

影响牙齿漂白治疗效果因素的研究进展

朱灵珊^{1,2,3}, 徐镔亭^{1,2,3*}

¹重庆医科大学附属口腔医院口腔修复科, 重庆

²口腔疾病与生物医学重庆市重点实验室, 重庆

³重庆市高校市级口腔生物医学工程重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年1月28日; 录用日期: 2025年2月21日; 发布日期: 2025年2月28日

摘要

着色牙是常见的口腔疾病, 根据其病因可以分为外源性着色牙和内源性着色牙两类。随着人们生活水平 and 经济水平的提高, 牙齿变色与美观问题引起越来越多患者的关注, 而漂白治疗, 作为一种微创性高, 对牙齿硬组织损伤较小的治疗方式被越来越多地应用于变色牙的治疗。漂白治疗已经被大量的研究证实其有效性, 但漂白治疗的效果受多种因素的影响, 本文将就影响漂白治疗效果的因素进行综述。

关键词

变色牙, 漂白治疗, 漂白剂, 影响因素

Research Progress of Factors Influencing the Effect of Teeth Bleaching Treatment

Lingshan Zhu^{1,2,3}, Binting Xu^{1,2,3*}

¹Department of Restorative Dentistry of Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²Chongqing Key Laboratory of Oral Diseases and Biomedical Sciences, Chongqing

³Chongqing Municipal Key Laboratory of Oral Biomedical Engineering of Higher Education, Chongqing

Received: Jan. 28th, 2025; accepted: Feb. 21st, 2025; published: Feb. 28th, 2025

Abstract

Discolored teeth are common oral diseases, which can be divided into exogenous and endogenous discolored teeth according to their etiology. With the improvement of people's living standards and economic level, the discoloration and aesthetic problems of teeth have attracted more and more patients' attention. Bleaching treatment, as a minimally invasive treatment with less damage to the

*通讯作者。

文章引用: 朱灵珊, 徐镔亭. 影响牙齿漂白治疗效果因素的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(2): 1976-1983.
DOI: 10.12677/acm.2025.152559

hard tissue of teeth, has been more and more applied in the treatment of discoloration of teeth. Bleaching treatment has been proved effective by a large number of studies, but the effect of bleaching treatment is affected by many factors. This paper reviews the factors influencing the therapeutic effect of tooth bleaching.

Keywords

Tooth Discoloration, Bleaching Treatment, Bleaching Agents, Influencing Factor

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

随着生活水平和经济水平的日益提高,人们对于牙齿的美观和健康的追求也日渐提高,着色牙的干预和治疗也越来越受到人们的关注。着色牙(discolored teeth)是常见的口腔问题,可能会对患者的自我认知以及社交方面造成不利影响,甚至会导致患者在社交环境中产生焦虑,尴尬等负面情绪[1],因此有大量的患者为了改善牙齿颜色和美观寻求美学治疗。近年来,随着人们对于口腔保护意识的提高以及微创治疗理念的盛行,漂白治疗凭借其对牙体组织破坏较小的优势,成为越来越多着色牙患者和临床医生的首选治疗方案,并被大量的研究证实其有效性。然而,漂白治疗的效果受多种因素的影响,本文将从漂白的漂白效果和术后敏感情况两个方面对影响漂白治疗效果的因素进行综述。

2. 影响美白效果的因素

2.1. 着色牙的类型

牙齿变色可能由多种原因引起,可以根据其变色的原因将其分为外源性着色牙和内源性着色牙,不同类型的着色牙的着色原理稍有差异。外源性着色牙常常是因为食物中的色素沉积于牙齿表面的蛋白质膜,这种外在着色也可能渗入牙齿表面的缝隙,导致牙齿内部的变色[2]。此外,牙齿表面黏附的显色细菌或真菌也可导致牙齿表面的变色。而氟斑牙和四环素牙均有结构的改变。氟斑牙的颜色改变是由于过量的氟摄入侵害成釉细胞,造成釉质发育不全,釉柱间质的不良矿化和釉柱的过度矿化使釉质表面形成多孔性结构,易于吸附外来色素而产生釉斑[3],故氟斑牙的颜色改变虽然与结构的改变息息相关,但也和外源性的色素沉着相关。而四环素牙是由于在牙齿发育期间服用了四环素类药物导致的牙齿着色和牙釉质发育不全,色素主要沉积在牙本质层[4]。除此之外牙齿变色情况还会受性别、年龄、健康状况的影响。有研究比较了不同类型的着色牙的外漂白效果,发现尽管采用漂白治疗并均取得一定的疗效,但四环素牙的漂白效果较之外源性着色牙和氟斑牙改善效果不明显[5],而对于同一类型的着色牙,着色的严重程度也会影响治疗的效果,牙齿着色程度越重,色素越难去除,治疗所需的周期也越长[6]。

2.2. 漂白方式

目前主流的漂白治疗方法是使用过氧化物作为主要成分的漂白剂进行漂白治疗,目前这种化学漂白治疗的原理还没有完全探明,比较主流的学说是渗透学说。包括过氧化氢和过氧化脲等在内的常用的漂白剂活性成分均为不稳定的化合物,会分解产生水和活性自由基。过氧化物在作用释放出活性氧自由基并经渗透作用于牙体组织中的色素化合物,通过氧化反应打破强大的双键,使显色化合物不稳定分解为

小分子物质并排出[7], 分解色素基团改变牙体表面的关系折射率最终达到漂白的效果。目前主要分为处方漂白和非处方漂白。

处方漂白方式包括诊室漂白和家庭漂白。诊室漂白治疗一般采用较高浓度的过氧化物的漂白凝胶进行治疗(30%~35% HP), 而家庭漂白治疗则采用低浓度的凝胶(1%~10% HP 或 10%~15% CP)。诊室漂白由医生在诊室进行操作, 故其治疗的质量更易于控制, 患者在治疗过程中若出现不适症状, 可随时停止治疗并采取相应的措施, 安全性较高; 因漂白剂的浓度较高, 诊室漂白早期美白效果明显、漂白治疗所需的时间也较时间短, 且可以规避佩戴托盘的不适感[8]。而家庭漂白操作流程较简单, 不需要长时间椅旁操纵, 可以缩减患者就诊时间, 因其漂白剂浓度较低, 故对牙体组织的刺激性相对较小, 但需要较长的时间才能获得较好的漂白效果, 也要求患者具有较好的依从性[9]。但就其漂白效果而言, 目前没有明确的证据证明哪一种治疗方法优于另外一种[1]。也有学者将诊室漂白和家庭漂白联合应用, 认为其能发挥出优于单独运用家庭漂白或诊室漂白的美白作用[10]。

近年来, 越来越多的非处方漂白产品被开发出来应用于牙齿漂白, 如牙膏、漱口水、美白托盘等[11]。其中最常见的是使用含磨料的牙膏进行日常刷牙, 这种美白方式是基于磨料的抛光效果, 虽然安全简单且使用方面, 但其美白功效非常有限, 仅可以除去部分牙齿表面的外部污渍[12]。另外也有部分牙膏产品尝试加入低浓度的过氧化氢或者其他酶制剂以达到分解牙齿表面色素的作用, 这一类美白产品的有效性也被部分研究所证实[13] [14]。然而, 在与处方漂白的效果对比方面, 非处方漂白的漂白效果更为有限[15], 且由于缺乏专业人员的监管, 更容易引发牙龈刺激、牙龈退缩等不良反应[16]。

2.3. 漂白剂的浓度及 pH 值

首先, 漂白剂的浓度会影响漂白治疗的美学效果, 一般而言, 活性成分浓度越高的漂白剂可以增强漂白效果, 在治疗中可以有效缩短漂白治疗的时间, 但漂白剂浓度的增高随着而来也会增加牙齿敏感、牙龈损伤等副作用发生的风险, 所以在采用浓度较高的漂白剂应用前要注意进行风险的评估, 应用过程中也要把控漂白时间[17]。

漂白剂的 pH 值也是影响漂白效果的因素之一, 酸性 pH 会导致釉质表面粗糙度增加、显微硬度降低并产生更为显著的形态变化, 不仅不利于牙体组织的健康, 在治疗完成后也很更容易导致色素的再次附着, 而中性 pH 和碱性 pH 对牙釉质表面的影响较小[18]。另外, 更高的 pH 值对于过氧化氢的反应会有一定的催化加速作用[19]。而就其漂白效果而言, 有研究提示碱性 pH 的漂白剂比酸性 pH 具有更好的漂白效果[20]。

2.4. 漂白剂的成分

目前在临床上应用最广泛的漂白剂是以包括过氧化氢、过氧化脲在内的过氧化物为主要成分的漂白剂。近年来, 有越来越多研究着力于探索新的具有更好漂白效果以及更低不良反应的漂白剂成分, 如具有漂白功效的纳米颗粒, 天然化合物等。有研究指出, 某些纳米颗粒可增强漂白剂的化学活性[21]。目前氧化锌(ZnO)、二氧化钛(TiO₂)、金纳米颗粒(AuNP)、二氧化硅和透明质酸的纳米颗粒都有用于牙齿漂白的尝试[22]。对于纳米颗粒的漂白机制的研究还比较少, 目前提出的机制主要包括 3 个方面: 首先纳米颗粒可以通过释放某些离子(例如金属离子), 通过类芬顿反应引起混合的氧化还原循环和化学催化反应, 这些解离的离子可通过电子传递加速活性氧产生, 导致牙齿增白[23]。其次, 部分纳米颗粒可以通过充当微研磨剂的作用而增强牙齿的漂白; 另外还可以通过其再矿化的功能改变牙齿表面的光反射从而增强漂白作用[22]。在漂白剂中添加 TiO₂ 可以增强其漂白效果, 减少漂白治疗的时间[24]。Antunes 等人[25]将不同浓度 TiO₂ (0%, 1%, 5%, 10%)加入 40%的过氧化氢漂白剂中, 发现 5%浓度的 TiO₂ 具有更好的漂白效

果。Caneschi 等人[26]的研究发现在过氧化氢漂白凝胶中加入铈成分可以改善漂白效果。然而, 以上成分多为过氧化物的催化或促进漂白效果的成分, 过氧化物类漂白剂在其美白效果上仍具有不可替代性。

在新型天然牙齿漂白剂的开发方面。Munchow 等人[27]的研究提出的含有植物来源的蛋白水解酶(菠萝蛋白酶或木瓜蛋白酶)的凝胶可以通过蛋白水解作用分解牙釉质表面的大分子蛋白及污渍, 以达到美白效果。Kohli 等人[28]对草莓果实的多酚提取物的漂白效果进行研究, 认为草莓多酚提取物是一种生物相容性和破坏性较小的漂白剂潜在材料。除此之外, 还有部分天然成分如柑橘类水果中存在的柠檬烯和 1-抗坏血酸、香草水果中存在的邻苯二甲酰亚氨基过氧己酸、乳制品中的乳酸、猕猴桃、香蕉皮以及草莓中的猕猴桃素也已被报道具有引起牙齿美白效果[29]。这些天然化合物在制备不含过氧化氢或过氧化脲的漂白剂、减少漂白副作用方面具有一定的临床潜力。

2.5. 漂白治疗与其他治疗方式联合应用

有学者提出使用光源干预可以促进光热或促进光化学方式与凝胶的相互作用加速自由基的产生和振动, 增加漂白剂的不稳定性, 加剧过氧化物的分解, 释放出更多的氧自由基而促进发色基团分解, 从而强化漂白作用[30][31]。Manzoli 等人[32]的研究证实了紫色 LED 光照射可以在节省治疗时间的前提下提升 35% HP 的漂白效果。除此之外, 在 LED 蓝紫光、氩激光、半导体激光、KTP 激光、Er: YAG 激光等光源的辅助下运用某些诊室用的 HP 凝胶也能增加美白效果或提升治疗的速率[33]。这些光源虽然都对漂白治疗的效果有一定的促进作用, 但也具有不同的漂白特点。其中 KTP 激光可通过光热、光氧化、光动力作用提高漂白效率, 牙体组织几乎不吸收该波长的激光, 使用较为安全, 且对四环素牙的漂白有其独特的优势。半导体激光可通过诱导止痛、抗炎的生物刺激作用减少漂白术后的敏感性。Er: YAG 激光可以通过在牙体表面产生蚀刻作用, 增强了其粘接性能[34]。

近年来, 随着微创治疗方式的临床应用逐渐增多和趋向成熟, 不少学者尝试将漂白治疗与多种微创治疗方式结合进行美学治疗, 取得不错的效果。在漂白治疗之前进行牙釉质微研磨可以去除表面呈多孔结构的牙釉质层和表层的色素沉着, 同时也有利于漂白剂渗入牙体组织与着色化合物进行反应, 另外, 釉质微研磨也可以使牙齿表面更加光滑且有光泽, 能够改善牙齿的外形[35]。有多项研究显示, 在氟斑牙漂白治疗前进行釉质微研磨治疗, 可以有效提高美白效果[36][37]。

将渗透树脂应用于氟斑牙的治疗中也能改善其美白效果[38]。渗透树脂治疗作为一种近年来逐渐兴起的治疗方式, 主要用于早期龋齿导致的白垩色斑块的治疗, 将其与漂白治疗结合可以恢复漂白治疗后牙釉质表面的多孔结构, 增强牙体表面的强度和光泽感; 另一方面, 漂白治疗作为渗透树脂治疗的预处理措施, 能在一定程度上去除牙齿表面着色, 使牙齿颜色更趋向中性, 提高整体的亮度, 从而改善了渗透树脂对氟斑牙斑块的掩蔽效果, 从而增强其美学效果[39]。Gugnani 等人[40]比较了单纯漂白治疗与漂白治疗联合渗透树脂治疗氟斑牙的效果, 发现渗透树脂组的美学变化和颜色改善效果均优于单独使用漂白治疗组。Choppmeier 等人[41]的研究表明在渗透树脂治疗氟斑牙之前进行诊室漂白的患牙的美白效果优于在漂白治疗前使用安慰剂治疗的患牙, 且患者对治疗的满意度也较高。由此可见漂白治疗联合渗透树脂治疗在氟斑牙的临床应用上具有不错的前景。

3. 影响漂白术后敏感的因素

尽管漂白治疗作为一种损伤较小、经济实惠的牙齿美白方式已经得到越来越多患者和医生的青睐, 它所带来的弊端以及局限性仍不容忽视。其中, 处方漂白作为美白效果最为理想的漂白治疗方案, 在治疗过程中会不可避免地带来牙齿敏感还有牙齿表面釉质损伤。如何在保证漂白治疗美学效果的同时更好地规避其带来的影响成为近年来的研究热点。据报道, 有 70% 的患者在漂白术后会出现牙齿敏感的症状,

但这种敏感是暂时且可逆的[42]。对于漂白导致牙齿敏感的机制尚未完全明确,但有学者提出,这种敏感可能是由于过氧化氢扩散到牙髓室中从而可以触发炎症过程,进而改变牙髓局部微循环,在周围神经纤维上产生压力并激活伤害感受器[43]。也有研究认为,漂白治疗后的敏感性是由流体动力学引起的,在过氧化氢应用期间,牙本质小管中会出现氧气泡,而这种气体会导致牙本质液运动,从而导致牙内神经的激活[42]。目前有多种方法被尝试应用于缓解漂白后牙齿敏感。

目前针对漂白后的牙齿敏感,最常见的脱敏方式是局部药物治疗,在术前术后使用脱敏剂或者将有脱敏作用的成分加入到漂白凝胶中。硝酸钾、钙剂、氟化物、生物活性玻璃、地塞米松等[43]是目前脱敏剂常见的有效成分。硝酸钾中的钾离子可以防止神经复极化,降低神经的兴奋性,阻止疼痛刺激的传递[44],从而缓解漂白术后敏感。氟化物、钙剂这一类成分的主要脱敏作用是通过再矿化作用,封堵牙本质小管,降低牙齿结构对自由基的渗透性并降低牙齿敏感的发生达成的[45],这一类脱敏剂通常推荐在漂白治疗术后使用。Wang 等人[46]的研究证实了硝酸钾和氟化钠会降低牙齿的敏感。Sadri 等人[47]研究指出酪蛋白磷酸肽-无定形磷酸钙(CPP-ACP)可以通过再矿化作用,降低牙齿结构对自由基的渗透性并降低牙齿敏感的发生。另外,Yang 等人[48]发现将 45S5 生物活性玻璃引入 30% 过氧化氢的漂白剂中可以增加漂白剂的 pH 值,从而抑制牙釉质表面的脱矿,有利于牙釉质表面形态的保持,同时也保持显著的牙齿美白效果。Martins 等人[49]将纳米纤维支架和聚合物催化剂引物作用于牙釉质后进行漂白治疗,发现可以增加漂白治疗的美学功效并同时减少治疗的牙本质毒性。总体来说,对于漂白治疗后牙齿敏感的局部药物治疗,现在有多种脱敏成分可以进行选择,然而并未有一种成分可以完全预防牙齿敏感。有研究进行了术前预防性全身用药,使用镇痛药、阿片类药物、地塞米松等药物预防牙齿敏感的研究,但研究结果显示其疗效并不理想[50][51]。

4. 小结

漂白治疗作为一种微创美学治疗方式在改善牙齿颜色方面的应用具有巨大的前景。目前除了常规的过氧化物漂白剂之外,有越来越多的材料,如天然化合物等被证实具有牙齿漂白的功能,但其作用机制以及临床应用尚需要更多的研究进行探索。而牙齿美白的效果受牙齿本身的着色情况、漂白剂的浓度、成分以及是否与其他治疗方式联合应用等因素的影响。其中漂白治疗联合 LED 光源、激光治疗、微研磨治疗以及渗透树脂治疗均被证实具有改善美白效果的作用。在规避漂白后的牙齿敏感方面,对漂白剂进行改良或者在术前术后联合应用脱敏剂和再矿化材料可以有效改善患者术后牙齿敏感问题。

基金项目

重庆市 2024 年科卫联合医学科研项目(面上),项目号: 2024MSXM067; 2023 年重庆医科大学附属口腔医院新技术新项目,项目号: QYYL2023X015。

参考文献

- [1] Butera, A., Maiorani, C., Rederlene, G., Checchi, S. and Nardi, G.M. (2024) Evaluation of the Effectiveness of Different Types of Professional Tooth Whitening: A Systematic Review. *Bioengineering*, **11**, Article No. 1178. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11121178>
- [2] Nathoo, S.A. (1997) The Chemistry and Mechanisms of Extrinsic and Intrinsic Discoloration. *The Journal of the American Dental Association*, **128**, 6S-10S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1997.0428>
- [3] 黄茜, 李文妙, 邢莉, 文小俊. 微研磨联合居家漂白治疗氟斑牙的疗效观察[J]. 中国现代医生, 2021, 59(31): 84-87.
- [4] Bloomquist, R.F., Sword, R.J., Londono, J. and Haywood, V.B. (2021) Bleaching: The Initial Treatment Consideration for Tetracycline-Stained Teeth. *British Dental Journal*, **230**, 807-812. <https://doi.org/10.1038/s41415-021-3121-x>
- [5] 徐英新. Beyond 冷光美白疗效的患者满意度调查[J]. 口腔医学研究, 2016, 32(1): 67-70.

- [6] Leonard, R.H., Haywood, V.B., Caplan, D.J. and Tart, N.D. (2003) Nightguard Vital Bleaching of Tetracycline-Stained Teeth: 90 Months Post Treatment. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, **15**, 142-153. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2003.tb00184.x>
- [7] Alkahtani, R., Stone, S., German, M. and Waterhouse, P. (2020) A Review on Dental Whitening. *Journal of Dentistry*, **100**, Article ID: 103423. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103423>
- [8] Takamizawa, T., Aoki, R., Saegusa, M., Hirokane, E., Shoji, M., Yokoyama, M., *et al.* (2023) Whitening Efficacy and Tooth Sensitivity in a Combined In-Office and At-Home Whitening Protocol: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, **35**, 821-833. <https://doi.org/10.1111/jerd.13033>
- [9] Donassollo, S.H., Donassollo, T.A., Coser, S., Wilde, S., Uehara, J.L.S., Chisini, L.A., *et al.* (2021) Triple-Blinded Randomized Clinical Trial Comparing Efficacy and Tooth Sensitivity of In-Office and At-Home Bleaching Techniques. *Journal of Applied Oral Science*, **29**, e20200794. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0794>
- [10] Kothari, S., Jum'ah, A.A., Gray, A.R., M. Lyons, K., Yap, M. and Brunton, P.A. (2020) A Randomized Clinical Trial Investigating Three Vital Tooth Bleaching Protocols and Associated Efficacy, Effectiveness and Participants' Satisfaction. *Journal of Dentistry*, **95**, Article ID: 103322. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103322>
- [11] Naidu, A.S., Bennani, V., Brunton, J.M.A.P. and Brunton, P. (2020) Over-the-Counter Tooth Whitening Agents: A Review of Literature. *Brazilian Dental Journal*, **31**, 221-235. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202003227>
- [12] Deng, S., Zhang, Y., Qiao, Z., Wang, K., Ye, L., Xu, Y., *et al.* (2023) Hierarchically Designed Biodegradable Polylactide Particles with Unprecedented Piezocatalytic Activity and Biosafety for Tooth Whitening. *Biomacromolecules*, **24**, 797-806. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.2c01252>
- [13] Patil, P., Ankola, A., Hebbal, M. and Patil, A. (2014) Comparison of Effectiveness of Abrasive and Enzymatic Action of Whitening Toothpastes in Removal of Extrinsic Stains—A Clinical Trial. *International Journal of Dental Hygiene*, **13**, 25-29. <https://doi.org/10.1111/idh.12090>
- [14] de Oliveira, M.N., Vidigal, M.T.C., Vieira, W., Lins-Candeiro, C.L., Oliveira, L.M., Nascimento, G.G., *et al.* (2024) Assessment of Color Changes and Adverse Effects of Over-the-Counter Bleaching Protocols: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Clinical Oral Investigations*, **28**, Article No. 189. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05595-5>
- [15] Müller-Heupt, L.K., Wiesmann-Imilowski, N., Kaya, S., Schumann, S., Steiger, M., Bjelopavlovic, M., *et al.* (2023) Effectiveness and Safety of Over-the-Counter Tooth-Whitening Agents Compared to Hydrogen Peroxide *In Vitro*. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**, Article No. 1956. <https://doi.org/10.3390/ijms24031956>
- [16] Barbosa, L.M.M., Amâncio Filha, M.B.G., Leite, J.V.C., Santos, J.V.d.N., De Medeiros, J.M., De Oliveira, I.L.M., *et al.* (2024) Over-the-Counter Products in Tooth Bleaching: A Scoping Review. *Journal of Dentistry*, **145**, Article ID: 104989. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104989>
- [17] Sutil, E., da Silva, K.L., Terra, R.M.O., Burey, A., Rezende, M., Reis, A., *et al.* (2020) Effectiveness and Adverse Effects of At-Home Dental Bleaching with 37% versus 10% Carbamide Peroxide: A Randomized, Blind Clinical Trial. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, **34**, 313-321. <https://doi.org/10.1111/jerd.12677>
- [18] Wijetunga, C.L., Otsuki, M., Abdou, A., Luong, M.N., Qi, F. and Tagami, J. (2021) The Effect of In-Office Bleaching Materials with Different pH on the Surface Topography of Bovine Enamel. *Dental Materials Journal*, **40**, 1345-1351. <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-010>
- [19] Ito, Y., Otsuki, M. and Tagami, J. (2019) Effect of pH Conditioners on Tooth Bleaching. *Clinical and Experimental Dental Research*, **5**, 212-218. <https://doi.org/10.1002/cre2.172>
- [20] Xu, B., Li, Q. and Wang, Y. (2011) Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties. *Operative Dentistry*, **36**, 554-562. <https://doi.org/10.2341/11-045-1>
- [21] Priyadarsini, S., Mukherjee, S. and Mishra, M. (2018) Nanoparticles Used in Dentistry: A Review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, **8**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2017.12.004>
- [22] Kim, D., Bae, J., Heo, J.H., Park, C.H., Kim, E.B. and Lee, J.H. (2022) Nanoparticles as Next-Generation Tooth-Whitening Agents: Progress and Perspectives. *ACS Nano*, **16**, 10042-10065. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c01412>
- [23] Fu, P.P., Xia, Q., Hwang, H., Ray, P.C. and Yu, H. (2014) Mechanisms of Nanotoxicity: Generation of Reactive Oxygen Species. *Journal of Food and Drug Analysis*, **22**, 64-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.01.005>
- [24] Cheng, Y., Zhong, B., Su, C., Lu, Z. and Yu, H. (2024) Enhanced Tooth Bleaching with a Hydrogen Peroxide/Titanium Dioxide Gel. *BMC Oral Health*, **24**, Article No. 923. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04691-y>
- [25] Antunes, E.V.G., Basting, R.T., do Amaral, F.L.B., França, F.M.G., Turssi, C.P., Kantovitz, K.R., *et al.* (2022) Titanium Dioxide Nanotubes in a Hydrogen Peroxide-Based Bleaching Agent: Physicochemical Properties and Effectiveness of Dental Bleaching under the Influence of a Poliwave Led Light Activation. *Clinical Oral Investigations*, **27**, 1745-1755. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04802-5>
- [26] Caneschi, C.d.S., Benetti, F., de Oliveira, L.C.A., Belchior, J.C., Ferreira, R.C., Moreira, A.N., *et al.* (2023) Bleaching

- Effectiveness and Cytotoxicity of New Experimental Formulation of Niobium-Based Bleaching Gel. *Clinical Oral Investigations*, **27**, 1613-1621. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04785-3>
- [27] Münchow, E.A., Hamann, H.J., Carvajal, M.T., Pinal, R. and Bottino, M.C. (2016) Stain Removal Effect of Novel Papain- and Bromelain-Containing Gels Applied to Enamel. *Clinical Oral Investigations*, **20**, 2315-2320. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1840-1>
- [28] Kohli, S., Bhatia, S., Banavar, S.R., Al-Haddad, A., Kandasamy, M., Qasim, S.S.B., et al. (2023) In-Vitro Evaluation of the Effectiveness of Polyphenols Based Strawberry Extracts for Dental Bleaching. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 4181. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31125-6>
- [29] Gasmi Benahmed, A., Gasmi, A., Menzel, A., Hrynovets, I., Chirumbolo, S., Shanaida, M., et al. (2022) A Review on Natural Teeth Whitening. *Journal of Oral Biosciences*, **64**, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.12.002>
- [30] Gallinari, M.d.O., Cintra, L.T.A., Souza, M.B.d.A., Barboza, A.C.S., Esteves, L.M.B., Fagundes, T.C., et al. (2019) Clinical Analysis of Color Change and Tooth Sensitivity to Violet LED during Bleaching Treatment: A Case Series with Split-Mouth Design. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **27**, 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.05.016>
- [31] Costa, J.L.d.S.G., Nogueira, B.R., Batista de Oliveira Junior, O. and Pretel, H. (2022) The Influence of Hydrogen Peroxide Concentration on the Chemical Kinetics of Photo-Accelerated Tooth Whitening. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **40**, Article ID: 103175. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103175>
- [32] Manzoli, T.M., Costa, J.L.d.S.G., Besegato, J.F., Gelio, M.B., Galvani, L.D., Bordini, E.A.F., et al. (2022) Violet LED Associated with High Concentration Hydrogen Peroxide: Effects on Bleaching Efficacy, pH, and Temperature. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **40**, Article ID: 103133. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103133>
- [33] 孙皎. 活髓牙漂白材料面临的挑战与展望[J]. 口腔材料器械杂志, 2021, 30(1): 1-6.
- [34] 赵雅丽, 王植, 高阳, 等. 磷酸钛氧钾激光在牙齿漂白治疗中的研究进展[J]. 国际口腔医学杂志, 2023, 50(2): 195-202.
- [35] 路秀燕, 龙兴华. 牙釉质车针打磨联合祛氟剂、Beyond 冷光美白技术治疗中度氟斑牙患者的疗效评价[J]. 中国医疗美容, 2020, 10(11): 108-112.
- [36] Celik, E., Yıldız, G. and Yazkan, B. (2013) Comparison of Enamel Microabrasion with a Combined Approach to the Esthetic Management of Fluorosed Teeth. *Operative Dentistry*, **38**, E134-E143. <https://doi.org/10.2341/12-317-c>
- [37] Sundfeld, D., Pavani, C., Pini, N., Machado, L., Schott, T. and Sundfeld, R. (2019) Enamel Microabrasion and Dental Bleaching on Teeth Presenting Severe-Pitted Enamel Fluorosis: A Case Report. *Operative Dentistry*, **44**, 566-573. <https://doi.org/10.2341/18-116-t>
- [38] Bourouni, S., Dritsas, K., Kloukos, D. and Wierichs, R.J. (2021) Efficacy of Resin Infiltration to Mask Post-Orthodontic or Non-Post-Orthodontic White Spot Lesions or Fluorosis—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Oral Investigations*, **25**, 4711-4719. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03931-7>
- [39] Raut, A., Mantri, V., Gedam, P. and Phabyani, P. (2020) Conservative Esthetic Management of Severe Dental Fluorosis with In-Office Power Bleaching. *Annals of African Medicine*, **19**, 211-214. https://doi.org/10.4103/aam.aam_52_19
- [40] Gugni, N., Pandit, I.K., Gupta, M., Gugni, S., Soni, S. and Goyal, V. (2017) Comparative Evaluation of Esthetic Changes in Nonpitted Fluorosis Stains When Treated with Resin Infiltration, In-Office Bleaching, and Combination Therapies. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, **29**, 317-324. <https://doi.org/10.1111/jerd.12312>
- [41] Schoppmeier, C.M., Derman, S.H.M., Noack, M.J. and Wicht, M.J. (2018) Power Bleaching Enhances Resin Infiltration Masking Effect of Dental Fluorosis. A Randomized Clinical Trial. *Journal of Dentistry*, **79**, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.10.005>
- [42] Krishnakumar, K., Tandale, A., Mehta, V., Khade, S., Talreja, T., Aidasani, G., et al. (2022) Post-Operative Sensitivity and Color Change Due to In-Office Bleaching with the Prior Use of Different Desensitizing Agents: A Systematic Review. *Cureus*, **14**, e24028. <https://doi.org/10.7759/cureus.24028>
- [43] Vochikovski, L., Favoreto, M.W., Rezende, M., Terra, R.M.O., da Silva, K.L., Farago, P.V., et al. (2022) Effect of an Experimental Desensitizing Gel on Bleaching-Induced Tooth Sensitivity after In-Office Bleaching—A Double-Blind, Randomized Controlled Trial. *Clinical Oral Investigations*, **27**, 1567-1576. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04778-2>
- [44] Martini, E.C., Favoreto, M.W., Rezende, M., de Geus, J.L., Loguercio, A.D. and Reis, A. (2021) Topical Application of a Desensitizing Agent Containing Potassium Nitrate before Dental Bleaching: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Oral Investigations*, **25**, 4311-4327. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03994-6>
- [45] Mohammadipour, H.S., Shokrollahi, P., Gholami, S., Bagheri, H., Namdar, F. and Sekandari, S. (2024) Do Different Tooth Bleaching–Remineralizing Regimens Affect the Bleaching Effectiveness and Enamel Microhardness in Vitro? *International Journal of Dentistry*, **2024**, Article ID: 6893472. <https://doi.org/10.1155/2024/6893472>
- [46] Wang, Y., Gao, J., Jiang, T., Liang, S., Zhou, Y. and Matis, B.A. (2015) Evaluation of the Efficacy of Potassium Nitrate

- and Sodium Fluoride as Desensitizing Agents during Tooth Bleaching Treatment—A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Dentistry*, **43**, 913-923. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.03.015>
- [47] Sadri, M., Nakhostin, A. and Salamat, F. (2023) Effects of Laser Irradiation and Tooth Mousse on Tooth Hypersensitivity after Office Bleaching: A Non-Randomized Clinical Trial. *Dental Research Journal*, **20**, Article No. 24. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.369626>
- [48] Yang, S., Han, A.R., Kim, K. and Kwon, J. (2022) Effects of Incorporating 45S5 Bioactive Glass into 30% Hydrogen Peroxide Solution on Whitening Efficacy and Enamel Surface Properties. *Clinical Oral Investigations*, **26**, 5301-5312. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04498-7>
- [49] Martins, B.V., Dias, M.F., de Oliveira Ribeiro, R.A., Leite, M.L.d.A.e.S., Hebling, J. and de Souza Costa, C.A. (2022) Innovative Strategy for In-Office Tooth Bleaching Using Violet LED and Biopolymers as H₂O₂ Catalysts. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, **38**, Article ID: 102886. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102886>
- [50] Charakorn, P., Cabanilla, L.L., Wagner, W.C., Foong, W., Shaheen, J., Pregitzer, R., *et al.* (2009) The Effect of Preoperative Ibuprofen on Tooth Sensitivity Caused by In-Office Bleaching. *Operative Dentistry*, **34**, 131-135. <https://doi.org/10.2341/08-33>
- [51] da Costa Poubel, L.A., de Gouvea, C.V.D., Calazans, F.S., Dip, E.C., Alves, W.V., Marins, S.S., *et al.* (2018) Pre-operative Use of Dexamethasone Does Not Reduce Incidence or Intensity of Bleaching-Induced Tooth Sensitivity. A Triple-Blind, Parallel-Design, Randomized Clinical Trial. *Clinical Oral Investigations*, **23**, 435-444. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2452-8>