

# 纳米银对口腔微生态的影响及在口腔医学领域中的应用

孟小童<sup>1</sup> 陆欣<sup>2</sup> 于阔<sup>1</sup> 张一博<sup>1</sup> 曹婷婷<sup>1</sup> (通讯作者)

1. 济宁医学院口腔医学院 山东 济宁 272067

2. 济宁医学院临床医学院(附属医院) 山东 济宁 272067

**【摘要】**：纳米银具有高效的抗菌活性与生物膜穿透能力，在抑制口腔病原菌、破坏生物膜及调节菌群平衡等方面展现出强大的潜力，为口腔疾病的防治和微生态的稳定提供了新动能。鉴于此，本文将纳米银对口腔微生态的影响及在口腔医学领域中的应用进行综述，为临床疾病的治疗提供一定的有价值的思路。

**【关键词】**：纳米银；口腔微生态；抗菌机制；口腔疾病；生物安全性；口腔医疗器械与材料

DOI:10.12417/2705-098X.26.08.006

**Abstract:** Nanoscale silver exhibits potent antibacterial activity and biofilm penetration capabilities, demonstrating significant potential in inhibiting oral pathogens, disrupting biofilms, and regulating microbial balance. This offers new momentum for preventing and treating oral diseases while stabilizing the oral microbiome. In light of this, this review examines the effects of nanoscale silver on the oral microbiome and its applications in oral medicine, providing valuable insights for clinical disease management.

**Keywords:** nanosilver; oral microbiome; antibacterial mechanism; oral diseases; biosafety; oral medical devices and materials

## 引言

纳米银(AgNPs)是粒径1-100 nm的银基纳米材料，其高效抗菌活性源于释放银离子破坏微生物。使用纳米银不但能抑制口腔致病菌，还可以维持口腔微生态稳定。据统计，口腔内定植了700多种微生物，其失衡会导致龋齿、牙周炎等疾病的发生，影响至全球80%的人口。纳米银通过释放银离子可破坏细胞膜、穿透生物膜基底来抑制致病菌，且低浓度的纳米银对正常菌群影响小，目前已用于牙膏、义齿材料等产品，在口腔疾病防治中展现出应用价值。本文阐述纳米银在口腔中的作用机制及应用，为微生态调控和疾病防治提供理论参考。

## 1 纳米银的抗菌机制和对口腔微生态的调控作用

### 1.1 抗菌机制

纳米银是一种新型金属纳米材料，由银单质加工至纳米尺度形成，粒径1-100纳米，具有高比表面积和表面活性，能与细菌充分接触并发挥抗菌作用，其机制主要体现在以下三个方面：

**破坏细菌细胞壁与膜结构：**纳米银颗粒通过物理化学相互作用破坏细菌膜结构、干扰酶系统并影响内膜电位，带正电的颗粒通过静电吸引结合细菌<sup>[1]</sup>，释放活性氧分解细胞壁，导致细胞表面破坏和内容物泄漏，引发细菌死亡。膜损伤还可以促进银纳米颗粒和其他细胞毒性细胞外化合物的进入，对细胞造

成进一步损伤。

**(2) 诱导活性氧生成：**纳米银产生超氧阴离子和羟基自由基，导致氧化应激，抑制抗氧化酶并损伤细胞膜，银离子与蛋白质、DNA等相互作用<sup>[2]</sup>，损害酶的活性，改变结构，从而影响DNA的复制，导致细胞周期停滞，甚至影响到铁稳态和亚硝化应激。

**(3) 干扰代谢途径：**银离子通过与膜磷脂和蛋白质发生静电相互作用，增强膜通透性，降低线粒体膜电位，并导致细菌或线粒体内膜相关呼吸链失活。银离子还可以通过改变线粒体功能的方式，干扰能量代谢并抑制ATP合成。除抗菌活性外，银离子还可诱导应激介导的自噬及凋亡性细胞死亡<sup>[1,4]</sup>。

### 1.2 对口腔微生态的调控作用

纳米银能有效抑制口腔中有害菌。如变形链球菌是引发龋齿的主要病原菌，纳米银通过脂质过氧化破坏其细胞膜，并氧化损伤DNA和蛋白质，从而抑制其生长。卟啉单胞菌是导致牙周炎的主要致病菌，纳米银能显著降低其在生物膜中的数量，进而提升有益菌的比例，减少生物膜活菌的毒力，抑制生物膜形成并促进健康菌群结构<sup>[3]</sup>。

纳米银对口腔有益菌常常表现出双重作用。唾液链球菌作为有益菌能产生抗菌物质并调节免疫。研究发现<sup>[4,5]</sup>，纳米银在特定浓度下对唾液链球菌无抑制甚至促进其生长，因其生物相

作者简介：

第一作者：孟小童，女，2004年生，山东省潍坊市人，汉族，济宁医学院在读本科，主要从事口腔医学研究。

通讯作者：曹婷婷，硕士，讲师，济宁医学院口腔医学院，山东省济宁市272067。

资金资助：济宁医学院大学生创新训练计划项目(cx2024392py)，项目负责人：孟小童。

容性好,能选择性作用于有害菌。纳米银还可调节口腔微环境如 pH 值,促进有益菌的繁殖。但也有研究表明,纳米银可能对乳杆菌属等益生菌具有潜在不利影响,长期应用或破坏菌群平衡,需评估其生态安全性<sup>[6]</sup>。

## 2 纳米银在口腔疾病防治中的应用

### 2.1 龋病

龋病是一种由细菌为主的多因素导致的牙体硬组织慢性进行性破坏性疾病,作为最常见的非传染性疾病,对各年龄段人群均有影响,经常导致疼痛,严重时甚至会出现牙齿缺失和面部畸形。其发生与微生物群落失衡导致菌群失调形成牙菌斑生物膜有一定关系。纳米银作为新型抗菌材料,具有稳定性高、不易诱发耐药性、强效广谱等特点,已成为防治口腔感染的新策略。AI-ANSARI<sup>[7]</sup>等用阿拉伯胶合成纳米银颗粒,在 25-200 $\mu\text{g/mL}$  剂量下显著抑制变形链球菌生长,表明其可作为有效口腔抗生素,用于漱口水和牙膏等预防龋齿的发生。纳米银还能下调生物膜形成相关基因,并通过吸附细胞表面或干扰代谢导致细菌死亡实现抗菌。传统氟化物通过抑制烯醇酶防龋,但长期使用易诱导耐药菌,降低效能。罗延炎等研究表明,纳米银对耐氟菌株仍高效抗菌,且不易诱发耐药性<sup>[8]</sup>。

### 2.2 牙周炎

牙周炎是影响牙周支持组织的炎症性疾病,是成年人牙齿缺失的主要原因之一。牙菌斑是其发病的始动因子,由特定细菌如牙龈卟啉单胞菌等组成。抗生素是广泛用于治疗牙周炎的有效方法,但剂量和使用时间并不明确,故不能作为常规手段。金属阳离子如银、锌离子具有优良的抗菌性能,不易耐药,纳米技术促进了其在牙周炎治疗中广泛应用。WONG 等<sup>[9]</sup>制备了含氯己定和银纳米粒子的水凝胶,该水凝胶能持续释放银离子超过一个月,对牙龈卟啉单胞菌有显著抗菌效果,且抗菌活性更强,此外还有作为牙周组织工程支架的巨大潜力。纳米银可以通过增加细菌膜通透性和诱导活性氧的生成,对牙周病原菌具有高效的抗菌活性,但要注意控制其浓度,有研究显示其浓度过高可能引发细胞毒性的产生,进而影响到临床应用效果<sup>[10]</sup>。

### 2.3 口腔癌

鳞状细胞癌的发生约占口腔颌面部肿瘤的 90%,经常累及舌、牙龈、颊黏膜和腭部。金属氧化物纳米颗粒如纳米银具有抗肿瘤特性,可通过多种机制抑制肿瘤细胞增殖并诱导凋亡。研究显示纳米银保护 miR-181a-5p,靶向 BCL2 基因,抑制  $\beta$ -catenin 通路,在体内外抗肿瘤活性方面均表现出显著的作用。植物提取物合成的银纳米颗粒也显示出抗氧化、抗菌和抗口腔癌细胞活性的优势,通过诱导 G2/M 期阻滞和激活 Caspase 3 通路促进细胞凋亡<sup>[11]</sup>。综上,纳米银在口腔癌治疗中发挥抑制增殖、诱导凋亡和抗氧化的作用,具有潜在临床应用价值。

### 2.4 口腔念珠菌病

口腔念珠菌病是一种由念珠菌引起的真菌感染性疾病。念珠菌作为一种条件致病菌,在特定病理状态下,如 HIV 感染、恶性肿瘤或宿主菌群失调时,可突破宿主免疫屏障导致侵袭性感染的发生,其致病性涉及逃避防御、生物膜形成等,且对临床上常用的抗真菌药表现出一定的耐药性。ABDALLAH 等<sup>[12]</sup>采用纳米银颗粒与莲叶提取物混合对白色念珠菌的抗菌作用进行研究,结果显示:两者混合后抑菌圈增至 24mm,显著抑制形态转变、黏附、生物膜形成和抗氧化酶活性,具有协同增效的作用,且细胞毒性低。此外,用青叶茵叶提取物合成纳米银(EG-AgNPs),通过提取、制备、表征及体外体内实验,表明其能显著抑制生长、形态转变、生物膜形成以及蛋白酶和磷脂酶活性。ALMEIDA<sup>[13]</sup>等将纳米银与 Palaseal®结合,结果显示能抑制白色念珠菌生物膜形成和代谢活性,且细胞相容性好,尤其以大豆提取物为原料生物合成法制备的纳米银颗粒表现最为突出。综上研究表明,纳米银适宜与多种植物提取物联合应用,不仅可以对口腔念珠菌产生强效的抑制作用,还能减少耐药性的产生,在口腔念珠菌感染治疗中展现出一定的应用潜力,为开发新型口腔抗真菌制剂提供了新的途径。

## 3 纳米银在口腔材料中的应用

### 3.1 复合树脂

复合树脂是目前临床上应用最广泛的牙齿修复材料,因其具有美观性、生物相容性等多重优势,在牙齿修复体中发挥着不可替代的作用。但在应对复杂口腔环境及复合树脂的热膨胀系数与天然牙不匹配等问题,一直困扰着改材料的使用效果。纳米银颗粒的抗菌性能,在该领域展现出极大的潜力,可将该材料应用于复合树脂中,以提升材料的抗菌能力,减少继发龋的发生。AZHAR 等<sup>[14]</sup>使用 DEAE-Dextran 包覆的纳米银,不仅提升了复合树脂的机械强度,同时还降低了材料的细胞毒性,证明纳米银可通过聚合物修饰提升复合树脂的抗菌性与机械性能,且具有良好的生物相容性。

### 3.2 玻璃离子水门汀

玻璃离子水门汀是口腔科常用修复材料之一,具备天然牙色匹配度高、生物相容性优异、可自主粘接牙体组织、兼具氟离子缓释功能等优势。然而,该材料存在断裂韧性不足、耐磨性欠佳、溶解度偏高、抗菌性能有限等缺陷,在一定程度上制约了其临床应用范围。ASHOUR 等<sup>[15]</sup>将姜黄提取物包覆的银纳米颗粒与氯己定共同掺入传统的玻璃离子水门汀中,能够显著提升其抗菌效果和抗压强度。另一实验显示,纳米银与含有甲硝唑的玻璃离子水门汀相结合,显著提升修复材料的抗菌功效,且不影响其抗压强度<sup>[16]</sup>。

### 3.3 种植体表面涂层

种植体表面涂层技术是预防种植体周围感染的常用方法

[17]。目前, 抗生素、多肽、金属离子及纳米颗粒作为高效抗菌剂已成为该领域的研究热点。其中纳米银颗粒及银离子更是凭借抗菌谱广、抗菌效果强、作用时效持久的优势, 同时具备抑制生物膜形成的特性, 在种植体表面涂层的功能改性中展现出巨大的应用潜力<sup>[18]</sup>。聚多巴胺兼具氧化还原能力与金属阳离子螯合能力, 可通过螯合作用结合银离子, 并在碱性环境中将其还原为纳米银, 最终形成聚多巴胺-纳米银复合颗粒。这一复合体能够显著提升银离子的稳定性, 为种植体抗菌涂层的研发提供了理想的技术路径<sup>[19]</sup>。

### 3.4 义齿基托材料

义齿基托材料是一类具备支撑固位、组织保护及咬合力传递等核心功能的口腔修复专用材料, 是保障义齿修复效果与佩戴舒适性的关键载体。聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 作为临床应用最为广泛的义齿基托材料之一, 其临床应用局限性亦逐渐显现, 在长期咀嚼循环载荷的作用下, 该材料易因材料疲劳、咀嚼冲击损伤等因素发生性能衰减, 进而导致义齿基托出现裂纹、形变甚至断裂, 最终引发修复失败。学者们关注添加纳米银以提升 PMMA 性能。GALANT 等<sup>[20]</sup>研究显示, 添加 15-70nm、0.5-4.0 wt% 的银纳米颗粒可增强材料的机械性能 (如

弯曲强度、冲击强度、拉伸强度), 并赋予抗菌功能。MAHROSS<sup>[21]</sup>等研究发现, 添加 5% 纳米银显著提高 PMMA 的存储模量和损耗正切值, 改善粘弹性性能, 且效果随浓度升高而增强。

## 4 总结

纳米银作为一种具备独特理化性质的材料, 在口腔医学领域彰显出广阔的应用前景, 其卓越的抗菌性能备受学界关注。深入研究纳米银在口腔疾病防治和口腔材料中的应用, 同时明晰其对口腔生态系统的调控作用, 具有重要的理论与临床双重价值。从临床治疗角度考量, 此类研究可为口腔疾病防治提供创新策略, 并推动开发更高效、安全的治疗产品, 进而显著提升疗效, 减轻患者痛苦; 从维护口腔微生态平衡层面而言, 纳米银有助于在治疗口腔疾病的同时, 维持口腔微生物群落的稳态, 规避因过度杀菌导致的微生态失调及其引发的继发性口腔健康问题。本研究亦旨在通过系统梳理现有成果, 以期促进口腔医学与纳米材料学等多学科的交叉融合, 为口腔医学领域的科研工作者提供新的研究思路与方向, 助力学科的创新发展与临床转化。

## 参考文献:

- [1] Kaiser K G, Delattre V, Frost V J, et al. Nanosilver: An Old Antibacterial Agent with Great Promise in the Fight against Antibiotic Resistance[J]. *Antibiotics*(Basel), 2023, 12(8).
- [2] Lakela A L, Berntsson E, Vosough F, et al. Molecular interactions, structural effects, and binding affinities between silver ions (Ag<sup>+</sup>) and amyloid beta (Aβ) peptides[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 5439.
- [3] Kirceva N, Dobrev S, Nikolova V, et al. Theoretical Insight into the Phosphate-Targeted Silver's Antibacterial Action: Differentiation between Gram(+) and Gram(-) Bacteria[J]. *Inorg Chem*, 2022, 61(26): 10089-10100.
- [4] Fang L, Zhang Y, Cheng L, et al. Silica nanoparticles containing nano-silver and chlorhexidine to suppress *Porphyromonas gingivalis* biofilm and modulate multispecies biofilms toward healthy tendency[J]. *J Oral Microbiol*, 2024, 16(1): 2361403.
- [5] Radenkova V, Valdovska A, Galina D, et al. Elaboration of Nanostructured Levan-Based Colloid System as a Biological Alternative with Antimicrobial Activity for Applications in the Management of Pathogenic Microorganisms[J]. *Nanomaterials*(Basel), 2023, 13(22).
- [6] Yuksekdag Z, Kilickaya R, Kara F, et al. Biogenic-Synthesized Silver Nanoparticles Using the *Ligilactobacillus salivarius* KC27L Postbiotic: Antimicrobial, Anti-Biofilm, and Antioxidant Activity and Cytotoxic Effects[J]. *Probiotics Antimicrob Proteins*, 2025, 17(5): 3685-3699.
- [7] Al-Ansari M M, Al-Dahmash N D, Ranjitsingh A J A. Synthesis of silver nanoparticles using gum Arabic: Evaluation of its inhibitory action on *Streptococcus mutans* causing dental caries and endocarditis[J]. *J Infect Public Health*, 2021, 14(3): 324-330.
- [8] 罗廷炎, 顾瑜, 秦晓飞. 纳米材料的抗菌机制及在口腔感染性疾病中的作用[J]. *中国组织工程研究*, 2023, 27(21): 3407-3414.
- [9] Wong P Y, Soo S, Wong E S, et al. A Novel Antimicrobial Hydrogel for the Management of Periodontal Diseases[J]. *Int Dent J*, 2023, 73(3): 354-361.
- [10] Laredo-Naranjo M A, Carrillo-Gonzalez R, De La Garza-Ramos M A, et al. Antimicrobial properties and dental pulp stem cell cytotoxicity using carboxymethyl cellulose-silver nanoparticles deposited on titanium plates[J]. *Acta Biomater Odontol Scand*, 2016, 2(1): 60-67.
- [11] Subramanyam G K, Gaddam S A, Kotakadi V S, et al. *Argyrea nervosa* (Samudra pala) leaf extract mediated silver nanoparticles and

- evaluation of their antioxidant,antibacterial activity,in vitro anticancer and apoptotic studies in KB oral cancer cell lines[J].Artif Cells Nanomed Biotechnol,2021,49(1):635-650.
- [12] Abdallah B M,Ali E M.Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Lotus lalambensis Aqueous Leaf Extract and Their Anti-Candidal Activity against Oral Candidiasis[J].ACS Omega,2021,6(12):8151-8162.
- [13] Almeida N L M,Peralta L C F,Pontes F M L,et al.Anti-Candida activity and biocompatibility of silver nanoparticles associated with denture glaze:a new approach to the management of denture stomatitis[J].Folia Microbiol(Praha),2024,69(6):1229-1246.
- [14] Azhar S,Rana N F,Kashif A S,et al.DEAE-Dextran Coated AgNPs:A Highly Blendable Nanofiller Enhances Compressive Strength of Dental Resin Composites[J].Polymers(Basel),2022,14(15).
- [15] Ashour A A,Basha S,Felemban N H,et al.Antimicrobial Efficacy of Glass Ionomer Cement in Incorporation with Biogenic Zingiber officinale Capped Silver-Nanobiotic,Chlorhexidine Diacetate and Lyophilized Miswak[J].Molecules,2022,27(2).
- [16] Ashour A A,Felemban M F,Felemban N H,et al.Comparison and Advanced Antimicrobial Strategies of Silver and Copper Nanodrug-Loaded Glass Ionomer Cement against Dental Caries Microbes[J].Antibiotics(Basel),2022,11(6).
- [17] Yang N,Wu T,Li M,et al.Silver-quercetin-loaded honeycomb-like Ti-based interface combats infection-triggered excessive inflammation via specific bactericidal and macrophage reprogramming[J].Bioact Mater,2025,43:48-66.
- [18] Geissel F J,Platania V,Gogos A,et al.Antibiofilm activity of nanosilver coatings against Staphylococcus aureus[J].J Colloid Interface Sci,2022,608(Pt 3):3141-3150.
- [19] Song G,Choi Y,Hwang H,et al.Silver-Composited Polydopamine Nanoparticles:Antibacterial and Antioxidant Potential in Nanocomposite Hydrogels[J].Gels,2023,9(3).
- [20] Galant K,Turosz N,Checinska K,et al.Silver Nanoparticles(AgNPs)Incorporation into Polymethyl Methacrylate(PMMA)for Dental Appliance Fabrication:A Systematic Review and Meta-Analysis of Mechanical Properties[J].Int J Mol Sci,2024,25(23).
- [21] Mahross H Z,Baroudi K.Effect of silver nanoparticles incorporation on viscoelastic properties of acrylic resin denture base material[J].Eur J Dent,2015,9(2):207-212.