

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.18.042

牙齿美白方法对牙釉质结构与性能影响的研究进展

丁 昭

(北京市昌平区医院, 北京 昌平 102200)

[摘要] 随着牙齿美白技术的不断发展, 化学漂白、光照增强美白及机械辅助与物理清洁等方法在临床上得到广泛应用。然而, 这些美白手段在取得增白效果的同时, 也可能对牙釉质造成一系列不良影响。本文系统综述了当前主流牙齿美白技术的作用机制及其对牙釉质微观结构和理化性能的影响, 同时总结包括氟化物应用、再矿化材料、抗氧化处理以及敏感症状控制在内的多项保护与修复策略。最后, 从临床实际应用与安全性角度出发, 强调了美白技术在促进牙体保存修复学及个性化治疗发展方面的重要意义, 并对现有风险提出防控建议, 以期为临床治疗提供参考。

[关键词] 牙齿美白; 牙釉质; 过氧化氢; 光照增强美白; 表面粗糙度

[中图分类号] R783.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949 (2025) 18-0165-04

Research Progress on the Effects of Tooth-Whitening Methods on Enamel Structure and Properties

DING Zhao

(Beijing Changping Hospital, Changping 102200, Beijing, China)

[Abstract] With the continuous development of tooth whitening technology, methods such as chemical bleaching, light-enhanced whitening, and mechanical assistance combined with physical cleaning have been widely used in clinical practice. However, while these whitening methods achieve a whitening effect, they may also cause a series of adverse effects on enamel. This paper systematically reviews the mechanism of action of current mainstream tooth whitening technologies and their effects on the microstructure and physicochemical properties of enamel. Meanwhile, it summarizes a number of protection and repair strategies, including the application of fluoride, remineralization materials, antioxidant treatment, and control of sensitive symptoms. Finally, from the perspective of clinical practical application and safety, it emphasizes the important significance of whitening technology in promoting the development of tooth preservation and restoration and personalized treatment, and puts forward prevention and control suggestions for existing risks, in order to provide reference for clinical treatment.

[Key words] Tooth whitening; Enamel; Hydrogen peroxide; Light-enhanced whitening; Surface roughness

牙齿美白 (tooth whitening) 已成为临床常用的牙体美容手段, 目前主流的美白技术主要包括化学漂白、光照增强美白及机械辅助与物理清洁。而在美白过程中, 化学药剂或外部能量作用于牙釉质表面, 可能引起其矿化程度降低和微观结构改变, 从而对牙齿的健康带来潜在风险^[1]。基于此, 本文系统综述不同牙齿美白技术对牙釉质的影响, 重点分析其作用机制、釉质表面结构与理化性能的变化, 并对比各类方法的美白效果

及安全性, 以期为临床治疗方案的选择提供理论支持和实践参考。

1 牙齿美白技术的分类及其作用机制

1.1 化学漂白技术及其作用机制 化学漂白是当前应用最广泛且接受度最高的牙齿美白技术, 其核心漂白成分通常为过氧化氢或过氧化脲。该类化合物的美白机制主要依赖于其在作用过程中分解所产生的活性氧自由基。这些自由基能够渗透进

入牙釉质乃至牙本质层,靶向作用于有机色素大分子,通过断裂其发色团中的共轭双键结构,使深色化合物转化为浅色或无色物质,从而实现牙齿颜色由内而外的减淡与增白效果^[2]。

1.2 光照增强美白技术及其作用机制 光照增强美白是在化学漂白基础上发展起来的一种辅助增强技术,其通过特定波长的光能加速漂白剂的分解,促进更多自由基的释放,从而提升氧化反应效率与整体美白效果^[3]。与单纯化学漂白相比,光照辅助技术能够缩短治疗时间,提高美白效果的深度和均匀度,尤其适用于中重度着色病例^[4]。

1.3 机械辅助与物理清洁技术及其作用机制 机械辅助与物理清洁是一类通过物理作用去除牙齿表面外源性色素沉积以改善外观的美白方法。该类技术不改变牙体内部结构或化学键合型色素,仅针对牙釉质表层的污染物和着色斑进行清除。常见手段包括微磨抛光、超声洁治、气流喷砂及含磨料的美白牙膏^[5]。微磨抛光借助含磨料的橡皮杯或旋转器械对牙面进行机械摩擦,从而去除浅表污渍;超声洁治利用高频振动配合水流冲洗,有效清除牙石和部分色斑;气流喷砂通过将细颗粒粉末与水气混合后高速喷射,实现高效清洁;而含磨料的美白牙膏则通过日常刷牙过程中的轻微研磨作用,提供持续且温和的去渍维护^[6-8]。

2 不同美白技术对牙釉质的影响

2.1 过氧化氢漂白对牙釉质的影响

2.1.1 不同浓度过氧化氢对牙釉质硬度的影响 过氧化氢作为牙齿美白中最常用的漂白剂,其浓度差异影响牙釉质的硬度变化。研究表明^[9],低浓度过氧化氢(3%~10%)通常用于居家美白,该产品作用温和,对牙釉质硬度的短期影响较小,但长期使用仍可能导致牙齿表面发生轻度脱矿;诊室美白常采用中高浓度制剂(20%~35%),可在较短时间内实现美白效果^[10],但也会引起牙釉质中钙、磷等矿物质的流失,并伴随硬度值下降。部分实验结果显示^[11],高浓度过氧化氢处理后的釉质硬度下降幅度可达10%~20%,且这种损伤在美白结束后短期内难以完全恢复。

2.1.2 过氧化氢对牙釉质表面粗糙度的影响 在过氧化氢漂白过程中,牙釉质表面粗糙度通常会呈现不同程度的上升。经高浓度过氧化氢处理后,牙釉质表面可出现不规则凹陷、微孔和微裂隙等

结构改变,部分区域甚至出现釉柱末端暴露,这些形态变化增加了牙齿表面的色素和菌斑吸附能力,导致美白后更易发生再着色现象。相比之下,低浓度过氧化氢漂白仅引起牙釉质表面的轻微蚀刻,粗糙度增加幅度较小,对表面结构的影响也较为有限。

2.1.3 过氧化氢对牙釉质矿物质流失与再矿化能力的影响 在过氧化氢漂白过程中,牙釉质内的钙、磷等无机成分会因氧化反应而发生流失,导致其抗酸蚀能力下降。研究显示^[12],使用高浓度过氧化氢进行漂白后,牙釉质表面的钙磷比例降低,矿物质流失尤为明显。在再矿化干预下,可以部分修复脱矿区域并改善釉质结构,但其恢复效果受初始脱矿程度的影响,严重损伤往往难以完全逆转^[13]。

2.2 光照增强美白对牙釉质的影响

2.2.1 光照能量参数对牙釉质的影响 在光照增强美白技术中,光源的能量密度、照射时间及波长等参数设定对牙釉质的生物学反应及治疗效果具有关键影响。研究表明^[14],较高的能量密度虽可加速漂白剂分解、提高美白反应速率,但也易引起牙釉质表面温度急剧升高,从而诱发热应激反应,导致微结构损伤甚至牙髓刺激。相反,若能量密度不足,则难以充分激活漂白剂,美白效果会受到影响^[15, 16]。

2.2.2 光照增强美白对牙釉质微观结构的影响 光照增强美白虽可提升氧化反应速率,但其对牙釉质表面结构的潜在影响亦不容忽视。研究显示^[17, 18],多次或高频次的光照处理后,牙釉质表面粗糙度增加,局部区域出现矿物质流失现象,并伴随抗酸蚀能力与再矿化能力的下降。尤其是在高浓度漂白剂协同作用下,自由基反应更为剧烈,可同时使釉质内的有机基质和无机矿物成分造成破坏。

2.2.3 光照美白对牙釉质微裂纹的影响 光照在提升牙齿美白效率的同时,也可能对牙釉质的微结构造成一定影响。研究显示^[19],部分样本在接受高强度光照处理后,其牙釉质表层出现微裂纹或原有裂隙进一步加深。这一现象主要与光热效应引起的局部温度骤升有关。急剧的温差变化导致釉质内部应力集中,从而诱发微结构损伤。

2.3 机械辅助与物理清洁技术对牙釉质的影响

2.3.1 微磨抛光对牙釉质的影响 微磨抛光技术通过搭载磨料的橡皮杯旋转摩擦以去除牙齿表面附着

的色素。然而长期或频繁地进行微磨抛光可能导致牙釉质表面发生细微磨损,粗糙度相应增加,从而更易吸附色素和细菌,在一定程度上加剧再着色的风险。此外,过度抛光还可能削弱釉质表面的自然光泽,并引发牙齿敏感症状,其长期累积效应需引起临床重视。

2.3.2 超声洁治对牙釉质的影响 超声洁治通过高频振动结合水流冲击的方式有效清除牙石及表面色斑。然而,若操作参数设置不当,高频振动也可能导致牙釉质出现微裂纹或局部脱矿,影响其结构完整性和力学性能。此外,长期频繁的超声洁治可能加剧矿物质流失,对龋易感者或已有脱矿倾向的患者尤为不利。

2.3.3 气流喷砂对牙釉质的影响 气流喷砂技术通过将空气、水流和磨料粉末混合后高速喷射,可高效清除牙齿表面的外源性斑渍和菌斑。然而,由于其磨料颗粒相对较粗,若操作参数控制不当或使用过于频繁,可能导致牙釉质表面发生摩擦性损伤和粗糙度上升,进而降低釉质光泽并削弱其抗酸蚀能力。

2.3.4 含磨料的美白牙膏对牙釉质的影响 含磨料的美白牙膏在日常口腔护理中应用广泛,其依靠所含的摩擦颗粒通过刷牙时的机械作用去除牙齿表面的轻度外源性色斑。然而,若长期使用此类产品,尤其是磨料颗粒较粗或棱角尖锐的配方,可能导致牙釉质表面发生轻微但累积性的磨损,不仅会使牙齿光泽度下降,还可能增加牙本质敏感风险。若配合过大的刷牙力度或错误的刷牙方法,更易加剧釉质表面的物理损伤。

3 牙釉质保护与美白后的修复策略

3.1 氟化物干预强化策略 在牙齿美白治疗后,由于牙釉质表面可能出现矿物质流失,其抵抗酸蚀和机械磨损的能力会有所下降。此时局部应用氟化物,可促进釉质表层形成更具稳定性和抗酸能力的氟羟基磷灰石,从而有效增强牙釉质的再矿化能力并抑制脱矿进程。研究表明^[20],在美白治疗后立即施用高浓度氟化物,不仅能够降低牙釉质的酸溶解风险,还有助于缓解术后牙齿敏感症状,提升患者的治疗舒适度与满意度。

3.2 再矿化材料修复策略 纳米羟基磷灰石因其化学成分和晶体结构与天然牙釉质高度相似,在牙体硬组织修复领域受到广泛关注。牙齿美白后,釉质表面常出现微孔和粗糙区域,而n-HAP中的

纳米级颗粒能够有效渗透至这些微小缺陷中,与釉质基质结合,从而实现微观层面的修复与再矿化。此外,含钙、磷活性成分的再矿化材料也被证实可有效补充因美白处理而流失的矿物质成分。这类材料不仅能够促进牙釉质硬度与表面光滑度的恢复,还可提升其对外界酸蚀和机械刺激的抵抗能力,成为一种兼具生物学兼容性和功能恢复价值的釉质修复策略。

3.3 抗氧化干预缓解策略 在化学漂白及光照增强美白过程中产生的大量自由基,不仅可能加剧牙釉质无机矿物的溶解,还会对其有机基质造成氧化损伤,影响釉质的结构与功能完整性。为缓解此类氧化应激反应,抗氧化剂的应用逐渐成为美白后护理的新兴研究方向。维生素E、谷胱甘肽、绿茶多酚等天然抗氧化成分已被尝试用于美白后处理中。这些成分可有效中和残留的自由基,减轻其对釉质内蛋白质结构的破坏,并具有一定的组织修复辅助作用。

3.4 敏感症状管理综合策略 牙齿敏感是牙齿美白后最为常见的不良反应,其发生机制主要与牙釉质微孔隙增多、牙本质小管开放及内部神经末梢受到刺激有关。为有效管理这一症状,需采取综合性的干预策略。首先,可局部应用含脱敏成分的专业产品。这些活性成分能够通过封闭暴露的牙本质小管降低牙髓神经的敏感性,从而缓解症状。其次,在美白治疗过程中,使用较低浓度的漂白剂或适当延长治疗间隔,有助于减轻对牙釉质的持续刺激,从源头上降低敏感发生风险。此外,制定个性化的术后护理方案也尤为关键,例如长期使用含氟化物和再矿化成分的牙膏,既能够增强牙体组织的抗敏感能力,也有助于维持美白效果的稳定性。

4 应用意义与安全性评价

4.1 美白技术的应用意义 从技术发展角度看,牙齿美白也推动了牙体保存与微创修复理念的进步。通过采用低浓度多次漂白联合微创树脂修复或贴面技术,可在最大限度保留健康牙体组织的同时,实现稳定持久的美学修复效果。随着数字化技术与人工智能的逐步应用,医生可借助光学测色、口内扫描及三维建模等工具,为患者设计并执行高度个性化的美白方案,进一步提升治疗的精准性与可预测性。在学科发展层面,牙齿美白不仅回应了社会日益增长的口腔美学需求,也

促进了再矿化材料、抗氧化剂与低损伤性漂白剂
等前沿研究的深入,不断推动口腔医学从功能修
复向功能与美学深度融合的方向发展。

4.2 临床操作中的风险防控与改进措施 在化学漂
白中,应严格控制过氧化氢等活性成分的浓度与
作用时间,并配合使用含氟或钙基再矿化制剂,
以促进釉质修复。光照增强型美白需合理设置光
源类型、能量密度及照射时长,避免因温度过高
引发牙釉质微裂纹或牙髓刺激。机械辅助与物理
清洁方法则应规范操作力度与频次,防止过度磨
损导致牙釉质表面粗糙化甚至结构损伤。临床实
践中,须根据患者的年龄、牙体条件等因素制定
个体化治疗方案,以平衡美学需求与组织保护。
未来研发应致力于低浓度高效漂白剂的开发,并
积极融合纳米技术、可控激光等创新手段,在确
保美白效果的同时进一步提升治疗的微创性和生
物相容性,推动牙齿美白向更安全、更精准、更
可持续发展的方向。

5 总结

牙齿美白作为口腔美学领域的重要技术,
已在临床中广泛应用。不同美白方式在有效改善
牙齿颜色的同时,也可能对牙釉质的微观结构和
理化性能带来一定影响。因此,在追求美学效果
的过程中,必须兼顾牙体组织的长期健康与完整
性。通过科学选择适应证、合理控制美白参数,
并结合氟化物应用、再矿化材料、抗氧化剂以及
敏感症状管理综合策略等辅助保护手段,可在提
升牙齿美观性的同时,增强牙釉质的抗损伤能力
与自我修复潜力。未来,随着个性化治疗需求的
提升以及生物相容性新材料的持续发展,牙齿美
白技术与牙体保存学将进一步深度融合,为患者
提供更加安全、持久且微创的口腔美学治疗解
决方案。

[参考文献]

- [1]刘玉铤.氟保护漆对牙齿外漂白后牙釉质矿物质密度下
降和牙齿敏感影响的研究[D].十堰:湖北医药学院,2024.
[2]张文怡,尹昭,张健.渗透树脂联合美白技术修复微裂氟斑
牙[J].中国组织工程研究,2025,29(4):686-691.
[3]朱陈元,周琴,徐玲.上海地区口腔住院医师规培学员对牙

齿冷光美白治疗的认知及应用情况调查[J].口腔颌面修
复学杂志,2024,25(1):45-50.

- [4]彭宇,李梦园,陈霞.Beyond冷光美白技术联合渗透树
脂在氟斑牙前牙美学修复中的应用[J].中国美容医
学,2023,32(9):140-144.
[5]李迎梅,寇鹏,陈雨昕,等.光学相干成像无创检测不同
漂白方法对釉质白斑治疗效果的实验研究[J].口腔医
学,2023,43(3):217-221.
[6]杨雨莹.皓齿美白治疗前后牙齿色度分析及口腔微生态
的变化研究[D].大连:大连医科大学,2024.
[7]李雯,周伟,汤旭娜,等.半导体激光与ND:YAP激光在
牙齿美白中的应用效果分析[J].东南大学学报(医学
版),2018,37(1):125-129.
[8]张子剑. Bi_2WO_6 基压电光催化材料制备及牙齿美白和抗
菌性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2023.
[9]刘峰,徐明明,张峰,等.漂白对人牙釉质与树脂粘接强度
的影响[J].中华口腔医学杂志,2008,43(6):360-361.
[10]何品莹.漂白剂对人牙釉质即刻粘接强度影响的Meta分
析及病例报告[D].福州:福建医科大学,2021.
[11]俞璐.1.不同浓度过氧化氢漂白液对人牙髓细胞的影
响.2.青年患者诊室美白的临床病例[D].杭州:杭州师范
大学,2023.
[12]龙赞子,汪洋,安娜.一般家用牙齿美白产品的有效性和
安全性[J].口腔护理用品工业,2023,33(1):25-28.
[13]杨昱昊.基于光学相干层析成像技术定量分析漂白牙釉
质脱矿/再矿化程度的体外研究[D].南昌:南昌大学医学
部,2022.
[14]陈若萱. Bi_2WO_6 基纳米材料制备及牙齿美白抗菌性能研
究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2022.
[15]胡兴宇.纳米 TiO_2-x 的光热增强类芬顿效应应用于高效安
全牙齿美白[D].成都:四川大学,2022.
[16]张凤.纳米 TiO_2 @PDA在蓝光下用于高效和无损牙齿美
白的实验性研究[D].南昌:南昌大学医学部,2018.
[17]苏晓凡,刘素汝,胡兴宇,等.牙齿漂白材料的研究新进展
[J].国际口腔医学杂志,2025,52(2):176-182.
[18]樊雯琦.诊室美白用于变色牙治疗的临床研究[D].太原:
山西医科大学,2016.
[19]张丽娜.再矿化液在牙齿美白中对恒牙釉质表面结构影
响的研究[D].郑州:郑州大学,2015.
[20]周美西,朱琳虹.影响牙齿美白效果的因素[J].口腔疾病
防治,2021,29(6):428-432.

收稿日期: 2025-9-5 编辑: 张蕊