 分钟，根管处理完毕后注射2ml0.9% 氯化钠清洗根管内，纸尖干燥根管
C 组	n=8	激光组 1.0W	将功率调整到1.0W，余同 B 组操作
D 组	n=8	激光组 1.25W	将功率调整到1.25W，余同 B 组操作
E 组	n=8	超声荡洗组 (1 档)	超声治疗仪上的超声锉放入根管的中 1/3 与根尖 1/3 交界处，超声振动 1min，水速为 20ml/min，功率为 1 档。超声锉在根管内振动时，尽量不与根管壁接触，振动方向为颊舌向。根管冲洗完毕后用注射器向根管内冲洗 5ml 0.9% 氯化钠，纸尖干燥根管
F 组	n=8	超声荡洗组 (2 档)	将超声治疗仪功率调整到2 档，余同 E 组操作
H 组	n=8	超声荡洗组 (3 档)	将超声治疗仪功率调整到3 档，余同 E 组操作

（四）根管峡部牙本质形貌实验

制备后的56 颗样本牙，沿牙体长轴磨制纵沟后劈开成两半，每颗牙分为两半，共112 个样本。每组（A-H 组）每颗牙的一半用于形貌实验，另一半预留硬度实验。形貌实验样本经2.5% 戊二醛固定24h、无水乙醇逐级脱水、干燥后，离子溅射仪喷金30s 处理。随后，在18 倍电镜下定位距根尖4-6mm 的根管峡部，逐步放大至1500 倍观察。分别观察峡部上段、中段、下段（间隔约0.5mm）的形貌特征，

随机选取各区域点拍照获取 SEM 图像。由经过培训、有经验的口腔内科医生按 Gorman<sup>[4]</sup> 玷污层的分级标准进行分级评定，每段随机选取3 张图像，计算平均值作为该段评分。上、中、下三段评分的平均值作为样本总体评分。

（五）牙本质显微硬度实验

形貌实验预留的 A、B、C、D、E、F、H 组56 个样本用于显微硬度测试。样本峡部纵剖面经自凝树脂包埋后，依次用400 目、800 目、1200 目、2000 目金相砂纸打磨，橡皮轮抛光，75% 酒精清洗30s 并吹干。随后在电热鼓风干燥箱中恒温37℃干燥8h。测试时，将样本置于 EV-4000TK 显微维氏硬度计载物台，在10 倍物镜下定位峡部区域，随机选取3 个间隔200μm 的点位进行硬度测定（负荷200g，持续10s）。排除异常值后，取3 点平均值作为样本显微硬度值（HV）。

（六）统计学处理

采用 SPSS 23.0 软件进行数据分析，玷污层的结果采用非参数检验 Kruskal-WallisH 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。

二、结果

（一）根管峡部牙本质形貌实验结果

不同处理方式，各组根管峡部总体评分组间总体存在差异（F=15.357,P < 0.05），组间比较：超声与半导体激光去除根管峡部玷污层的效果均优于空白对照组；激光1.0W 组、激光1.25W 组去除根管峡部玷污层的效果均优于超声组与激光0.75W（P<0.05）；激光1.0W 组、激光1.25W 组去除根管峡部玷污层的效果相当、超声组不同频率去除根管峡部玷污层的效果均相当（P>0.05），如表2 所示。

（二）牙本质显微硬度测试结果

各组根管峡部牙本质显微硬度组间总体存在差异（P < 0.001）。组间比较：超声与半导体激光根管峡部牙本质显微硬度高于空白对照组；激光1.0W 组、激光1.25W 组根管峡部牙本质显微硬度高于超声组与激光0.75W（P < 0.05）；激光1.0W 组、激光1.25W 组峡部牙本质显微硬度相当，超声组不同频率根管峡部牙本质显微硬度均相当（P>0.05），如表3 所示。

表3 各组根管峡部总体评分情况（ $\bar{x} \pm s$ , 分）

组别	总体评分	F	P	P（组间两两比较）					
				A	B	C	D	E	F
A	2.84 ± 0.06	15.357	0.018						
B	1.02 ± 0.31			<0.001					
C	0.33 ± 0.20			<0.001	<0.001				
D	0.22 ± 0.17			<0.001	<0.001	0.256			
E	1.04 ± 0.28			<0.001	0.894	<0.001	<0.001		
F	0.89 ± 0.25			<0.001	0.371	<0.001	<0.001	0.277	
H	0.80 ± 0.19			<0.001	0.109	<0.001	<0.001	0.065	0.431

表 4 各组根管峡部牙本质显微硬度情况 ( $\bar{x} \pm s$ , HV)

组别	显微硬度值	F	P	P (组间两两比较)					
				A	B	C	D	E	F
A	55.63 ± 5.25	15.556	0.016						
B	61.89 ± 4.71			0.025					
C	73.26 ± 10.47			0.001	0.014				
D	73.81 ± 11.64			0.001	0.018	0.922			
E	61.12 ± 3.68			0.030	0.721	0.008	0.011		
F	63.28 ± 5.31			0.012	0.588	0.031	0.035	0.360	
H	64.02 ± 5.46			0.007	0.417	0.044	0.049	0.233	0.787

三、讨论

玷污层是由根管预备过程中产生的牙本质碎屑、微生物及其产物、残余的牙髓组织等组成的混合物，厚约 2 ~ 5 μm，不仅可贴附在牙本质表面，还可能深入到牙本质小管内。玷污层的存在阻止或延迟消毒剂对牙本质小管中细菌的作用，妨碍根充材料与根管壁的渗透和紧密贴合。此外，它还可能成为根管治疗过程中或充填后微生物生长和定植的底物，导致再次根管感染，从而对根管治疗的成功率和术后远期效果产生重大影响<sup>[5]</sup>。

根管治疗中，单一冲洗剂难以彻底清除根管峡部的玷污层。单纯依赖机械预备虽能增加预备量以去除感染物质，但可能导致侧穿、台阶、根尖偏移等并发症，并延长操作时间，增加医患疲劳。此外，过度切削牙本质会增加牙根折裂风险，缩短牙齿使用寿命<sup>[6]</sup>。因此，根管峡部的处理是影响治疗成功率的关键因素。实验结果显示，超声荡洗组的根管峡部清洁度显著优于对照组。这得益于超声荡洗过程中产生的空化效应、声流效应和热效应<sup>[7]</sup>，使其更易清除根管壁上的细菌和玷污层。已有研究表明，超声荡洗对根管峡部的清理效果优于注射器冲洗<sup>[8]</sup>，与本实验结果一致。在本研究发现，1.0W 和 1.25W 激光组的根管峡部牙本质壁玷污层基本消失，管壁平整干净无碎屑，牙本质小管大部分闭合，牙本质

熔融呈均质状。本实验结果发现：激光组在根管峡部的清理效果显著优于超声组。这提示半导体激光在去除根管玷污层方面的效果优于超声荡洗。这可能是因为半导体激光具有良好的穿透性，能够气化清除复杂根管壁上的碎屑和玷污层。此外，激光的“系统效应”使其即使在光纤无法到达的区域也能发挥作用<sup>[9]</sup>。

牙本质显微硬度检测是一种广泛应用的方法，因其具有可逆性且不损害牙体结构的特性，常用于观察牙本质表面结构的变化。实验结果显示，超声组与对照组对根管显微硬度的影响差异无统计学意义，而激光 1.0W 组和激光 1.25W 组显著提高了根管峡部的显微硬度。分析可能存在以下原因：一是超声荡洗过程中产生的热效应有限，不足以改变牙本质的空间构型；二是根管峡部解剖结构复杂，超声工作尖难以深入峡部发挥振荡作用，对显微硬度影响较小。这与 Arslan 等<sup>[10]</sup>研究结果一致，超声荡洗根管与单独冲洗根管对根管的显微硬度影响无显著差异。本实验中，激光 1.0W 组和激光 1.25W 组根管峡部显微硬度显著提高且高于超声组。半导体激光作用机理是通过的激光照射，根管内部的矿物质、牙本质分别发生热消融和融化，使牙本质晶体重排导致空间结构变化，进而影响牙本质的力学性能。关于半导体激光造成根管峡部牙本质显微硬度提高的原因可能在于：足够能量的半导体激光照射根管壁，使峡部牙本质内部胶原发生广泛交联，增强了峡部牙本质的显微硬度<sup>1</sup>；激光使牙本质小管口封闭熔融、填塞，径管变窄，牙本质小管平均密度下降，有利于提高显微硬度；局部高温促使牙本质中的羟基磷灰石重新熔合，晶体结构有序性改善，进一步增强显微硬度等物理性能。

由于本实验使用的是离体牙，无法完全复现口内实际操作的复杂环境，研究结果存在一定的局限性。此外，不同功率半导体激光和超声波技术激活冲洗剂的效能存在差异，以及它们如何影响牙本质的显微硬度、溶解度和抗压折强度等特性，这些问题仍需通过临床试验来深入探究和验证。本研究表明，不同功率超声荡洗（1档、2档与3档）和不同功率半导体激光（0.75W、1.0W、1.25W）照射均能有效去除根管峡部玷污层，1.0W 和 1.25W 半导体激光去除峡部玷污层能力优于超声。超声荡洗与 0.5W 半导体激光照射对峡部牙本质显微硬度影响不显著，而 1.0W 和 1.25W 半导体激光照射能增强峡部牙本质显微硬度。

参考文献

[1] 孙书显, 王贺. 根管峡区的定位、发生率及临床意义 [J]. 口腔疾病防治, 2021, 29(1): 11-19.

[2] 潘悦萍, 李婷婷. Er: YAG 激光荡洗的研究与进展 [J]. 上海交通大学学报 (医学版), 2022, 42(12): 1780-1784.

[3] Hsu Y-Y, Kim S. The Resected Root Surface [J]. Dental Clinics of North America, 1997, 41(3): 529-540.

[4] Gorman M C, Robert Steiman H, Gartner A H. Scanning electron microscopic evaluation of root-end preparations [J]. Journal of Endodontics, 1995, 21(3): 113-117.

[5] 乐鑫, 申静. 有机酸类冲洗液对根管内玷污层清理效果的研究进展 [J]. 口腔医学研究, 2020, 36(5): 416-419.

[6] 袁志瑶, 邹习宏, 戴霖霖, 等. 上颌第一磨牙牙根折裂的临床特征分析 [J]. 华西口腔医学杂志, 2021, 39(5): 555-559.

[7] Paiva H C, Iglecias E F, Freire L G, et al. Root canal curvature influences uncontrolled removal of dentin and cleaning efficacy after ultrasonic activation [J]. Brazilian dental journal, 2024, 35: e245611.

[8] 罗文, 左雯鑫, 温超颖, et al. 不同根管冲洗方法及冲洗时间对管间峡区清理效果的研究 [J]. 中国实用口腔科杂志, 2023, 16(5): 540-546.

[9] 谢佳利. 动能荡洗辅助技术用于感染性根管的研究进展 [J]. 临床口腔医学杂志, 2023, 39(3): 183-186. [10] Arslan H, Yeter K Y, Karatas E, et al. Effect of agitation of EDTA with 808-nm diode laser on dentin microhardness [J]. Lasers Med Sci, 2015, 30(2): 599-604.