

粘接样本保存方式对Er:YAG激光去除瓷贴面的影响

李筱文¹, 许新怡¹, 薛 淼², 张 迁², 龙英杰², 毕文雅³, 闫卓群³, 孙 磊^{1,2*}

¹安徽医科大学第二附属医院口腔科, 安徽 合肥

²合肥市口腔医院, 安徽医科大学合肥口腔临床学院, 安徽 合肥

³辽宁爱尔创生物材料有限公司爱尔创合作研究中心, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2026年4月13日; 录用日期: 2026年5月7日; 发布日期: 2026年5月15日

摘 要

目的: 比较即刻脱粘、24 h生理盐水保存及冷热循环老化(5000次)三种样本保存方式对Er:YAG激光去除瓷贴面脱粘效率的影响。方法: 制作标准化瓷贴面(3 mm × 3 mm × 0.5 mm), 将其粘接在离体牙上, 按处理方法随机分为三组: A组(粘接后立即激光脱粘)、B组(粘接后生理盐水保存24 h)、C组(粘接后冷热循环5000次, 5°C~55°C)。使用Er:YAG激光在100、150、200 mJ三种能量下进行脱粘, 记录脱粘时间及成功率。采用Fisher精确检验, 双因素方差分析、独立样本t检验进行统计分析。结果: 结果显示, 保存方法与激光能量均对脱粘效率有显著影响, 且二者存在交互作用。在100 mJ能量水平, 仅即刻组能够成功脱粘。在150 mJ和200 mJ能量水平, B组与C组的脱粘时间均显著长于A组, 而BC两组之间无显著差异。各组内, 除A组150 mJ与200 mJ间无统计学差异外, 高能量对应的脱粘时间均显著缩短。结论: 即刻脱粘样本的激光拆除效率显著高于老化样本, 而24 h生理盐水保存与冷热循环老化对脱粘效率的影响无显著差异。体外研究应明确样本保存状态, 以利结果比较。

关键词

瓷贴面, Er:YAG激光, 冷热循环, 保存方法, 脱粘时间

Effect of Bonded Sample Storage Method on Er:YAG Laser Removal of Porcelain Veneers

Xiaowen Li¹, Xinyi Xu¹, Miao Xue², Qian Zhang², Yingjie Long², Wenya Bi³, Zhuoqun Yan³, Lei Sun^{1,2*}

¹Department of Stomatology, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

²Hefei Stomatological Hospital, Hefei Stomatology Clinical College of Anhui Medical University, Hefei Anhui

³Upcera Collaborative Research Center, Liaoning Upcera Co., Ltd., Shenyang Liaoning

*通讯作者。

文章引用: 李筱文, 许新怡, 薛淼, 张迁, 龙英杰, 毕文雅, 闫卓群, 孙磊. 粘接样本保存方式对 Er:YAG 激光去除瓷贴面的影响[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 1242-1248. DOI: 10.12677/acm.2026.1651924

Abstract

Objective: This paper aims to compare the effects of three sample storage methods: immediate debonding, 24-hour saline storage, and thermocycling aging (5000 cycles) on the efficiency of Er:YAG laser removal of porcelain veneers. **Methods:** Standardized porcelain veneers (3 mm × 3 mm × 0.5 mm) were fabricated and bonded to extracted teeth. Samples were randomly divided into three groups according to storage method: Group A (laser debonding immediately after bonding), Group B (stored in saline for 24 hours after bonding), and Group C (thermocycled for 5000 cycles at 5°C~55°C after bonding). An Er:YAG laser was used for debonding at three energy levels (100, 150, and 200 mJ). Debonding time and success rate were recorded. Statistical analyses were performed using Fisher's exact test, two-way ANOVA, and independent samples t-test. **Results:** Both storage method and laser energy significantly affected debonding efficiency, and an interaction between the two factors was observed. At 100 mJ, only the immediate debonding group achieved successful debonding. At 150 mJ and 200 mJ, debonding times in Groups B and C were significantly longer than in Group A, while no significant difference was found between Groups B and C. Within each group, higher energy was associated with significantly shorter debonding times, except between 150 mJ and 200 mJ in Group A, where no statistical difference was observed. **Conclusion:** The laser removal efficiency of immediately debonded samples was significantly higher than that of aged samples, while no significant difference in debonding efficiency was found between 24-hour saline storage and thermocycling aging. *In vitro* studies should clearly report sample storage conditions to facilitate comparison of results.

Keywords

Veneer, Er:YAG Laser, Thermocycling, Storage Method, Debonding Time

Copyright © 2026 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

瓷贴面因其良好的美学效果和微创特性,已成为前牙美学修复的常用方式[1]。随着修复技术的普及,因继发龋、边缘染色、崩瓷或美学不满意等原因需要拆除重做的病例逐渐增多[2][3]。二次修复时,如何安全、高效地拆除原有贴面,同时避免损伤下方牙体组织,成为了临床医师面临的重要问题。

传统的贴面拆除方法多采用高速手机配合金刚砂车针机械磨除,该方法存在操作时间长、患者不适感强、易损伤牙体组织等缺点[4]。近年来,Er:YAG激光被发现可以应用于瓷修复体的拆除[5]。Er:YAG激光是一种波长为2940 nm的水动力生物型激光,其波长与水及羟基的吸收峰高度匹配,可被组织中的水分子及含羟基的物质高效吸收,发生“微爆破”从而实现精准切割[6]。

在临床实际中,需要拆除的修复体情况复杂:因美学不满意者,往往在粘接完成后短时间要求拆除;而因继发龋、崩瓷、边缘着色等原因需要拆除的贴面,已经在口腔内服役数年,经历了复杂的口腔环境老化过程[7][8]。目前,在Er:YAG激光去除瓷贴面的体外研究中,对贴面粘接样本的保存方法多样[9],这种不一致性可能会导致研究结果难以比较。因此,样本的保存状态是否会影响激光拆除效率,有待进

一步研究。

因此，本研究旨在比较三种不同保存状态(即刻脱粘、生理盐水保存 24 h、冷热循环 5000 次)对 Er:YAG 激光去除瓷贴面脱粘效率的影响，为体外研究的设计方法及临床激光拆除参数的优化提供实验依据。

2. 材料与方法

2.1. 样本制备

收集 2025 年 7~8 月来安徽医科大学第二附属医院的患者拔除的人磨牙 30 颗，清除牙周组织及牙结石，颊面预备一釉质平面，挑选釉质完整无裂纹者 27 颗，保存于生理盐水中备用。

使用低速金刚石切割机和研磨机将二硅酸锂玻璃陶瓷块(UP.Press 锂瓷, 爱尔创, 中国)制备为 0.5 mm × 3 mm × 3 mm 的薄片。由同一熟练操作者按照贴面粘接流程进行粘接。

2.2. 分组与处理

将粘接完成的样本随机分为三组：

A 组：粘接后立即进行激光脱粘测试；

B 组：粘接后置于生理盐水中保存 24 h；

C 组：粘接后进行冷热循环老化，循环参数：5℃，55℃水浴，每个温度停留 30 s，转移时间 10 s，循环 5000 次。

每组每个能量的样本量 $n = 3$ ，总样本量 27 个。

2.3. 激光拆除

在距离贴面 1.5 mm 左右的距离按照“S”形路径扫描整个贴面，直至贴面自行脱粘，记录脱粘时间，若激光处理 2 分钟贴面未脱落，记为脱粘失败。研究使用的 Er: YAG 激光设备信息及激光参数设置如表 1 所示。

Table 1. Er:YAG laser system and settings

表 1. Er:YAG 激光设备信息及参数

项目	具体信息
品牌信息	Fotona, 斯洛文尼亚
型号信息	Fotona M002-6A/2
手具	H14
光纤尖端直径	0.8 mm
波长	2940 nm
频率	10 Hz
水气比	4:2
能量	100 mJ, 150 mJ, 200 mJ

2.4. 统计学方法

采用 GraphPad Prism 10.1.2 统计软件进行数据分析。所有计量资料以平均值 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。采用 Fisher 精确检验比较各组间的脱粘成功率。采用双因素方差分析(Two-way ANOVA)评估保存方法、

能量对脱粘时间的影响, 事后多重比较采用 Tukey 法。显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。使用独立样本 t 检验进行补充比较。

3. 结果

3.1. 脱粘成功率

在 100 mJ 能量水平, A 组 3 个样本均成功脱粘(成功率 100%), 而 B 组和 C 组均无样本成功脱粘(成功率 0%)。Fisher 精确检验显示, 三组间成功率差异具有统计学意义($P=0.0357$)。

在 150 mJ 和 200 mJ 能量水平, 三组所有样本均成功脱粘。

3.2. 脱粘时间比较

各组脱粘时间如表 2 所示。因 B 组与 C 组在 100 mJ 能量条件下均发生脱粘失败, 无有效脱粘时间数据, 因此本研究核心分析采用保存条件 \times 2 组能量(150 mJ、200 mJ)的双因素方差分析; 同时, 额外对 A-100 mJ 组与其余各组进行独立样本 t 检验(Bonferroni 校正后检验水准 $\alpha=0.0083$), 作为补充。

Table 2. Debonding time of each group ($\bar{x} \pm s, s$)

表 2. 各组脱粘时间($\bar{x} \pm s, s$)

	100 mJ	150 mJ	200 mJ
A 组	32.17 \pm 10.67	11.82 \pm 2.69	4.167 \pm 0.83
B 组	/	76.76 \pm 7.57	11.20 \pm 1.70
C 组	/	71.43 \pm 3.40	7.96 \pm 1.13

双因素方差分析结果如表 3 所示, 保存方法因素与能量因素均对脱粘时间存在极显著影响(均 $P < 0.001$), 且二者间存在极显著交互作用($P < 0.001$)。事后多重比较结果如图 1 所示。

A-100 mJ 组与其余各组进行的独立样本 t 检验结果显示, A-100 mJ 组脱粘时间与其余 6 组均存在显著差异($P < 0.0083$)。

Table 3. Two-Way ANOVA results

表 3. 双因素方差分析结果

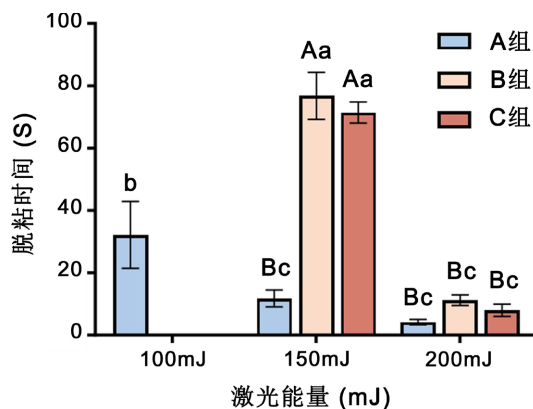
	平方和	自由度	MS	F 值	P 值
保存方法因素	4638	2	2319	166.7	$P < 0.001$
能量因素	9338	1	9338	671.4	$P < 0.001$
交互作用	3236	2	1618	116.3	$P < 0.001$
残差	166.9	12	13.91		

4. 讨论

本实验系统比较了体外试验中, 贴面粘接完成后即刻脱粘、生理盐水保存 24 h 及冷热循环 5000 次三种处理方式对 Er:YAG 激光去除贴面脱粘效率的影响。结果显示, 保存方法与激光能量均对脱粘效率存在显著影响, 且二者间存在强交互作用。

研究结果显示, 激光能量与脱粘时间呈负相关关系, 激光能量越高, 贴面脱粘时间越短, 这一结果

与既往研究者得到的结论一致[10]-[12]。



注: B组与C组在100mJ能量下脱粘失败,无有效数据。图中大写字母表示双因素方差分析多重比较结果,小写字母表示A-100mJ组与其余各组t检验(Bonferroni校正)结果。字母不同表示差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

Figure 1. Debonding time of each group

图 1. 各组脱粘时间

相同能量下,各组按照脱粘时间由高至低排序依次为B组(生理盐水保存24h)、C组(冷热循环5000次)、A组(即刻处理),且B、C两组的脱粘时间显著高于A组,表示粘接完成后即刻脱粘更为容易。各组的脱粘成功率进一步支持这一结论:在100mJ低能量下,B组与C组均脱粘失败(成功率0%),而A组全部成功(成功率100%)。这一结果说明即刻状态的粘接界面强度不足、对激光耐受性更差,可采用更低能量实现脱粘。

这一差异可能与粘接剂的固化过程有关:有研究表明,贴面粘接即刻的粘接强度显著低于24h后[13][14],这是因为光固化树脂的聚合过程属于链式反应,光照是引发反应的因素,反应会持续进行,直致单体浓度下降或聚合反应导致分子链迁移受限才逐渐终止。因此,在光固化刚结束时,树脂内部仍存在未反应的单体和自由基,聚合网络尚未完全形成,机械强度较低[15]。此时,Er:YAG激光的能量更容易消融这一未成熟的树脂层,脱粘时间更短。相比之下,24h保存组经历了充分的固化过程,残留单体进一步聚合,树脂网络更加致密,机械强度显著提高,对激光的抵抗能力增强,故脱粘时间延长[16]。

双因素方差分析结果提示,保存方法与激光能量之间存在显著的交互作用,具体表现为不同保存状态下,能量对脱粘效率的影响程度存在差异。在B组和C组中,200mJ的脱粘时间均显著短于150mJ,表明这两组对能量变化较为敏感。而在A组中,150mJ与200mJ的脱粘时间无统计学差异,提示在未充分固化的树脂层中,较低能量已足以实现有效脱粘,进一步提高能量带来的增益有限。

同时,脱粘成功率也侧面佐证了这一交互作用:在100mJ低能量下,即刻组与老化组的表现截然不同(100% vs 0%);而在150mJ和200mJ较高能量下,三组均能成功脱粘,组间差异缩小。这表明能量水平调节了保存状态对脱粘效率的影响程度——低能量时保存状态的影响被放大,高能量时被缩小。

这一现象的机制在于粘接界面的固化状态:即刻组树脂层尚未完全固化,结构疏松,较低能量即可有效消融;而老化组树脂层已充分固化,结构致密,需要更高能量才能克服其抵抗。因此,激光脱粘效率对能量的响应曲线受树脂水门汀固化状态的调控。

研究未发现B组与C组在脱粘时间上存在统计学差异,这一结果表明,在150mJ和200mJ能量水平下,单纯水分浸润(24h生理盐水保存)与老化处理(冷热循环5000次,模拟临床半年左右的口内服役状

态)对激光脱粘效率的影响程度相似。然而,鲁旭等研究表明,冷热循环 5000 次的粘接强度显著低于在生理盐水中保存 24 h 者[16],这与本文的结果存在差异,这一差异可能源于两种测试方法对界面老化降解的敏感性不同:剪切强度测试是通过机械力破坏界面,对老化引起的界面机械性能下降较为敏感;而激光脱粘依赖热消融与微爆破效应,受多种因素共同影响(如界面水分含量、树脂对激光能量的吸收特性等)。因此,两种测试方法反映的是界面不同的物理化学特性,其结果不完全平行是可以理解的。此外,本研究样本量较小也可能影响差异的检测,5000 次冷热循环所模拟的老化程度可能尚不足以在激光脱粘效率上产生可检测的差异。后续研究可采用扩大样本量及增加循环次数的方法,进一步验证冷热循环老化对激光脱粘效率的潜在影响。

本研究结果提示,临床工作中应根据贴面的粘接状态个性化设置激光参数:对于未成熟的粘接界面(如刚完成粘接需要调整或重做的病例),可采用较低能量以减少牙体热损伤;而对于已充分固化或经历老化的修复体,则需适当提高能量以保证脱粘成功率,避免一概而论。同时,体外脱粘实验的设计也需考虑样本保存方法这一因素,建议在文章中明确注明保存条件或老化方式及参数,以提升研究的可重复性与结果的可比性。

本研究也存在一定局限性。首先,较少的样本量可能影响结果的稳定性,后续研究需扩大样本量以验证本研究发现的可靠性。其次,冷热循环仅设置一个参数,未能探讨不同老化程度对脱粘效率的影响。此外,本研究仅采用单一厚度的二硅酸锂玻璃陶瓷贴面,结果是否适用于其他种类及厚度的贴面、尚不明确,结论的普适性有待进一步验证。

因此,未来研究可从以下方向深入:扩大样本量以提高统计效力;设置多梯度老化周期,探讨老化程度与脱粘效率的关系;纳入不同种类及厚度的瓷贴面,为体外实验方法学提供更全面的证据支持。

声明

本研究已取得安徽医科大学第二附属医院伦理委员会批准(YX2024-118(F1))。

参考文献

- [1] Zhang, Y., Vardhaman, S., Rodrigues, C.S. and Lawn, B.R. (2023) A Critical Review of Dental Lithia-Based Glass-Ceramics. *Journal of Dental Research*, **102**, 245-253. <https://doi.org/10.1177/00220345221142755>
- [2] 孟雨龙, 周尊梅, 宋宁宁. 传统瓷贴面修复与微创瓷贴面的长期效果及术后并发症的比较评价[J]. *四川生理科学杂志*, 2026(1): 82-84.
- [3] Alghazzawi, T.F. (2024) Clinical Survival Rate and Laboratory Failure of Dental Veneers: A Narrative Literature Review. *Journal of Functional Biomaterials*, **15**, Article No. 131. <https://doi.org/10.3390/jfb15050131>
- [4] 朱建宇, 洪菲菲, 何良航, 等. Er:Yag 激光拆除 3 种材质贴面的实验研究[J]. *华西口腔医学杂志*, 2023, 41(5): 568-572.
- [5] Morford, C.K., Buu, N.C.H., Rechmann, B.M.T., Finzen, F.C., Sharma, A.B. and Rechmann, P. (2011) Er:YAG Laser Debonding of Porcelain Veneers. *Lasers in Surgery and Medicine*, **43**, 965-974. <https://doi.org/10.1002/lsm.21144>
- [6] Deeb, J.G., Grzech-Leśniak, K., Brody, E.R., Matys, J. and Bencharit, S. (2022) Erbium Laser-Assisted Ceramic Debonding: A Scoping Review. *Journal of Prosthodontics*, **31**, e100-e124. <https://doi.org/10.1111/jopr.13613>
- [7] Hanoon, Z.A., Abdullah, H.A., Al-Ibraheemi, Z.A., Alamoush, R.A., Sami, S.M. and Haider, J. (2023) Marginal Fit of Porcelain Laminate Veneer Materials under Thermocycling Condition: An *In-Vitro* Study. *Dentistry Journal*, **11**, Article No. 12. <https://doi.org/10.3390/dj11010012>
- [8] Gad, M.M., Fouda, S.M., Abualsaud, R., Alshahrani, F.A., Al-Thobity, A.M., Khan, S.Q., *et al.* (2022) Strength and Surface Properties of a 3D-Printed Denture Base Polymer. *Journal of Prosthodontics*, **31**, 412-418. <https://doi.org/10.1111/jopr.13413>
- [9] Luca, R.E., Giumancă-Borozan, A., Hulka, I., Munteanu, I., Todea, C.D. and Miron, M.I. (2025) Er:YAG Laser Applications for Debonding Different Ceramic Restorations: An *in Vitro* Study. *Medicina*, **61**, Article No. 1189. <https://doi.org/10.3390/medicina61071189>

-
- [10] Jiang, L., Li, X., Lu, Z., Yang, S., Chen, R. and Yu, H. (2024) Er:YAG Laser Settings for Debonding Zirconia Restorations: An *in Vitro* Study. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, **151**, Article ID: 106331. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106331>
- [11] Laky, M., Toth, P., Laky, B., Vaskovich, T., Kurzmann, C., Arslan, M., *et al.* (2023) Optimized Erbium-Doped Yttrium Aluminum Garnet (Er:YAG) Laser Parameters for the Removal of Dental Ceramic Restorations. *Materials*, **16**, Article No. 5835. <https://doi.org/10.3390/ma16175835>
- [12] El-Damanhoury, H.M., Salman, B., Kheder, W. and Benzina, D. (2022) Er:YAG Laser Debonding of Lithium Disilicate Laminate Veneers: Effect of Laser Power Settings and Veneer Thickness on the Debonding Time and Pulpal Temperature. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, **13**, e57. <https://doi.org/10.34172/jlms.2022.57>
- [13] 刘新强, 谢彩虹, 居曼江·买买提, 等. 光固化树脂加强型玻璃离子水门汀即刻剪切强度的测定[J]. 口腔医学杂志, 2007(8): 416-417, 426.
- [14] Chitnis, D., Dunn, W.J. and Gonzales, D.A. (2006) Comparison of *In-Vitro* Bond Strengths between Resin-Modified Glass Ionomer, Polyacid-Modified Composite Resin, and Giomer Adhesive Systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **129**, 330.e11-330.e16. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.11.011>
- [15] Alshabib, A., AlDosary, K. and Algamaiah, H. (2024) A Comprehensive Review of Resin Luting Agents: Bonding Mechanisms and Polymerisation Reactions. *The Saudi Dental Journal*, **36**, 234-239. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.010>
- [16] 鲁旭, 孙迎春, 高平. 2 种贴面材料在不同粘接系统下粘接强度的对比研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2012, 28(2): 187-191.