

口腔医学中玻璃纤维桩表面处理后其弯曲强度的变化的研究进展

周顺敏^{1*}, 周圣硕², 哈斯牧仁^{3#}

¹内蒙古医科大学研究生院, 内蒙古 呼和浩特

²湖南中医药大学口腔医学院, 湖南 长沙

³内蒙古自治区国际蒙医医院口腔科, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2025年4月29日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月29日

摘要

目前, 国内外的学者们已经提出了各种的玻璃纤维桩表面处理方法。评价这些表面处理方法的指标包括力学性能, 主要是弯曲强度。本研究的主要目的是对玻璃纤维桩的表面处理方法与其弯曲强度的变化的相关研究进行综合综述。以期在临床工作中为玻璃纤维桩选择最佳处理方法提供一定的参考价值, 从而提高修复成功率、避免失败案例的发生。

关键词

玻璃纤维桩, 表面处理, 弯曲强度

Research Progress on the Change of Flexural Strength of Glass Fiber Post after Surface Treatment in Stomatology

Shunmin Zhou^{1*}, Shengshuo Zhou², Muren Hasi^{3#}

¹Graduate School, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

²School of Stomatology, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha Hunan

³Department of Stomatology, Inner Mongolia Traditional Mongolian Hospital, Hohhot Inner Mongolia

Received: Apr. 29th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 29th, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 周顺敏, 周圣硕, 哈斯牧仁. 口腔医学中玻璃纤维桩表面处理后其弯曲强度的变化的研究进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(3): 54-59. DOI: 10.12677/jcpm.2025.43315

Abstract

At present, scholars at home and abroad have put forward a variety of glass fiber post surface treatment methods. The criteria used to evaluate these surface treatments include mechanical properties, primarily flexural strength. The main purpose of this study is to comprehensively review the related research on the surface treatment of glass fiber post and its flexural strength. In order to provide some reference value for selecting the best treatment method of glass fiber post in clinical work, the success rate of repair should be improved, and the occurrence of failure cases should be avoided.

Keywords

Glass Fiber Post, Surface Treatment, Flexural Strength

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玻璃纤维桩的优点包括与根管牙本质、树脂水门汀和树脂核相似的弹性模量，优化了桩与牙本质之间的应力分布，具备更高的美观性能、优越的抗腐蚀性和抗过敏性，在需要根管再治疗时容易去除，且多为可二次修复[1][2]。因此，用玻璃纤维桩修复大面积缺损根管治疗后牙齿的治疗方案已被广泛应用于临床，其临床修复效果明显[3]。

Barfeic 等[4]的综述表明玻璃纤维桩在临床上治疗失败的主要原因是桩脱落。国内外的学者们已经提出了多种表面处理方法，有效地改善了玻璃纤维桩与树脂水门汀之间的粘接性能[5]-[7]。遗憾的是，玻璃纤维桩经表面处理后其表面形貌发生了改变，测量弯曲强度能更准确地评价表面处理方法对玻璃纤维桩力学性能的影响。目前，已有大量的综述总结了纤维桩表面处理方法与粘接强度的相关性的研究进展[1][8]。尚未发现有综述其有关弯曲强度的研究进展。因此，本文综述了玻璃纤维桩的表面处理与其弯曲强度的相关研究。

2. 玻璃纤维桩的定义

玻璃纤维桩是由可聚合树脂基质将玻璃长纤维束粘接到一起并且固化的复合材料，其中广泛应用的树脂基质是环氧树脂。扫描电镜显示玻璃纤维桩表面包覆一层已经固化的环氧树脂。由于树脂已经交联固化，呈不溶不熔，因此其进一步的化学反应性较低[8][9]。

3. 桩表面处理与弯曲强度的关系

在口腔的咀嚼运动过程中，任何修复体都受到力的作用，除了需要粘接强度保证修复体不脱落后，力学性能更不容忽视，玻璃纤维桩的弯曲强度应能够抵抗各种功能运动产生的剪切力，以便发挥其正常的功能[10]。目前，国内外的体外实验研究基本是利用三点弯曲试验来测量玻璃纤维桩经过表面处理后的物理特性，如弯曲强度、刚度和弯曲模量等，而在这些特性中，弯曲强度是玻璃纤维桩临床表现的主要指标之一[11]。

3.1. 硅烷偶联剂处理

玻璃纤维桩的硅烷化处理是一种高效简便的椅旁处理技术。然而,申林等[12]的短期临床研究表明硅烷化组与对照组的修复成功率在统计学分析中差异无显著性意义,值得注意的是应该延长随访期以增强该结论的说服力。与此同时,实验室研究证明玻璃纤维桩经过硅烷化处理后,其弯曲强度都表现为小幅度的降低,且无统计学意义[13]-[15]。

3.2. 喷砂处理

多数体外实验证明,玻璃纤维桩喷砂处理后其弯曲强度较对照组有所下降,扫描电镜图显示玻璃纤维和树脂基质同时遭到破坏,出现凹陷、裂纹等不良变化,其远期临床效果存在相当大的风险[14]-[16]。Braga 等[17]的研究数据出现了相反的结果,其喷砂组的弯曲强度较之未处理组高,根据扫描电镜推测可能是由于喷砂过程中氧化铝颗粒的粘附。

3.3. 化学试剂处理

Elsaka 等[14]评价了不同浓度的四氟化钛溶液蚀刻不同时间时的弯曲强度,其他处理组还有硅烷化、喷砂(CoJet 系统)、9%氢氟酸溶液蚀刻 1 min。弯曲强度虽有所下降但统计学结果表明表面处理对其没有影响($P > 0.05$),即使表面处理没有明显影响到桩的力学性能,但氢氟酸组和喷砂组的扫描电镜图像显示是消极的,基于耐久性不应被接受。有学者的研究对比硅烷化、喷砂、9%氢氟酸溶液蚀刻 1 min、二氯甲烷蚀刻 10 min 时的弯曲强度也得出同样的证明,表面处理对玻璃纤维桩的弯曲强度无不良影响[15]。然而,柴媛的研究指出二氯甲烷蚀刻玻璃纤维桩 15 s 后,其弯曲强度显著下降,与对照组比较有统计学意义[10]。二氯甲烷蚀刻研究结果的不同可能是玻璃纤维桩的来源不同以及工艺上的差别。

许婷婷等[13]采用 20%高锰酸钾溶液蚀刻玻璃纤维桩,发现其弯曲强度是所有组别中下降最多的且与对照组相比有统计学差异,其扫描电镜图像支持是由于部分玻璃纤维的断裂导致。与柴媛[10]的研究结果一致,高锰酸钾处理法损害了玻璃纤维桩的力学性能。我国学者用不同化学蚀刻剂处理 3 种玻璃纤维桩的研究却是负面影响,方案为 240 mL/L 的 H_2O_2 溶液蚀刻 10 min、96 mL/L 的氢氟酸溶液处理 15 s、126.56 mmol/L 的高锰酸钾溶液浸泡桩 10 min、二氯甲烷处理 15 s,结果表明三种桩经过不同化学蚀刻剂蚀刻后,弯曲强度较之同组对照组都显著下降($P < 0.05$),统计学结果表明桩的品种和试剂种类存在交互作用。扫描电镜图仅 HF 组的玻璃纤维和树脂基质都受损,其他组只是不同程度的基质溶解[10]。

高浓度的氢氟酸溶液蚀刻长时间的表面形貌变化是不理想的[10] [14] [15]。Aksornmuang 等[18]通过扫描电镜图片观察到低浓度(4.5%)氢氟酸溶液和高浓度(9.6%)氢氟酸溶液对含氧化锆填料的环氧树脂基 RelyX 玻璃纤维桩酸蚀 120 s 才出现玻璃纤维的碎块甚至纤维的移除;而对于甲基丙烯酸酯基 Tenax 玻璃纤维桩,高、低浓度的氢氟酸溶液蚀刻 60 s 已经造成不可挽回的玻璃纤维束损伤。三点弯曲试验结果显示: RelyX 玻璃纤维桩基本比 Tenax 玻璃纤维桩高,差异无统计学意义,这可能是因为氧化锆填料增强了 RelyX 玻璃纤维桩的机械性能。故可以根据玻璃纤维桩的类型考虑表面处理方案: 4.5%氢氟酸溶液酸蚀 60 s 和 9.6%氢氟酸溶液酸蚀 15 s。

有关过氧化氢溶液处理对玻璃纤维桩弯曲强度的研究结果都显示降低。张爽爽[16]的实验方案是 30%过氧化氢溶液蚀刻 10 min 后硅烷化,其弯曲强度最低,且统计学分析结果显示与对照组差异存在显著意义。柴媛[10]采用 240 mL/L 的过氧化氢溶液蚀刻 10 min,也支持同样的统计学分析结果。其他的研究方案为: 24%过氧化氢溶液蚀刻 10 min 后浸泡于 10%抗坏血酸溶液[13]、10%过氧化氢溶液蚀刻 10 min 和 24%过氧化氢溶液蚀刻 1 min [17]、24%过氧化氢溶液蚀刻 10 min [18]、35%过氧化氢溶液蚀刻 60 s [19],与对照组皆显示差异无统计学意义。在有限的有关过氧化氢溶液处理法的文献中,高浓度过氧化氢蚀刻

以及长时间蚀刻对玻璃纤维桩的力学性能会有负面影响，但仍需进一步研究。

3.4. 等离子体处理

一项[20]研究报道了氦气等离子体、氦气等离子体有氧液相接枝和同步接枝处理玻璃纤维桩后，评估了弯曲强度，发现三组处理组的弯曲强度值与对照组相比皆升高，但没有统计学意义。扫描电镜图片观察到玻璃纤维桩经过氦气等离子体处理后的表面形貌几乎没有改变，而氦气等离子体有氧液相接枝和同步接枝组的玻璃纤维桩表面观察到暴露的玻璃纤维减少，表面被覆接枝的 Bis-GMA/TEGDMA，同步接枝组的覆盖率更高。张爽爽等[16]采用氧气低温等离子体、过氧化氢溶液联合硅烷化、喷砂结合硅烷化作为实验处理组，发现了氧气低温等离子体处理玻璃纤维桩后的弯曲强度仅仅稍低于对照组的，且统计学分析显示差异无显著意义。等离子体应用于玻璃纤维桩的前景是相当可预见性，尤其是等离子体同步接枝技术。未来研究方向除了研究不同的气体及其气体组成外，完善设备使其简便化亦是推广等离子体处理技术的重要手段。

3.5. 激光处理

Kırmalı 等[11]的处理方案为 9%氢氟酸溶液蚀刻 1 min、120 μm 氧化铝颗粒喷砂 15 s、不同功率(1 W、2 W、3 W、4 W、5 W、6 W)的 Er、Cr: YSGG 激光处理，通过三点弯曲实验测量出表面处理后玻璃纤维桩的机械性能，发现所有处理组的机械性能都有所下降，尤其是 3 W 以后的 Er、Cr: YSGG 激光处理组，且与对照组相比差异有统计学意义，其他组的弯曲强度虽有下降，但与对照组比较差异无统计学意义。扫描电镜显示喷砂组可见密集的凹陷区，纤维束连续性消失；激光组不仅观察到玻璃纤维断裂，而且 3~6 W 的 Er、Cr: YSGG 激光组更是出现明显的碳化熔化区。高功率的 Er、Cr: YSGG 激光处理严重破坏了玻璃纤维桩的整体，极有可能影响玻璃纤维桩的远期临床效果。

有研究[21]对比了 3 种激光处理照射环氧树脂基玻璃纤维桩的力学性能、表面粗糙度和形貌，激光类型包括 Er: YAG 激光、Er、Cr: YSGG 激光、二极管激光器。表面粗糙度的数据显示 Er、Cr: YSGG 激光组 > 二极管激光器组 > Er: YAG 激光组 > 对照组，仅 Er、Cr: YSGG 激光组有统计学意义。这个结果是受到激光共聚焦显微镜图片支持，Er: YAG 激光组的玻璃纤维束似乎无变化，仅表面环氧树脂受热融合并再固化；Er、Cr: YSGG 激光组大量环氧树脂溶解并暴露玻璃纤维；二极管激光器组的玻璃纤维桩显示玻璃纤维和环氧基质的结构消失、消融和融合，固化。这表面形貌也符合弯曲强度的变化，即二极管激光器组、Er、Cr: YSGG 激光组的值显著下降，而 Er: YAG 组略高于对照组。造成这些不良结果主要是因为热效应，Er: YAG 激光器的冷却系统全部是水，Er、Cr: YSGG 激光器由水/空气喷雾组成，而二极管激光器无冷却系统。激光的能量可以被水吸收，认为激光处理玻璃纤维桩表面时，水膜的形成可以很好地消耗掉的能量。

激光处理应选择合适的参数设置，以提供合理的表面粗糙度和力学性能。通过分析，低功率的 Er、Cr: YSGG 激光处理可以增加表面粗糙度，在可接受的表面粗糙度范围内降低了玻璃纤维桩的力学性能。Er: YAG 激光处理虽然不影响弯曲强度，但是其表面粗糙度与对照组相近，降低了它的适用性。二极管激光器的热损伤过度破坏了玻璃纤维桩，造成其力学性能的严重下降，是属于负变化。

3.6. 紫外线处理

许婷婷将玻璃纤维桩置于距离紫外线灯 1 cm 处，间隔 90°依次各照射 3 min，发现紫外线处理降低了玻璃纤维桩的机械性能，但无统计学差异，扫描电镜图像观察到紫外线处理对玻璃纤维无破坏，保持了玻璃纤维桩的完整性[13]。这与其原理是一致的，即紫外线照射引起树脂基质表面的化学键破坏，使其活

化, 发生光解链断裂, 产生一定量的自由基, 提高润湿性及增强了表面能[13] [22]。

3.7. 工业应用的实验涂层

为了减少玻璃纤维桩表面处理的临床步骤和技术敏感性, Reis 等[19]选择了两种成分、构成比相近的环氧树脂基玻璃纤维桩(Exacto、White Post DC)研究了一种工业应用的实验涂层。主要原理是热活化的 3-甲氧基甲基丙烯酸丙基(MPTS)溶液在桩表面形成硅氧烷-甲基丙烯酸酯涂层。MPTS 具有烷氧基, 其水解形成的硅醇基团(Si-OH)与玻璃纤维化学位点反应, 同时和其他硅醇基团结合, 以形成 Si-O-Si 交联网络。三点弯曲试验结果显示弯曲强度有所下降, 但统计学结果无意义。扫描电镜观察到实验涂层组的玻璃纤维桩没有明显的表面形貌变化。EDX 分析: 实验涂层后 Exacto 桩表面观察到硅含量的升高以及更分散的分布。然而未经处理的 White Post DC 桩表面的硅含量比 Exacto 桩更高, 且实验涂层后硅含量减小。作者推测 White Post DC 桩硅含量的变化很可能是实验涂层消除了制造商的处理。在该研究中采用了拉伸实验证明实验涂层联合硅烷化在 Exacto 桩观察到最高的拉伸粘接强度, White Post DC 桩则提高不明显。未采用主流的推出实验导致说服力有所怀疑。虽然该技术简便、安全、经济, 但是所研究的玻璃纤维桩类型过少, 也没有远期观察桩实验涂层后时效性, 仍存在一定的争议。

4. 总结

本综述局限性在于仅总结了玻璃纤维桩经过表面处理后的弯曲强度变化, 而未分析其他因素对已经过处理的玻璃纤维桩的弯曲强度的影响。如, 研究发现玻璃纤维桩在咀嚼力作用下可能会降低玻璃纤维桩的弯曲强度, 冷热疲劳测试也显示已经过处理的玻璃纤维桩在冷热循环后的弯曲强度显著降低[14] [23]。综上所述, 玻璃纤维桩表面处理后的力学性能的研究仍存在空白之处, 在本综述可以局限性得出以下结论:

- 1) 基于表面形貌的变化, 喷砂、高浓度氢氟酸蚀、高锰酸钾处理以及激光处理的应用应慎重考虑;
- 2) 30%过氧化氢溶液蚀刻 10 min 后, 弯曲强度下降显著, 影响玻璃纤维桩的力学性能。过氧化氢在临床应用时, 可以考虑采用比该方案低的浓度、稍短的处理时间;
- 3) 二氯甲烷处理法的研究数据比较单薄, 需要更多的实验数据支撑相应的结论;
- 4) 紫外线、等离子体以及四氟化钛等的应用潜力是相当出色;
- 5) 工业应用的实验涂层的相关研究较少, 需要进一步研究以加强说服力。

参考文献

- [1] Souza, J.C.M., Fernandes, V., Correia, A., Miller, P., Carvalho, O., Silva, F., *et al.* (2021) Surface Modification of Glass Fiber-Reinforced Composite Posts to Enhance Their Bond Strength to Resin-Matrix Cements: An Integrative Review. *Clinical Oral Investigations*, **26**, 95-107. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04221-y>
- [2] Imai, D., Mine, A., Ezaki, R., Nakatani, H., Matsumoto, M., Hagino, R., *et al.* (2022) Does the Bonding Effectiveness of a Fiber Post/Resin Composite Benefit from Mechanical or Chemical Treatment? Seven Methods for Saliva-Contaminated Surfaces. *Journal of Prosthodontic Research*, **66**, 288-295. https://doi.org/10.2186/jpr.jpr_d_21_00015
- [3] 孔德让. 玻璃纤维桩和铸造金属桩修复牙体缺损的效果对比[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(16): 2540-2544.
- [4] Barfeie, A., Thomas, M.B., Watts, A., *et al.* (2015) Failure Mechanisms of Fibre Posts: A Literature Review. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, **23**, 115-127.
- [5] Elnaghy, A.M., Mandorah, A., Hassan, A.H., Elshazli, A. and Elsaka, S. (2021) Effect of Surface Treatments on Push-Out Bond Strength of Calcium Silicate-Based Cements to Fiber Posts. *BMC Oral Health*, **21**, Article No. 131. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01518-y>
- [6] Alshahrani, A., Albaqami, M., Naji, Z., Al-Khunein, Y., Alsubaie, K., Alqahtani, A., *et al.* (2021) Impact of Different Surface Treatment Methods on Bond Strength between Fiber Post and Composite Core Material. *The Saudi Dental Journal*, **33**, 334-341. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.03.010>

- [7] 董毅, 邓久鹏, 范新昊, 席光伟. 高浓度 H_2O_2 浸泡联合不同时长超声处理核桩对纤维桩-树脂界面黏结强度的影响[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(34): 5453-5458.
- [8] 董毅, 邓久鹏, 王树军, 陈艳青. 纤维桩表面处理技术的研究进展[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(25): 4073-4077.
- [9] Naves, L.Z., Santana, F.R., Castro, C.G., Valdivia, A.D.C.M., Da Mota, A.S., Estrela, C., *et al.* (2011) Surface Treatment of Glass Fiber and Carbon Fiber Posts: SEM Characterization. *Microscopy Research and Technique*, **74**, 1088-1092. <https://doi.org/10.1002/jemt.20999>
- [10] 柴媛, 袁慎坡, 林红, 孙志辉, 牛光良. 不同化学蚀刻剂对纤维桩表面形貌和弯曲强度的影响[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2016, 26(12): 716-720.
- [11] Kırmali, Ö., Akçakuş Battal, T., Turker, N. and Dündar, A. (2020) Mechanical Properties of Glass-Fibre-Reinforced Composite Posts after Laser Irradiation with Different Energy Densities. *Australian Endodontic Journal*, **47**, 34-42. <https://doi.org/10.1111/aej.12443>
- [12] 申林, 汪婷婷, 于淑玲, 张放. 玻璃纤维桩经不同表面处理修复牙体缺损的临床效果[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(22): 3485-3490.
- [13] 许婷婷. 不同表面处理方式对纤维桩粘接强度及机械性能的影响[D]: [硕士学位论文]. 佳木斯: 佳木斯大学, 2018.
- [14] Elsaka, S.E. and Elnaghy, A.M. (2019) Bonding Durability of Titanium Tetrafluoride Treated Glass Fiber Post with Resin Cement. *Dental Materials Journal*, **38**, 189-195. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-054>
- [15] Elnaghy, A.M. and Elsaka, S.E. (2014) Effect of Surface Treatments on the Flexural Properties and Adhesion of Glass Fiber-Reinforced Composite Post to Self-Adhesive Luting Agent and Radicular Dentin. *Odontology*, **104**, 60-67. <https://doi.org/10.1007/s10266-014-0184-z>
- [16] 张爽爽, 高士军, 金华, 纪洪晓, 苏红影, 王道明. 低温等离子体表面处理对纤维桩与树脂粘接强度的影响[J]. 中国体视学与图像分析, 2017, 22(2): 197-201.
- [17] Braga, N.M.A., Souza-Gabriel, A.E., Messias, D.C.F., Rached-Junior, F.J.A., Oliveira, C.F., Silva, R.G., *et al.* (2012) Flexural Properties, Morphology and Bond Strength of Fiber-Reinforced Posts: Influence of Post Pretreatment. *Brazilian Dental Journal*, **23**, 679-685. <https://doi.org/10.1590/s0103-64402012000600009>
- [18] Aksornmuang, J., Chuenarrom, C. and Chittithaworn, N. (2017) Effects of Various Etching Protocols on the Flexural Properties and Surface Topography of Fiber-Reinforced Composite Dental Posts. *Dental Materials Journal*, **36**, 614-621. <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-290>
- [19] Reis, G.R., Silva, F.P., Oliveira-Ogliari, A., *et al.* (2017) An Experimental Thermally Deposited Coating for Improved Bonding to Glass-Fiber Posts. *The Journal of Adhesive Dentistry*, **19**, 49-57.
- [20] 柴媛. 低温等离子体处理和接枝对纤维桩粘接强度和机械性能的影响[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [21] Barbosa Siqueira, C., Spadini de Faria, N., Raucci-Neto, W., Colucci, V. and Alves Gomes, E. (2016) Evaluation of Mechanical Properties of Glass Fiber Posts Subjected to Laser Surface Treatments. *Photomedicine and Laser Surgery*, **34**, 460-466. <https://doi.org/10.1089/pho.2016.4144>
- [22] Reza, F. and Ibrahim, N.S. (2015) Effect of Ultraviolet Light Irradiation on Bond Strength of Fiber Post: Evaluation of Surface Characteristic and Bonded Area of Fiber Post with Resin Cement. *European Journal of Dentistry*, **9**, 74-79. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.149646>
- [23] Irmak, Ö., Yaman, B.C., Lee, D.Y., Orhan, E.O., Mante, F.K. and Ozer, F. (2018) Flexural Strength of Fiber Reinforced Posts after Mechanical Aging by Simulated Chewing Forces. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, **77**, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.09.001>