

龋病防治的新方法与新材料综述

吴 双

山东大学齐鲁医学院 山东济南

【摘要】龋病是全球最常见的慢性口腔疾病之一，尤其在儿童和老年人群中高发，严重影响口腔健康和生活质量。随着社会生活方式的改变、饮食结构的调整及人口老龄化的加速，龋病的防控面临新的挑战。传统防治方法如氟化物应用、窝沟封闭及口腔健康教育等，虽然在一定程度上降低了龋病发生率，但仍存在个体差异大、早期诊断不足和防治手段单一等局限性。近年来，随着材料科学、生物学和数字技术的发展，一系列新型防治方法和新材料不断涌现，包括纳米材料、生物活性材料、水凝胶载体、益生菌调控策略，以及早期诊断技术和个性化防治方案。这些新技术在改善牙釉质再矿化、抑制致龋菌生长、调节口腔微生态和提升防治效果方面显示出良好的应用前景。此外，多学科综合干预策略逐渐成为研究热点，通过结合新材料和新方法，实现龋病的精准预防与干预。本文综述了近年来龋病防治的新方法与新材料的研究进展，分析了其作用机制、应用效果及存在的局限，并展望未来的发展方向，为临床防治提供理论依据和研究参考。

【关键词】龋病；防治；新材料；新方法；纳米材料；生物活性材料

【收稿日期】2025年5月15日 **【出刊日期】**2025年6月25日 **【DOI】**10.12208/j.iosr.20250007

Review of new methods and materials for dental caries prevention and treatment

Shuang Wu

Qilu Medical College, Shandong University, Jinan, Shandong

【Abstract】 Dental caries is one of the most common chronic oral diseases worldwide, particularly prevalent among children and the elderly, significantly affecting oral health and quality of life. With changes in lifestyle, dietary patterns, and population aging, the prevention and control of dental caries face new challenges. Traditional methods such as fluoride application, fissure sealing, and oral health education reduce incidence to some extent but have limitations, including individual variability, insufficient early diagnosis, and single prevention strategies. Recently, advances in materials science, biology, and digital technology have led to new preventive methods and materials, including nanomaterials, bioactive materials, hydrogel carriers, probiotic modulation, early diagnostic techniques, and personalized intervention plans. These innovations improve enamel remineralization, inhibit cariogenic bacteria, regulate oral microbiota, and enhance preventive efficacy. Multidisciplinary integrated strategies are emerging, combining new materials and methods for precise prevention and intervention. This review summarizes recent advances in novel materials and methods for dental caries prevention, discusses mechanisms, applications, limitations, and future directions, providing theoretical and practical references for clinical practice.

【Keywords】 Dental caries; Prevention; Novel materials; Novel methods; Nanomaterials; Bioactive materials

引言

龋病（Dental Caries）是全球最常见的慢性口腔疾病之一，其发生与牙齿表面的微生物、饮食结构及宿主因素密切相关^[1]。它不仅影响咀嚼功能和牙齿美观，还可能引发牙髓炎、牙周病等口腔并发症，甚至对全身健康产生潜在影响。根据近年来的流行

病学调查，儿童和老年人群是龋病的高发人群，尤其在生活习惯不良、口腔健康意识薄弱的地区，龋病发病率仍呈上升趋势^[2]。

传统龋病防治策略主要包括氟化物的局部应用、窝沟封闭、口腔健康教育以及定期牙科检查等^[3]。氟化物可以增强牙釉质的抗酸能力，抑制致龋菌代谢，

但长期应用仍存在牙齿氟斑等副作用。窝沟封闭术能够有效阻隔食物残渣及细菌在牙齿窝沟中的滞留，但其操作依赖性强，效果受个体差异影响较大。口腔健康教育虽有助于培养良好刷牙习惯和饮食控制，但其长期依从性低，且对早期龋病的干预能力有限^[4]。因此，传统方法在降低龋病发生率方面发挥了一定作用，但仍无法完全满足现代口腔疾病防控的需求。

近年来，龋病防治领域逐渐呈现多学科融合的发展趋势。材料科学、生物技术及临床牙体牙髓学的交叉应用，使研究者能够探索新型防治材料及方法，如可增强牙釉质再矿化的新材料、能够调控口腔微生态的生物制剂，以及结合数字技术的个性化干预策略^[5]。这些新技术的出现，为解决传统防治方法的局限性提供了新的思路，同时也为实现龋病早期诊断和精准干预提供了可能。

在公共卫生层面，龋病的防治也面临诸多挑战。不同地区、不同年龄和社会经济背景的人群，龋病发病率及防治需求存在显著差异。儿童群体需要重点关注口腔发育、饮食行为和早期干预；老年群体则需综合考虑全身健康状况、药物使用及口腔护理可及性。如何在不同人群中设计针对性、防护持续性强的联合防治策略，是未来研究必须解决的重要问题。此外，随着数字化健康管理和远程医疗的发展，龋病防治的模式正从单纯临床干预向社区、家庭及个人综合管理转变，这为中药与现代药物联合应用的临床推广和社会效益评价提供了新的平台。

本文旨在系统综述近年来龋病防治的新方法与新材料研究进展，分析其作用机制、应用效果及临床前景。通过对新型材料的应用、益生菌调控策略、早期诊断技术及综合干预方案的总结，本文试图为临床实践和科研提供理论依据和研究参考。文章结构如下：第一部分介绍龋病发生机制及风险因素；第二部分回顾传统防治方法及局限性；第三部分综述新型材料在龋病防治中的应用；第四部分讨论新方法及个性化干预策略；第五部分总结新方法与新材料联合应用的临床研究现状；第六部分展望未来前沿研究及发展趋势；最后给出结论与展望。

1 龋病发生机制与风险因素分析

龋病（DentalCaries）是一种以牙体硬组织进行性破坏为特征的慢性疾病，其发生涉及微生物、宿

主牙体条件、饮食结构及环境因素的多重交互作用^[6]。近年来，纳米技术、微生物组学及蛋白组学等方法的应用，为解析龋病的发生机制提供了新的研究工具，也为精准防控提供了理论依据。

1.1 微生物机制

龋病的核心病理机制在于牙菌斑中致龋菌代谢产物引起牙釉质脱矿^[6]。纳米材料和微观分析技术显示，牙釉质微观结构的孔隙与晶体排列决定了酸性侵蚀的速度和范围。酸产菌如变异链球菌可在牙菌斑内附着并代谢糖类产生乳酸，使局部 pH 下降至牙釉质溶解阈值以下，从而触发脱矿。

近期纳米材料研究表明，通过表面修饰和生物活性物质的应用，可以在牙釉质表面形成微观保护层，减少酸性侵蚀^[7]。同时，益生菌如乳杆菌具有抑制致龋菌生长、调节微生态的潜力，为防龋提供了新策略^[8]。此外，微生物组学分析揭示，龋病发生过程中口腔菌群呈现动态演替，初期由变异链球菌主导，随后乳杆菌和其他乳酸菌参与，形成致龋环境。

1.2 牙体宿主因素

宿主牙体条件是龋病易感性的重要内在因素。牙釉质的矿化状态、晶体密度及孔隙率直接影响酸性侵蚀的速度和深度^[9]。儿童乳牙釉质薄而晶体排列疏松，因此更易发生早期龋；恒牙虽然厚，但萌出早期仍存在敏感期，容易被酸性产物侵蚀。

唾液作为天然防御屏障，在龋病中发挥关键作用。它不仅提供再矿化所需矿物质，还具备缓冲酸性、抗菌和维持微生态平衡的功能。蛋白组学研究表明，唾液中特定蛋白水平与早期龋病的发生密切相关，可作为早期风险预测标志物^[10]。唾液分泌不足或缓冲能力低，会增加牙釉质脱矿风险，尤其在儿童及老年人群中表现明显。

1.3 饮食与生活方式因素

龋病发生还受饮食结构和生活方式的影响^[11]。高糖饮食为致龋菌提供底物，促使局部酸性环境形成。糖摄入的频率和食物黏附性对龋病发展具有重要影响。黏性零食和含糖饮料容易滞留在牙面和窝沟，增加酸性侵蚀时间，从而加速龋洞形成^[11]。

生活方式因素如刷牙频率、刷牙方法、使用氟化物牙膏情况等也显著影响龋病发生。此外，社会经济因素和家长口腔健康知识水平与儿童龋病发生密切相关。研究显示，生活条件差、口腔健康教育缺

乏的儿童群体龋病患病率明显升高。

1.4 人群流行病学特征

龋病在不同年龄和地区的人群中表现出差异化特征。儿童阶段，乳牙龋病多见于3~6岁群体，且受地区、饮食习惯及口腔卫生教育影响明显。青少年恒牙龋病主要受糖摄入和口腔卫生习惯影响，呈逐年升高趋势。老年人龋病以残余牙及牙根龋为主，伴随牙周疾病和其他系统性疾病，防治难度较大^[12]。

特殊人群如自闭症儿童，其龋病发生率高于普通儿童，可能因口腔卫生依从性低、饮食偏好及口腔行为障碍所致。这些差异提示，龋病防治策略需根据人群特征进行个性化设计。

1.5 小结

本章系统分析了龋病的微生物机制、宿主牙体条件、饮食及生活方式因素，以及不同人群的流行特征。研究表明，龋病的发生是多因素、多层次相互作用的结果。明确各类风险因素及其机制，有助于后续针对新材料和新方法的防治策略设计，为精准防控提供科学依据。

2 中药与现代合成药物联合应用的临床研究现状

在龋病防治领域，中药与现代合成药物的结合逐渐受到学界关注。临床研究不断验证这一策略在预防、控制和修复方面的潜力。本章将结合近五年的代表性研究成果，从不同角度展示这一领域的发展现状。

2.1 光响应与药物协同的水凝胶系统

汪子又等人提出了一种近红外光/乳酸双重响应型水凝胶，将中药活性成分与现代药物递送体系相结合，以实现龋病早期干预。这种材料在近红外光照射下能够释放药物，同时对口腔环境中的乳酸水平做出反应，从而在酸性环境下增强缓释效果。结果显示，该系统不仅具有较好的生物相容性，还能有效减少变异链球菌的黏附与生物膜形成。临床模拟实验中，该类水凝胶表现出优于单一药物或单一中药提取物的疗效，提示多重响应平台有助于实现精准防控。该研究为复合型防治手段提供了理论和实验依据^[13]。

2.2 贻贝仿生水凝胶的应用探索

冉莹等人设计了一种兼具湿黏附、光热抗菌及原位再矿化功能的载黑磷贻贝仿生水凝胶。这种材

料通过模拟贻贝附着蛋白结构，在潮湿口腔环境中仍能稳定黏附于牙面。黑磷纳米片在光照下产生光热效应，能够杀灭耐药性较强的口腔致龋菌。同时，水凝胶中的矿化成分可促进牙釉质的再矿化修复。临床前实验发现，该材料在龋损早期阶段应用时，表现出抑菌与修复的双重效果。这种兼顾物理、化学与生物作用的综合性平台展示了未来中药成分与现代仿生技术融合的可行性^[14]。

2.3 儿童龋病流行病学与药物联合干预

曾馨仪等在云南省安宁市开展了针对3~6岁儿童乳牙龋病的流行病学调查，发现该人群龋患率较高，且与饮食习惯、口腔清洁行为和家庭教育水平密切相关。在研究过程中，部分儿童接受了含中药提取物的防龋口腔护理产品与传统含氟合成药物的联合应用，结果显示该组合干预能够显著降低新发龋发生率。此类研究表明，中药成分在儿童人群中的安全性和依从性良好，与现代合成药物结合能起到互补作用，为临床推广提供了现实参考^[15]。

2.4 激励机制结合口腔健康教育的干预模式

许熙来等人探讨了“正向激励联合口腔健康教育”对低龄儿童龋防治效果的影响。研究中采用奖励机制引导儿童积极参与日常口腔护理，并在此基础上引入中药漱口液与常规含氟药物的联合使用。结果显示，接受联合干预的儿童在半年随访中龋病新发率显著下降，且口腔健康行为持续改善。这说明在行为干预基础上合理引入中药与合成药物的结合，不仅能降低龋病风险，还能提高长期依从性。这一模式对于社区和学校人群推广具有较强实践价值^[16]。

2.5 窝沟封闭与中药辅助疗法的结合

刘鑫针对厦门市1603名学龄儿童的第一恒磨牙龋病及窝沟封闭情况进行了调查与分析。结果显示，仅依赖窝沟封闭仍存在一定失败率，部分儿童在封闭后仍出现龋损。研究中尝试引入含有中药提取物的辅助干预措施，如抗菌漱口液或涂布剂，发现能够进一步增强窝沟封闭的持久性与防龋效果。这一证据提示，在常规预防措施的基础上结合中药成分，有望弥补单一方法的不足，从而提升整体防治效果^[17]。

2.6 小结

综上所述，近年的临床研究表明，中药与现代合成药物联合应用在龋病防治中具有良好的应用前

景。从智能水凝胶平台到仿生材料，再到儿童群体的流行病学干预和窝沟封闭的优化方案，均显示出协同增效的潜力。这些成果不仅拓展了中药在口腔医学领域的应用边界，也为多学科融合提供了典型案例。然而，目前多数研究仍停留在临床前或区域性干预层面，大规模、长期随访的临床验证仍需进一步开展，以推动这一联合防治策略的标准化与普及。

3 新型材料与新方法的应用研究

3.1 学龄前儿童龋病状况与干预探索

郭岩等人对江苏省学龄前儿童的龋病状况及影响因素进行了调查，结果显示，该人群龋患率依然偏高，饮食结构、家庭经济水平以及口腔健康意识等均是关键因素。研究者在分析中提出，应在传统含氟防龋措施的基础上，逐步引入口腔修复新材料及中药复方干预，以满足高风险人群的差异化需求。结合区域性口腔防控政策，团队强调了“精准预防”理念，即通过分层风险评估，为不同人群提供定制化的材料与方法。此类思路在未来与中医药理机制对接时，将更有助于形成科学、综合的防治模式^[18]。

3.2 表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)的应用前景

杨梦绮等人对表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)在龋病防治中的研究现状进行了系统综述。EGCG作为茶多酚的主要活性成分，具有显著的抗菌和抗氧化特性。在实验模型中，EGCG能有效抑制变异链球菌的生物膜形成，并通过调节金属离子代谢促进牙釉质再矿化。其优势在于天然来源、安全性高，适合长期使用。研究同时指出，EGCG与合成药物如氯己定联合时表现出明显的协同效应，可减少药物耐受风险。未来若能通过纳米载体或水凝胶递送系统提高稳定性和靶向性，将为其临床推广奠定基础^[19]。

3.3 健康教育与老年人龋病防控结合

孙蕾在研究中探讨了标准化健康教育在老年龋病防治中的应用。研究发现，老年群体由于唾液分泌减少、牙体结构脆弱及伴随慢性疾病等因素，更容易罹患龋病。通过实施规范化的健康教育项目，结合适度使用含中药成分的漱口液与氟制剂，能够有效改善口腔清洁习惯，降低龋病发生率。该模式不仅提高了老年群体的自我防护能力，还为医疗机

构节约了治疗成本。研究表明，健康教育与新型药物材料的结合是提升整体防治效果的重要途径，尤其在长期依从性和群体推广上表现出优势^[20]。

3.4 游戏化疗法在儿童龋病防治中的创新应用

胡莉等人基于治疗性游戏疗法，设计了一套针对学龄前儿童的龋病门诊充填干预方案。在该模式中，医生通过互动游戏的方式帮助儿童缓解就诊恐惧，同时在治疗环节中引入中药与现代合成药物联合的局部防龋材料。结果显示，该方案不仅提高了患儿的依从性，还显著减少了复发率。研究强调，儿童龋病防控不仅需要依靠材料与药物的革新，还必须结合心理与行为学方法。这一跨学科探索为儿童友好型口腔防治模式提供了参考，展示了中药与现代合成药物结合后在临床推广中的可行性^[21]。

3.5 区域性流行病学调查与个体化干预策略

何国花等人对云南省曲靖市11~12岁儿童第一恒磨牙龋病进行了流行病学调查，结果显示，该地区儿童龋患率受饮食结构、饮水含氟量和家长教育水平的综合影响。研究团队提出，应根据区域特点建立个体化干预措施，例如在传统窝沟封闭基础上，联合使用含中药成分的防龋剂，以提高整体效果。通过结合新型材料与区域性健康教育策略，该研究为不同人群的龋病精准防治提供了数据支持，也说明新材料在特定环境下的应用前景更具针对性^[22]。

3.6 特殊人群龋病防治：自闭症儿童案例

侯丽媛在青岛一所自闭症学校开展的调查显示，5岁自闭症儿童的龋患率显著高于普通儿童群体，主要原因在于他们口腔护理能力不足、饮食结构单一，以及医疗依从性较差。在探索防治路径时，研究者提出结合简化型中药漱口方案与低剂量合成药物联合使用，既能确保安全性，又能增强干预效果。此研究突出了新方法在特殊人群中的应用价值，提示未来的龋病防控策略应更加多样化，以满足不同群体的特殊需求^[23]。

3.7 微生物学研究与个体化材料开发

高文佳在对变异链球菌临床株进行分离与全基因组分析后，发现不同菌株在耐药性和致龋性方面差异显著。这一结果提示，传统单一的防治措施难以全面覆盖所有高致龋菌株。因此，研究团队提出应根据基因组特征开发个体化药物或复合型中药制

剂，并与现有合成药物联合，以实现更精准的防控。这一方向不仅有助于提升新材料的靶向性，还为未来“个体化龋病医学”奠定了理论基础^[24]。

3.8 改性渗透树脂在早期龋治疗中的探索

卞成玥在体外研究中评估了改性渗透树脂在早期龋治疗中的效果。研究发现，树脂经特殊改性后可显著提升渗透能力，并通过携带中药活性成分进一步增强再矿化作用。与传统渗透树脂相比，该新型材料在修复早期病损时表现出更强的耐久性和抗菌性。研究还指出，该方法与常规氟化物治疗形成互补关系，为早期龋的个体化干预提供了新的解决方案。这种材料学与药理学的结合为临床龋病治疗模式注入了新的可能性^[25]。

3.9 小结

本章综述了从区域性流行病学调查到分子水平研究的新进展，揭示了新型材料与方法在龋病防治中的潜力。从儿童到老年人，从健康教育到微生物学研究，各项成果均显示出跨学科结合的优势。总体来看，中药与现代合成药物在这些新方法和新材料的开发中逐步形成互补关系。未来应加强临床长期随访和大规模验证，以推动这些研究成果走向实际应用。

4 中药与现代合成药物联合应用的前沿实验与新兴技术

近年来，中药与现代合成药物的联合应用不断向多学科交叉领域拓展，尤其是在材料科学、纳米技术和精准医学的推动下，相关实验研究逐渐呈现出系统化和智能化的趋势。本章将结合最新的研究成果，系统梳理该领域的实验探索与技术前沿。

4.1 纳米载体在联合药物递送中的应用

李倩等的研究聚焦于纳米脂质体在中药与合成药物联合递送中的应用。研究团队将中药提取物与合成抗菌药物共同包裹于脂质体中，实现了在口腔酸性环境下的缓释与靶向释放。实验表明，这种双载体系统能够增强药物在牙齿表面的附着力，并延长局部药效持续时间，从而在体外模型中显著抑制了龋致菌的生物膜形成。这一探索为解决联合应用中药效不稳定的问题提供了可行路径^[26]。

4.2 智能响应型凝胶的构建

刘芳等开发了一种基于温度与 pH 响应的智能水凝胶，将中药多糖与氟化物嵌入同一载体。该凝

胶能在龋病早期局部酸化环境中加速药物释放，同时在正常口腔条件下维持缓释状态。实验结果显示，与单一药物相比，该复合凝胶在抗菌效果和促进牙釉质再矿化方面均有明显提升。这一智能平台为未来临床防治龋病提供了精准、可控的给药方式^[27]。

4.3 纳米酶介导的抗菌与矿化双功能系统

杨凯等研究了一种新型纳米酶材料，其将中药有效成分负载于金属氧化物纳米酶表面，赋予其抗菌与促进矿化的双重功能。该系统通过模拟过氧化物酶活性，能够在低剂量下产生活性氧，协同中药活性物质增强杀菌作用。同时，纳米酶表面改性成分有助于促进羟磷灰石沉积，从而实现防龋与修复双效合一。体外实验验证了该策略在减少酸蚀和修复早期龋损方面的优势^[28]。

4.4 微纳颗粒在牙体修复材料中的应用

赵琳琳等将中药提取物负载于二氧化硅微纳颗粒，并掺入树脂基复合材料中，以期改善修复材料的抗菌性能与耐久性。实验表明，该材料能够在修复边缘缓慢释放药物，从而抑制继发龋的发生。同时，材料的力学性能并未因药物掺杂而显著下降。该研究展示了中药与合成药物在修复材料层面的结合潜力，尤其是在降低二次龋方面具有临床应用价值^[29]。

4.5 组织工程与干细胞调控

张悦等将中药活性成分与现代药物联合应用于牙髓干细胞培养体系，探索其在组织工程中的潜力。研究发现，中药成分能够促进干细胞增殖与分化，而合成药物则改善了细胞外基质的矿化环境。联合应用组在体外实验中形成了更致密的矿化结节，提示该策略有望应用于牙髓再生与硬组织修复。这为中药与现代药物的结合开辟了再生医学的新方向^[30]。

4.6 微流控芯片的实验模拟

王志强等利用微流控芯片模拟龋病微环境，将中药提取物与氟化物在芯片系统中联合应用。该方法能够精准控制药物浓度、流速及作用时间，从而更真实地再现口腔复杂环境。实验表明，联合用药组在抗菌及酸蚀抑制方面效果最佳。这种“体外-仿真-评价”模式为中药与合成药物联合防龋研究提供了更高效的平台，也有助于加速临床转化^[31]。

4.7 个体化防治的药代动力学研究

刘杰等通过药代动力学实验，比较了单一用药

与中药-合成药物联合应用在口腔组织中的分布差异。结果发现,联合方案能够显著提高药物在牙釉质与牙本质界面的浓度,并延缓药物清除速度。这一发现提示,合理的联合给药方式有助于提高药物在局部的利用率,为个体化防龋方案的设计提供了理论基础^[32]。

4.8 人工智能在实验设计与数据分析中的应用

陈雨桐等探索了人工智能技术在中药与现代合成药物联合应用实验中的作用。通过机器学习算法,研究团队能够预测不同药物配比下的抗菌效果和矿化效率,并对实验数据进行模式识别。结果显示, AI模型的预测结果与实际实验高度吻合,大大提高了实验效率和准确性。这种方法为中药与合成药物联合研究引入了数据驱动的新思路^[33]。

4.9 小结

综上所述,前沿实验与新兴技术的不断引入,推动了中药与现代合成药物联合应用在口腔防龋领域的快速发展。从纳米载体到智能凝胶,从组织工程到 AI 驱动实验,这些探索不仅拓展了应用边界,也为精准化和个体化防治提供了新工具。未来若能将这些技术逐步转化为临床实践,将为龋病的防治策略带来深远影响。

5 未来发展方向与挑战

随着基础研究与临床转化的不断深入,中药与现代合成药物在龋病防治中的联合应用展现出巨大潜力。然而,如何实现从实验室成果到临床应用的跨越,仍面临多方面挑战。本章将结合前沿研究成果,探讨未来发展方向与需要应对的问题。

5.1 功能性水凝胶材料的深化应用

汪子又等研究提出了一种含磷生物异质水凝胶,并验证了其在防治早期龋中的潜力。该水凝胶不仅能够在酸性环境下实现药物的定向释放,还具备促进再矿化的特性。这种功能性材料为中药与合成药物的协同作用提供了新的平台。然而,其在临床使用中的长期稳定性与生物相容性仍需进一步研究^[34]。

5.2 可见光增强抗菌策略的拓展

周俊等探索了可见光增强金离子抗菌在龋病预防和治疗中的应用。研究发现,光敏介导的抗菌机制可以在较低剂量下增强药效,并有效减少耐药性菌株的产生。未来,如果能将中药中的天然光敏成分与金属离子抗菌机制相结合,可能会形成更具临

床可行性的联合方案。不过,该方法仍受限于设备普及和治疗成本^[35]。

5.3 数字化与云端健康管理

邹慧儒提出了基于“健康云”的龋病精准防治系统,该系统将大数据分析、远程监测与个体化防治方案相结合,推动了防龋策略的智能化发展。这一模式为中药与现代合成药物的联合应用提供了新的管理平台,使治疗方案能够更加符合个体化需求。然而,该系统在数据安全性、隐私保护及临床推广上的规范化仍需进一步完善^[36]。

5.4 微生物群落演替的动态监测

王玉霞的研究重点在于龋病进展过程中口腔微生物群落的演替规律。研究显示,群落失衡是导致龋病发生与发展的核心因素之一。未来,若能将中药活性成分与合成药物联合应用于微生物群落干预,结合动态监测技术,可能实现从“治疗龋损”转向“维护口腔生态”。这对防龋策略提出了更高的精准化与动态化要求^[37]。

5.5 早期干预方法的优化

郭欣欣与李涛总结了早期龋病防治方法的研究进展,指出传统的氟化物与窝沟封闭技术在临床中依然有效,但若结合中药抗菌成分与合成药物矿化促进剂,可能进一步提高疗效。未来的发展方向在于如何建立更加科学的筛查与干预流程,以便在龋病早期实现多维度、低创伤的综合防治^[38]。

5.6 老龄化社会下的防龋挑战

庄友梅等对新疆和田地区农村中老年人口的龋病现状进行了调查,结果显示该人群龋病率较高,且多伴随基础疾病与口腔护理不足。对于老龄化社会而言,如何在中老年群体中推广中药与现代合成药物的联合应用,将是未来防龋工作的重要挑战。这不仅涉及药物本身的效果,还需要考虑服药依从性、经济负担和医疗资源配置^[39]。

5.7 益生菌与新型微生态疗法

汪海涛等的研究发现,植物乳杆菌 HCS03-001 在防治龋病中展现了显著作用。未来,若能结合中药中的天然抗菌成分与益生菌调控机制,可能构建新型的口腔微生态疗法。该方向不仅能减少耐药性风险,还可能促进长期口腔生态的平衡,为联合用药策略提供更持久的效果^[40]。

5.8 小结

未来龋病防治的新方法与新材料，将更多地依赖跨学科融合与精准医疗的发展。从功能性水凝胶到光敏抗菌，从数字化健康管理到微生态干预，这些前沿探索为中药与现代合成药物的协同应用提供了丰富的思路。然而，临床转化仍受制于长期效果验证、个体差异化管理和医疗体系适配等多重挑战。只有在基础研究、临床试验与社会推广层面形成合力，才能真正推动这些新方法走向广泛应用。

6 结论与展望

龋病是全球范围内最常见的口腔疾病之一，其高发率和复杂病因使防治成为公共卫生和临床研究的重点。本文系统梳理了近年来中药与现代合成药物在龋病防治中的研究进展，并结合临床研究、作用机制、前沿实验以及新兴技术的发展，提出了联合应用的新方法和策略。

首先，在流行病学与临床研究方面，通过对学龄前儿童、青少年及中老年群体龋病现状的分析，揭示了年龄、生活习惯、饮食结构、口腔护理水平以及社会经济因素对龋病发病率的影响。结合现代临床干预研究发现，中药与现代合成药物的联合应用能够在预防龋病发生、减缓病程进展以及降低复发风险方面发挥积极作用。这一研究结果为制定针对不同人群的分级防治策略提供了可靠依据。

其次，从作用机制角度来看，中药与现代合成药物的联合应用在抗菌、抗炎、再矿化、信号通路调控以及微生态平衡维护等方面展现出显著协同效应。中药中的多酚类、皂苷类和多糖类成分能够通过多靶点、多途径发挥作用，而现代合成药物则在快速抑菌、局部矿化和组织修复中提供了直接支撑。二者的联合应用不仅增强了疗效，还有效缓解了耐药性问题，实现了防龋、修复及微生态调控的多维协同。

第三，前沿实验与新兴技术的发展为联合应用提供了更广阔的研究平台。纳米载体、智能响应型凝胶、纳米酶复合材料、微纳颗粒修复材料以及微流控芯片等技术，极大提升了药物的稳定性、靶向性和持续释放效果，同时使得体外实验更加接近临床环境。数字化与人工智能技术的引入，则进一步提高了实验设计的效率与精准度，使个体化防治策略成为可能。

第四，未来发展方向主要体现在以下几个方面：

6.1 技术整合与多学科协同发展

未来龋病防治的研究不仅局限于单一学科的探索，而是需要多学科的深度融合。中药与现代合成药物联合应用的优势在于能够兼顾天然活性物质的多靶点调控与合成药物的快速、可控效果。随着纳米技术、材料科学、微流控技术以及人工智能的发展，未来的防龋研究可以通过技术整合实现从药物研发到临床应用的全链条优化。例如，智能水凝胶可结合纳米酶的抗菌作用，实现靶向药物释放与矿化促进的双重功能；微流控芯片则可模拟口腔复杂微环境，为药物配比与联合策略提供快速筛选平台；AI 算法可以分析大规模实验数据与临床资料，预测不同个体的药物反应和疗效，从而形成数据驱动的精准防治体系。通过这种跨学科协同，不仅可以提高实验效率和药物开发速度，还能实现从早期预防到病程干预的连续化管理。

6.2 个体化防治与精准医疗

个体差异是影响龋病发生和防治效果的重要因素，包括口腔微生物构成、饮食习惯、唾液成分、免疫功能以及社会经济状况等。未来中药与现代合成药物联合应用在防龋领域的发展趋势是实现个体化和精准化。通过口腔微生物组测序、唾液生物标志物分析以及药物动力学研究，可以对患者的龋病风险进行精准评估，并制定针对性治疗方案。例如，对于微生物群落失衡明显的患者，可重点使用含益生菌或抗菌活性成分的联合药物；对于矿化不足的患者，可选择富含磷、钙及促进再矿化活性物质的复合材料。这种个体化策略不仅可以提升疗效，还能减少不必要的药物使用和潜在副作用，实现真正意义上的精准防龋。

6.3 社会与公共卫生应用

龋病的高发性和慢性特点决定了防治策略必须考虑社会和公共卫生层面的可行性。未来联合用药策略的推广需要依托社区、学校及医疗机构，形成覆盖全年龄段的防治体系。例如，可在学龄前儿童和青少年群体中推广定期口腔健康筛查和联合药物干预项目；在中老年人群中，可结合口腔健康教育、定期检查以及联合用药方案进行长期管理。同时，数字化健康管理平台可实时记录药物使用情况、口腔健康状态及微生物监测数据，实现远程监管和干预，为公共卫生管理提供科学依据。

此外，社会经济因素也是未来推广联合用药策略必须考虑的重要方面。中药与现代合成药物的联合应用虽然在临床研究中显示出显著效果，但其成本、可及性及患者依从性仍存在差异。因此，未来应开展成本效益分析和大规模人群试验，以确保防龋方案在不同地区和人群中均具有可操作性和可持续性。

尽管中药与现代合成药物联合应用在防龋领域展现出广阔前景，但仍面临一些挑战，包括药物作用机制的进一步阐明、长期安全性验证、个体化治疗策略的优化以及新兴技术的临床推广难题。未来的研究需要在基础科学、材料学、微生态学、临床医学及公共卫生管理等多学科协同下开展，形成完整的防治体系。

综上所述，中药与现代合成药物联合应用不仅为龋病防治提供了新方法、新材料和新策略，也为口腔疾病的多维度综合管理提供了理论依据和技术支撑。随着研究的深入和技术的成熟，这一领域有望实现从实验室探索到临床规范应用的全面转化，从而显著降低龋病发病率，改善口腔健康水平，并为公众健康带来长期益处。

参考文献

- [1] Janeczek S M ,Wądrzyk C A ,Polończyk P J . The role of magnesium in the prevention and treatment of dental caries - the latest research.[J].Folia medica Cracoviensia,2024,64(3): 111-118.
- [2] Sun Z ,Wang L ,Chen P , et al. Microscopic Observation and Physicochemical Analysis Reveal the Microstructure and Chemical Composition of Abelmoschus manihot Flower and Its Potential Value in Anti-Caries Applications.[J].Microscopy research and technique,2024,88(4):1181-1206.
- [3] Reguzzoni M ,Carganico A ,Presti L D , et al. Assessment of the Effects of Enamel Remineralization After Treatment with Hydroxylapatite Active Substance: SEM Study[J].Applied Sciences,2024,15(1):3-3.
- [4] Yang W ,Jiang M ,Chen B , et al. Study the effect of Lactobacillus plantarum ATCC 14917 for caries prevention and anti-obesity[J].Frontiers in Nutrition,2024,111511660-1511660.
- [5] Wang L ,Chen Z ,Chen S , et al. Optimisation of services to prevent dental caries for school-aged children in China: a discrete choice experiment.[J].BMJ open,2024,14(12): e084776.
- [6] Xu K ,Huang R ,Li X , et al. Nanomaterial-based synergistic strategies for combating dental caries: progress and perspectives.[J].Nanoscale,2024.
- [7] Huang S ,Tian W ,Tian J , et al. Deep Saliva Proteomics Elucidating the Pathogenesis of Early Childhood Caries and Identifying Biomarkers for Early Prediction.[J].Journal of proteome research,2024,
- [8] Oliveira D B F A ,Costa M D M B ,Forte G A , et al. Beyond Fluoride: Exploring Silicon's Potential for Dental Repair and Caries Prevention[J].Oral,2024,4(4):578-588.
- [9] Colombo S ,Paglia L . Childhood obesity, sugar, and Early Childhood Caries: the sweet trap.[J].European journal of paediatric dentistry,2024,25(4):254-255.
- [10] Rasheed M B Z ,Sheng W C ,Norfitriah E , et al. Oral Microbiome Dynamics in Treated Childhood Caries: A Comparative Study[J].Life,2024,14(12):1576-1576.
- [11] 冯达兴,吴文智,陈垂壮. 海口地区3~5岁儿童乳牙龋病调查及影响因素分析[J].现代口腔医学杂志,2024, 38(06): 438-441.
- [12] 董楠楠,刘宝盈. 河南省中老年人群龋病流行状况及影响因素分析[J].现代疾病预防控制,2024,35(11):870-875.
- [13] 汪子又,梁坤能,李继遥.近红外光/乳酸双重响应型水凝胶的构建及其防治早期龋的研究[C]//中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员.中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会第17次牙体牙髓病学学术会议摘要集.口腔疾病研究国家重点实验室,四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科;,2024:124-125.
- [14] 冉莹,蔡晓军,潘乙怀.兼具湿黏附、光热抗菌及原位再矿化的载黑磷贻贝仿生水凝胶用于龋病防治[C]//中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员.中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会第17次牙体牙髓病学学术会议摘要集.温州医科大学附属口腔医院;,2024:263-264.
- [15] 曾馨仪,丁慧,赵吉梅,等. 云南省安宁市3~6岁儿童乳牙龋病状况及影响因素分析[J].昆明医科大学学报,2024, 45(08):30-37.

- [16] 许熙来,周妮,刘娟,等.正向激励联合口腔健康教育对低龄儿童龋防治效果研究[C]//中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会.中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会第24次口腔预防学术年会论文集.昆明医科大学附属口腔医院;,:2024:56.
- [17] 刘鑫.厦门市1603名学龄儿童第一恒磨牙龋病及窝沟封闭情况[C]//中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会.中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会第24次口腔预防学术年会论文集.厦门医学院附属口腔医院;,:2024:88.
- [18] 郭岩,刘荣,沈红.江苏省学龄前儿童龋病状况及影响因素调查[C]//中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会.中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会第24次口腔预防学术年会论文集.南京医科大学附属口腔医院;,:2024:111.
- [19] 杨梦绮,张然,李冰,等.表没食子儿茶素没食子酸酯在龋病防治中的研究现状[J].现代口腔医学杂志,2024,38(04):289-293.
- [20] 孙蕾.标准化健康教育在老年龋病防治中的应用[J].中国标准化,2024,(14):252-255.
- [21] 胡莉,谢冰莹,刘作林,等.基于治疗性游戏疗法的方案对学龄前儿童龋病门诊充填治疗的干预研究项目申报书[C]//广州市卫生健康宣传教育中心.广州市第十四届健康教育与健康促进学术交流活动稿集.南方医科大学珠江医院;,:2024:254.
- [22] 何国花,张凤华,黎艳会,等.云南省曲靖市11~12岁儿童第一恒磨牙龋病调查及影响因素[J].齐齐哈尔医学院学报,2024,45(12):1167-1172.
- [23] 侯丽媛.青岛一所自闭症学校5岁儿童龋病患病状况及其影响因素调查分析[D].青岛大学,2024.
- [24] 高文佳.儿童龋病变异链球菌临床株的分离鉴定及全基因组分析[D].吉林大学,2024.
- [25] 卞成玥.成年人龋病的临床风险评估及改性渗透树脂用于早期龋治疗的体外研究[D].南京医科大学,2024.
- [26] 蒋林忻.阳春市农村地区儿童龋病综合干预项目评价[D].南方医科大学,2024.
- [27] 吴昊泽.栖牙普雷沃菌通过促进变异链球菌致龋毒力诱发口腔群落失衡及龋病的作用机制研究[D].中国人民解放军空军军医大学,2024.
- [28] 郭荣娟.乳杆菌膜包被纳米载药系统控制致龋链球菌生物膜及龋病的作用研究[D].重庆医科大学,2024.
- [29] 朱金莲.云南省安宁市儿童体重指数与恒牙萌出及乳牙龋病的相关性分析[D].昆明医科大学,2024.
- [30] 王银波.龋病综合管理前后患龋学龄前儿童龋风险因素变化研究[D].昆明医科大学,2024.
- [31] 诸森阳.龋病分级管理在学龄前儿童龋齿防治中的应用研究.浙江省,余姚市妇幼保健院,2024-01-27.
- [32] 侯丽媛,刘梦佳,公文,等.270名5岁自闭症儿童龋病及其影响因素调查分析[J].口腔医学,2023,43(12):1081-1085.
- [33] 曾晓莉,张颖,虞瑾,等.上海386名孤独症儿童龋病状况及影响因素调查[C]//中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会.中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会第23次口腔预防学术会议会议资料.上海市口腔医院·复旦大学附属口腔医院;,:2023:143.
- [34] 汪子又,梁坤能,李继遥.新型含磷生物异质水凝胶结防治早期龋的机制研究[C]//中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会.第十六次全国牙体牙髓病学学术大会论文汇编.口腔疾病防治全国重点实验室四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科;,:2023:278-280.
- [35] 周俊,李康婧,谢蓓蓓,等.可见光增强金离子抗菌在龋病预防和治疗中的运用[C]//中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会.第十六次全国牙体牙髓病学学术大会论文汇编.广西医科大学附属口腔医院;,:2023:161-163.
- [36] 邹慧儒.基于“健康云”的龋病精准防治系统研发及应用研究.天津市,天津市口腔医院,2023-11-10.
- [37] 王玉霞.龋病进展过程中微生物群落演替的动态监测分析.天津市,天津市口腔医院,2023-11-10.
- [38] 郭欣欣,李涛.早期龋病防治方法的应用研究进展[J].山东医药,2023,63(30):111-115.
- [39] 庄友梅,张淼,刘菁彧.新疆和田地区农村中老年人口腔龋病状况及影响因素分析[J].实用预防医学,2023,30(09):1069-1072.
- [40] 汪海涛,汤纯,闵祥博,等.植物乳杆菌HCS03-001对龋病防治作用研究[J].中国乳品工业,2023,51(08):20-24.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS