

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.23.046

•综述•

牙齿美白药物应用的研究进展

余廷丹

(遵义市红花岗区口腔医院药剂科, 贵州 遵义 563000)

[摘要] 牙齿美白作为口腔美学修复的重要手段, 其药物应用技术近年来取得显著进展。本文系统综述牙齿美白药物的分类、作用机制、临床应用方案、安全性评价及新型制剂研发趋势, 重点分析过氧化氢、过氧化脲等核心药物的浓度优化、给药方式创新及联合治疗策略, 探讨pH值、氟含量等因素对药物疗效与牙体组织安全性的影响, 总结聚合物载体等新型递送系统的应用前景, 以期为临床制定个性化美白方案提供参考。

[关键词] 牙齿美白; 漂白药物; 过氧化氢; 过氧化脲

[中图分类号] R783

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)24-0182-04

Research Progress on the Application of Tooth Whitening Agents

YU Tingdan

(Department of Pharmacy, Honghuagang District Stomatological Hospital, Zunyi 563000, Guizhou, China)

[Abstract] As an important means of oral aesthetic restoration, the application technology of tooth whitening agents has achieved remarkable progress in recent years. This paper systematically reviews the classification, mechanism of action, clinical application schemes, safety evaluation and research and development trends of new preparations of tooth whitening agents. It focuses on the analysis of concentration optimization, administration mode innovation and combined therapy strategies of core agents such as hydrogen peroxide and carbamide peroxide, discusses the effects of factors such as pH value and fluoride content on drug efficacy and dental tissue safety, and summarizes the application prospects of new delivery systems such as polymer carriers, so as to provide reference for the formulation of personalized whitening schemes in clinical practice.

[Key words] Tooth whitening; Bleaching agents; Hydrogen peroxide; Carbamide peroxide

牙齿美白 (tooth whitening) 是通过化学氧化性漂白药物或遮盖材料改变牙齿色泽的医疗美容技术, 与贴面、全冠等有创修复方式相比, 具有保留健康牙体组织、治疗周期短、费用低廉的优势, 同时能够维护牙周健康^[1]。牙齿着色分为外源性着色 (菌斑、烟渍、茶渍沉积) 和内源性着色 (四环素牙、氟斑牙、死髓牙变色), 治疗药物选择需结合着色类型、严重程度及患者个体情况。自35年前10%过氧化脲夜间护齿漂白技术问世以来, 牙齿美白药物的配方优化、作用机制研究及临床治疗方案创新持续取得进展。目前临床常用药物以过氧化氢 (HP) 和过氧化脲 (CP) 为

核心, 配合氟化物、碳酸氢钠等功能性成分, 通过新型制剂如聚合物载体递送系统、光激活药物等的研发, 为提升疗效、减少不良反应提供了新的途径。本文结合近年循证医学证据及临床研究成果, 系统梳理牙齿美白药物应用现状与研究进展, 以期为临床实践与科研创新提供参考。

1 牙齿美白药物的分类及作用机制

1.1 核心漂白药物 ①过氧化氢: 过氧化氢是内源性着色治疗的首选药物, 其作用机制是通过分解产生活性氧 (ROS), 使其穿透牙釉质间隙, 渗透至牙本质层, 氧化分解着色物质中的发色

团，将其转化为小分子无色化合物，从而实现牙齿提亮；其漂白效果与药物浓度、作用时间及递送方式密切相关；临床应用的浓度范围通常在3%~37%：高浓度（25%~37%）多用于诊室专业美白，起效快但刺激较强；低浓度（3%~10%）则适用于家庭美白，安全性较高，但需延长治疗周期。研究表明^[2]，过氧化氢通常呈弱酸性，较高浓度下易引起牙釉质脱矿和结构改变，导致其显微硬度下降，同时还会增加牙本质敏感风险；②过氧化脲：过氧化脲作为过氧化氢前体药物，遇水分解为过氧化氢（浓度约为自身1/3）和尿素，分解速度缓慢、作用温和；临床常用浓度为10%~30%，适用于家庭美白及轻中度内源性着色（年龄相关性黄牙、轻度四环素牙等）；有研究证实^[3]，10%与16%过氧化脲美白效果无显著差异，同时发现10%过氧化脲（4 h/d）与37%过氧化脲（30 min/d）治疗3周后美学效果相当，提示低浓度长效方案可兼顾疗效与低刺激性；此外，尿素的保湿作用可减少牙体组织水分流失，辅助降低牙齿敏感。

1.2 辅助功能性药物 ①氟化物：氟化物主要发挥保护牙体组织的作用，通过促进牙釉质再矿化、降低脱矿速率，减少漂白药物对釉质的损伤，缓解牙齿敏感；研究表明^[4]，含0.05%氟的美白制剂可显著降低牙本质敏感的发生率，但氟含量过高会影响漂白功效，临床制剂氟浓度通常控制在0.05%~0.1%；同时，氟化物与过氧化氢联合使用可调节釉质表面电荷分布，减少药物渗透损失，间接提升美白效果；②碳酸氢钠：碳酸氢钠用于外源性着色治疗，通过物理摩擦去除牙齿表面菌斑、色素沉着，弱碱性可中和口腔酸性环境，减少釉质脱矿风险^[5]；其美白效果温和，适用于轻度烟渍、茶渍着色，常作为超声波洁治、喷砂治疗辅助药物或日常美白牙膏成分，但长期使用可能增加牙釉质表面粗糙度，需控制使用频率与浓度；③其他新型辅助成分：蓝色covarine作为光学增白剂，通过反射蓝光修饰视觉效果实现即时美白，同时不改变牙齿内在颜色，适用于短期美学需求；活性炭类药物虽广泛应用于家用美白产品，但长期使用可能导致牙釉质磨损，美白效果缺乏持久性，临床需谨慎评估风险获益比^[6]。

1.3 药物作用的影响因素 ①pH值：酸性制剂（pH<5.5）能够促进牙釉质脱矿，增强药物渗透能力，但长期使用可降低釉质显微硬度；碱性制剂（pH>7.0）能够减少釉质脱钙，降低牙齿敏感风险，但可能抑制活性氧的产生，从而削弱美白效果；相关研究显示^[7]，pH=5.3的酸性美白剂与pH=7.5的碱性制剂相比，漂白功效更高，且两组釉质硬度变化率无统计学差异，这提示酸性环境可提升疗效且未增加短期牙体损伤风险；②给药方式：药物递送系统优化对疗效至关重要；传统局部涂布存在药物易流失、作用时间短等问题，聚合物载体（卡波姆凝胶、羟丙基甲基纤维素）可提高药物粘度与牙面粘附力，延长作用时间并控制活性成分释放速率，减少向牙髓组织扩散，降低细胞毒性^[8]；光辅助技术（冷光、激光、LED）通过热效应或光催化作用加速活性氧生成，提升过氧化氢类药物美白效率，但需控制光照强度与时间，避免热量刺激牙髓引发疼痛。

2 牙齿美白药物的临床应用方案

2.1 诊所内专业美白方案 以高浓度过氧化氢（25%~37%）为核心，结合光辅助技术，其具有起效快、疗程短的优点，这适用于中重度内源性着色及对治疗周期有明确要求的患者。操作流程包括术前比色、牙龈保护、药物涂布、光照激活及术后氟保护，1~3次治疗即可达到理想效果，每次时长30~60 min。研究表明^[9, 10]，37%过氧化氢联合冷光照射的即时美白效果优于单纯药物涂布，但牙齿敏感发生率更高，术前使用脱敏剂（硝酸钾、氟化物）可有效缓解不适。

2.2 家庭美白方案 以低浓度药物（含10%~16%过氧化脲或3%~10%过氧化氢）为核心，采用定制托盘或美白牙贴进行给药，可由患者在家自行操作，治疗周期通常为2~4周。该方法适用于轻中度牙齿着色，具有较高安全性和良好的患者依从性，其长期效果（如2年内的稳定性）与专业诊所治疗相当。临床推荐方案为每日佩戴托盘4~8 h（夜间为主），或使用美白牙贴30 min/次，5~7次/周。需在牙医监督下进行，避免自行增加药物浓度或延长使用时间，以防止损伤釉质^[11]。

2.3 联合治疗方案 对于重度四环素牙、氟斑牙等

单纯漂白效果不佳的病例,采用“诊所+家庭”联合方案:先通过1~2次高浓度药物治疗快速提亮,再以低浓度家庭制剂维持疗效,可提升效果并缩短总疗程,但需警惕牙齿敏感风险的叠加。此外,漂白药物与美学修复技术(树脂充填、瓷贴面)联合应用,可针对重度着色或釉质缺损病例实现个性化修复,同时兼顾美学效果与功能恢复。

2.4 特殊人群用药方案 ①敏感牙齿患者,优先选择低浓度、碱性、含氟制剂,避免使用高浓度过氧化氢及酸性药物;术前2~4周使用脱敏牙膏(含硝酸钾、氯化锶)进行预处理,治疗过程中使用分段给药(每次涂布15~20 min),可有效降低敏感发生率;②对于死髓牙的牙齿美白,需采用根管内漂白方案:根管治疗完成且根尖周炎症控制后,通过根管治疗通道将30%过氧化氢凝胶或10%过氧化脲制剂导入髓腔,封闭维持1~2周,重复2~3次直至达到理想效果,避免药物渗漏引发根尖周炎^[12];③禁忌人群:16岁以下青少年、孕妇、严重牙周病患者(伴牙龈退缩、牙根暴露)、凝血功能障碍者及急性传染病患者为绝对禁忌人群;釉质发育不全、呼吸系统疾病患者需谨慎评估,避免使用可能加重病情的药物或给药方式^[13]。

3 牙齿美白药物的安全性评价

3.1 主要不良反应 ①牙齿敏感:牙齿敏感为最常见的不良反应,表现为对冷、热、酸、甜刺激的短暂疼痛,发生率为30%~50%,与药物浓度、pH值及个体差异相关^[14];高浓度过氧化氢可通过牙本质小管渗透至牙髓,刺激神经末梢并导致牙本质液流动异常,从而引发敏感,通常治疗后1~2 d可自行缓解,少数可持续1周以上;含氟制剂、碱性药物及聚合物载体递送系统可有效降低敏感发生率,术前脱敏处理与术后氟保护是有效的预防措施;②软组织损伤:美白药物与牙龈、口腔黏膜长期接触可引发刺激反应(红肿、糜烂、疼痛),多因药物涂布时未有效隔离牙龈所致;高浓度过氧化氢细胞毒性强,意外接触黏膜可导致灼伤,临床操作需使用牙龈保护剂(树脂屏障、凡士林)覆盖牙龈,家庭治疗需确保托盘

贴合牙面,避免药物溢出^[15];③牙体组织损伤:长期或高浓度使用美白药物可能降低牙釉质显微硬度,增加表面粗糙度,降解牙本质胶原蛋白。体外研究显示^[16],30%过氧化脲连续使用4周后,牙釉质硬度下降率达5.70%,但停药后可通过再矿化逐渐恢复,短期规范使用安全性可控;含氟制剂可通过促进釉质再矿化,抵消部分药物脱钙作用,降低长期损伤风险。

3.2 安全性优化策略 ①调整pH值至中性偏碱(6.5~7.5)、添加氟化物(0.05%~0.1%)及脱敏成分(硝酸钾、精氨酸),可在不降低疗效的前提下,减少牙齿敏感与釉质损伤;②控制药物接触时间(单次不超过60 min)、降低治疗频率(每周不超过3次)、需避免连续治疗超过4周,减少牙体组织累积损伤;③术后1~2 d避免冷热酸甜及色素类食物(咖啡、酱油、茶),减少牙齿刺激与再着色风险;每日使用含氟牙膏刷牙,定期进行牙周维护^[17]。

4 牙齿美白药物的研究趋势与展望

4.1 新型药物制剂研发 ①聚合物载体递送系统:聚合物材料(聚维酮、壳聚糖)应用是当前研究热点^[18],通过调节分子量与交联度,实现活性成分缓释与靶向递送,延长牙面滞留时间并减少向牙髓扩散,提升疗效同时降低细胞毒性;例如,卡波姆凝胶负载的10%过氧化脲制剂,与传统凝胶相比,能够将牙面粘附力提升2倍,药物释放时间延长至8 h,漂白功效提高30%,牙齿敏感发生率降低40%;未来需进一步优化聚合物配方,明确不同载体对药物代谢的影响;②光响应型药物:光激活技术与药物制剂结合可实现疗效精准调控;例如,紫罗兰LED激活的过氧化氢制剂,在400~480 nm波长光照下快速产生活性氧,美白效率较传统制剂提升50%,且光照强度可精准控制,避免热量损伤;红外线激光的光生物调节作用可降低牙髓炎症反应,与高浓度过氧化氢联合使用时,牙齿敏感发生率显著降低,能够为重度着色患者提供更安全的治疗选择^[19]。

4.2 个性化治疗方案的精准化 基于患者牙齿着色类型、釉质厚度、牙髓状态等个体特征的精准给药方案是未来临床发展方向。通过口腔扫描、比色

分析及基因检测等技术，评估患者对药物的敏感性与代谢效率，定制药物浓度、给药频率及治疗周期。例如，釉质较薄患者选择低浓度（10%）过氧化脲+聚合物载体方案；高敏感体质患者优先使用含氟、碱性制剂并缩短单次治疗时间^[20]。

4.3 安全性评价体系的完善 当前牙齿美白药物安全性评价多基于短期（数周）临床观察与体外实验，长期（1年以上）牙体组织影响、细胞毒性及全身安全性方面的数据缺乏。未来需建立长期随访队列，评估药物对釉质矿化、牙髓健康及牙周组织的远期影响；采用细胞培养、动物模型等方法，深入研究药物分子毒性机制，为制剂优化提供理论依据^[21]。

5 总结

牙齿美白药物应用已从传统高浓度单一制剂向低浓度、多成分、精准递送方向发展，过氧化氢与过氧化脲仍是临床首选核心药物，其疗效与安全性可通过pH值调节、氟化物添加及聚合物载体修饰等方式优化。诊所内高浓度药物联合光辅助技术与家庭低浓度药物维持治疗的联合方案，在兼顾疗效与安全性方面具有显著优势，特殊人群需根据个体情况制定个性化方案。未来研究应聚焦新型递送系统研发、多成分协同机制探索及精准医疗技术应用，完善长期安全性评价体系，为牙齿美白药物临床应用提供更坚实的循证医学支持，实现美学效果与口腔健康的和谐统一。

【参考文献】

- [1]中华口腔医学会口腔修复学专业委员会.牙齿漂白治疗技术指南[J].中华口腔医学杂志,2021,56(12):1191-1196.
- [2]师苏萌,鲁莉.非侵入性牙齿美白技术的研究进展[J].口腔颌面修复学杂志,2016,17(2):120-124.
- [3]龙赟子,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.
- [4]韩静,丁宇堃,范晶,等.2.9%过氧化氢牙贴临床美白效果及安全性评价[J].中国病案,2023,24(10):110-112.
- [5]张文怡,孙迎春,张健.着色型氟斑牙微创治疗的美学效果观察[J].中华地方病学杂志,2019,38(10):800-805.
- [6]张迪,李敏,刘进.渗透树脂对漂白后牙釉质表面结构、显微硬度及颜色的影响[J].中华口腔医学杂志,2022,57(5):509-515.
- [7]刘洋,彭树新,凌云飞.光固化复合树脂在氟斑牙美容修复中的作用探讨[J].中国医疗美容,2018,8(3):50-52.
- [8]刘峰,师晓蕊,李祎,等.微创全瓷贴面修复临床应用初探[J].中华口腔医学杂志,2012,47(10):614-617.
- [9]孙凤.超薄贴面修复的颜色选择[J].华西口腔医学杂志,2016,34(6):549-555.
- [10]王明臻,李欣欣,宋春平.超薄烤瓷贴面修复中度氟斑牙1例[J].口腔颌面修复学杂志,2018,19(3):148-150.
- [11]黎佳灵.氟斑牙粘结的研究进展[J].泸州医学院学报,2016,39(4):385-387.
- [12]李永彦,杨俊周,王卫平.Nd:YAG激光美白氟斑牙的临床疗效分析[J].中国美容医学,2015,24(2):61-63.
- [13]孙文静,冯壤境,张慧,等.2种漂白方案对着色型氟斑牙的褪色效果评价[J].上海口腔医学,2018,27(2):195-199.
- [14]张文怡,张健.氟斑牙美白治疗的研究进展[J].口腔颌面修复学杂志,2020,21(3):184-188.
- [15]赵鲁艳.超薄瓷贴面在前牙微创美容修复中的临床应用[J].医学美学美容,2021,30(12):53.
- [16]赵颖,李家峰,彭玲玲,等.微创牙科美白技术治疗中重度氟牙症的临床研究[J].中华临床医师杂志,2014,8(7):1375-1379.
- [17]马国强,谢英庚.渗透树脂联合冷光美白对氟斑牙的临床运用分析[J].中国地方病防治杂志,2021,36(2):187-188,190.
- [18]薛陆峰,薛秋波,陆伟.皓齿Opalustre微研磨糊剂联合渗透树脂及微研磨治疗氟斑牙的美学效果分析[J].中国美容医学,2022,31(12):133-136.
- [19]刘永红,张志勇,刘振丽.渗透树脂联合Beyond冷光美白仪治疗氟斑牙的临床效果评价[J].河北医药,2017,39(24):3807-3809.
- [20]蒋汶静,郭慧芳.冷光美白联合渗透树脂对氟斑牙的美白效果研究[J].中国美容医学,2024,33(7):140-143.
- [21]马建朋.应用微研磨膏联合美白剂与渗透树脂治疗着色型氟斑牙的效果观察[J].临床口腔医学杂志,2019,35(12):723-726.