

СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИЕ ПОКРЫТИЯ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОПОЛАСКИВАТЕЛИ С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА: ВЛИЯНИЕ НА МИКРОБИОТУ ПОЛОСТИ РТА И ВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ПОРАЖЕНИЯ СЛИЗИСТОЙ ПРИ ОРТОДОНТИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ СЪЕМНЫМИ И НЕСЪЕМНЫМИ АППАРАТАМИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Гасимова З.В., Тагизаде Р.К., Мусаева А.Б.

Аннотация

Использование съёмных и несъёмных ортодонтических конструкций в процессе лечения приводит к образованию ретенционных зон, ускорению процессов созревания зубной биоплёнки и, как следствие, увеличению вероятности воспалительных заболеваний пародонта, поражений слизистой оболочки и формирования кариозных очагов. В связи с этим в последние годы активно исследуются серебросодержащие подходы к контролю зубной биоплёнки, включая: (1) применение серебряных и наносеребряных покрытий на ортодонтические элементы (пластинки, дуги, лигатуры) и (2) использование ополаскивателей, содержащих наночастицы серебра (AgNP), в качестве альтернативы или дополнения к традиционным антисептическим средствам.

Настоящий обзор систематизирует данные последних лет о влиянии серебросодержащих технологий на микробную колонизацию и клинические показатели гигиены/воспаления у пациентов со съёмными и несъёмными ортодонтическими аппаратами, с акцентом на *Streptococcus mutans*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* и *Fusobacterium spp.* Обсуждаются механизмы действия, ограничения доказательной базы, различия микробиологических методов и направления дальнейших исследований (Sycińska-Dziarnowska M., 2024; Wang N., 2023; Ren X., 2023).

Ключевые слова: ортодонтическое лечение, съёмные и несъёмные паррататы; серебряное покрытие; наночастицы серебра; ополаскиватель; хлоргексидин; оральная биоплёнка; *Streptococcus mutans*; *Candida albicans*; *Staphylococcus aureus*; *Fusobacterium*.

Введение

В процессе ортодонтического лечения с применением съёмных и несъёмных аппаратов изменяется топография полости рта: увеличивается площадь и шероховатость контактных поверхностей, формируются

труднодоступные для проведения гигиены области, в которых происходит формирование и созревание биоплёнки с микробным сообществом. Эти изменения нередко сопровождаются увеличением индексов зубного налёта и гингивита, а также повышением риска



деминерализации эмали в виде очагов «white spot lesions» (WSL) (Julien K.C., 2013; Sundararaj D., 2015; Ren X., 2023).

Традиционным средством химического контроля зубной биоплёнки остаётся хлоргексидин (CHX), характеризующийся выраженной антисептической активностью и доказанным антиналётным эффектом. Вместе с тем длительное применение CHX ограничено развитием нежелательных побочных реакций, включая окрашивание зубов, нарушение вкусового восприятия (дисгевзию) и раздражение слизистой оболочки полости рта, что снижает приверженность пациентов к лечению, особенно в условиях продолжительной ортодонтической терапии (Soheilifar S., 2021; Ren X., 2023).

На этом фоне серебро и наночастицы серебра (AgNP) рассматриваются как широкоспектральные антимикробные агенты, потенциально пригодные для ортодонтии в виде покрытий ортодонтических элементов и ополаскивателей (Бороздикн 2022, Wang N., 2023; Sycińska-Dziarnowska M., 2024) (Brightman L.J., 1991; Lundström F., 1987; Gehlen A., 2000).

Сокращения: AgNP (silver nanoparticles - наночастицы серебра), CHX (chlorhexidine - хлоргексидин), PI (Plaque Index - индекс налёта), GI (Gingival Index - индекс гингивита), BOP (Bleeding on

Probing - кровоточивость при зондировании), WSL (White Spot Lesions - очаги меловидной деминерализации эмали), CFU (colony-forming units - колониеобразующие единицы, КОЕ), qPCR (quantitative polymerase chain reaction - количественная полимеразная цепная реакция).

Изменения микробиоты и клинических показателей при лечении съёмными и несъёмными ортодонтическими аппаратами

Съёмные и несъёмные ортодонтические аппараты увеличивают количество ретенционных зон и усложняют самоочищение, что закономерно ведёт к ускоренному созреванию зубной биоплёнки. В обзорах и метаанализах описано, что в первые месяцы после фиксации аппарата часто повышаются индексы налёта и признаки воспаления дёсен, а риск очагов меловидной деминерализации эмали вокруг брекетов остаётся клинически значимым осложнением (Julien K.C., 2013; Sundararaj D., 2015; Ren X., 2023). На микробиологическом уровне в разных исследованиях регистрируют сдвиги в сторону более зрелой биоплёнки с увеличением доли анаэробных и воспалительно-ассоциированных таксонов; выраженность изменений зависит от исходного уровня гигиены, режима профилактики и методики микробиологической оценки (Wang N., 2023; Ren X., 2023).

Серебро и наночастицы серебра как антимикробная стратегия в ортодонтии
Серебро рассматривают как широкоспектральный антимикробный агент, а наночастицы серебра - как технологическую платформу, позволяющую модифицировать поверхности ортодонтических элементов и составы средств для

Yazışma üçün əlaqə

Гасимова З.В., Тагизаде Р.К., Мусаева А.Б.

гигиены. В обзорах подчёркивается, что эффективность серебросодержащих технологий определяется не только наличием серебра как такового, но и способом нанесения, толщиной и морфологией покрытия, устойчивостью к износу, а также профилем высвобождения ионов серебра в условиях полости рта (Гречихин С. С. 2021, Sycińska-Dziarnowska M., 2024; Niu M., 2025).

Серебряные покрытия ортодонтических элементов

Клинически ориентированные исследования серебряных покрытий брекетов демонстрируют снижение бактериальной колонизации по сравнению со стандартными элементами, при этом важным аспектом остаётся оценка высвобождения ионов и биосовместимости (Metin-Gürsoy G., 2017). Систематические обзоры по покрытиям брекетов, дуг и вспомогательных элементов подтверждают общий тренд к уменьшению адгезии и/или биоплёнкообразования в экспериментальных моделях, однако подчёркивают высокую гетерогенность протоколов, конечных точек и условий эксперимента, что ограничивает сопоставимость результатов (Sycińska-Dziarnowska M., 2024; Wang N., 2023). Дополнительный практический интерес представляют исследования покрытий эластомерных лигатур, поскольку эти элементы быстро колонизируются и часто служат субстратом для зрелой биоплёнки; показана технологическая осуществимость нанесения антимикробных наноплёнок, включая серебро (Schubert A., 2024).

AgNP-ополаскиватели и сравнение с хлоргексидином

Ополаскиватели с наночастицами серебра исследуются как альтернатива или дополнение к антисептикам на основе хлоргексидина. В рандомизированных клинических исследованиях у ортодонтических пациентов сообщалось об улучшении клинических индексов гигиены и воспаления и/или о снижении кариес-ассоциированных показателей на фоне AgNP-ополаскивателей по сравнению с контролем, тогда как хлоргексидин нередко демонстрировал более выраженный антимикробный эффект, но был ограничен нежелательными явлениями (Латута Н. В. 2021, Гоптарева Е. А. 2019, Ali A., 2022; Raghav P., 2025; Soheilifar S., 2021). В обзорах по хлоргексидину подчёркиваются проблемы переносимости при длительном применении (окрашивание, изменение вкуса, раздражение слизистой), что поддерживает интерес к альтернативным схемам, включая серебросодержащие средства (Deus F.P., 2022; Ren X., 2023).

Микробиологические показатели анализируемые в публикациях

В исследованиях, посвящённых ортодонтическому лечению с применением съёмных и несъёмных аппаратов, а также профилактике биоплёночных осложнений, используемый набор микробиологических показателей характеризуется вариабельностью. Чаще всего в качестве кариес-ассоциированного маркера оценивают *Streptococcus mutans* и/или суммарные показатели кислотогенной флоры налёта, поскольку эти параметры

сопоставляют с риском деминерализации эмали (Julien K.C., 2013; Ali A., 2022). Для характеристики воспалительно-ассоциированной зрелой биоплёнки используют показатели анаэробных таксонов и ко-агрегаторов; в отдельных работах анализировали *Fusobacterium nucleatum* и связанные с ним детерминанты адгезии (Liu P., 2014). В контексте поражений слизистой и микротравматизации на фоне ортодонтических конструкций описывают динамику колонизации *Candida* spp. и выявляемость условно-патогенных оппортунистов, включая стафилококки (Sanz-Orrio-Soler I., 2020; Rodríguez-Rentería M., 2021). В последние годы часть работ использует интегральные показатели микробной нагрузки и молекулярные методы оценки состава сообществ, что повышает чувствительность к сдвигам микробиоты, но усложняет прямое сравнение между исследованиями из-за методических различий (Wang N., 2023; Sycińska-Dziarnowska M., 2024).

Безопасность и ограничения доказательной базы

Ограничения доказательной базы связаны с различиями технологий серебряных покрытий и рецептур ополаскивателей, короткими сроками наблюдения во многих клинических работах и несопоставимостью микробиологических методик. Отдельно обсуждаются вопросы биосовместимости и потенциальной токсичности наночастиц серебра, зависящие от дозы, размеров частиц и характера релиза, а также необходимость оценки долгосрочной безопасности при длительном ортодонтическом лечении (Niu M., 2025;

Sycińska-Dziarnowska M., 2024). В качестве наиболее перспективного направления публикации и обзоры обычно называют стандартизацию протоколов и проведение более длительных клинических наблюдений с сопоставимыми конечными точками, что позволит более точно оценить клиническую значимость эффектов (Ren X., 2023).

Заключение

Серебросодержащие технологии в ортодонтии - покрытия ортодонтических элементов и ополаскиватели с наночастицами серебра - по данным зарубежной литературы демонстрируют потенциал снижения микробной колонизации и улучшения клинических показателей гигиены и воспаления в ряде исследований. При этом сопоставление с хлоргексидином показывает, что он часто обеспечивает более выраженный антимикробный эффект, но ограничен переносимостью при длительном применении. Совокупность данных поддерживает необходимость дальнейших клинических исследований с унифицированными протоколами и оценкой безопасности при длительных режимах использования (Ren X., 2023; Niu M., 2025).

Список литературы

1. Metin-Gürsoy G, Taner L, Akca G. Nanosilver coated orthodontic brackets: in vivo antibacterial properties and ion release. *Eur J Orthod*. 2017; 39 (1) : 9 - 16. doi:10.1093/ejo/cjv097. PMID:26787659.
2. Wang N, Yu J, Yan J, Hua F. Recent advances in antibacterial coatings for orthodontic appliances. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;11:1093926.

doi:10.3389/fbioe.2023.1093926.

PMID:37107889.

3. Sycińska-Dziarnowska M, et al. Use of Antimicrobial Silver Coatings on Fixed Orthodontic Appliances, Including Archwires, Brackets, and Microimplants: A Systematic Review. *Med Sci Monit.* 2024;30:e944255.

doi:10.12659/MSM.944255.

PMID:38843112.

4. Schubert A, et al. Antibacterial coating of orthodontic elastomeric ligatures with silver and bismuth nanofilms by magnetron sputtering: A feasibility study. *Clin Exp Dent Res.* 2024;10(2):e864.

doi:10.1002/cre2.864. PMID:38433291.

5. Raghav P, et al. [AgNP mouthwash vs chlorhexidine vs placebo in fixed orthodontics: randomized clinical trial]. *Dental Press J Orthod.* 2025. doi:10.1590/2177-6709. PMID:40197941.

6. Ali A, Ismail H, Amin K. Effect of nanosilver mouthwash on prevention of white spot lesions in patients undergoing fixed orthodontic treatment: a randomized double-blind clinical trial. *J Dent Sci.* 2022;17:249-255.

doi:10.1016/j.jds.2021.03.016.

PMID:35028045. PMCID:PMC8739266.

7. Soheilifar S, et al. Chlorhexidine mouthrinse outcomes and adverse effects in orthodontic patients: randomized clinical trial. 2021. PMID:34049835.

8. Deus FP, Ouanounou A. Chlorhexidine in dentistry: pharmacology, uses, and adverse effects. *Int Dent J.* 2022;72(3):269-277. doi:10.1016/j.identj.2022.02.003. PMID:35287956.

9. Bączela J, Łabowska MB, Detyna J, Zięty A, Michalak I. Functional Coatings for Orthodontic Archwires-A Review. *Materials (Basel).* 2020;13(15):3257. doi:10.3390/ma13153257.

PMID:32707959.

10. Patano A, et al. White Spots: Prevention in Orthodontics-Systematic Review of the Literature. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(8):5608.

doi:10.3390/ijerph20085608.

PMID:37107890.

11. Lucchese A, Gherlone E. Prevalence of white-spot lesions before and during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod.* 2013;35(5):664-668. doi:10.1093/ejo/cjs070. PMID:23045306.

12. Julien KC, Buschang PH, Campbell PM. Prevalence of white spot lesion formation during orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2013;83(4):641-647. doi:10.2319/071712-584.1. PMID:23289733.

13. Sundararaj D, Venkatachalapathy S, Tandon A, Pereira A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015;5(6):433-439. doi:10.4103/2231-0762.167719. PMID:26759794.

14. Thao PNN, et al. Silver nanoparticle mouthwash in orthodontic patients: randomized clinical trial. 2025. PMID:40821232.

15. Soundarajan S, et al. Mouthwashes in orthodontic patients: systematic review and/or network meta-analysis. 2023. PMID:37796050.

16. Kozak U, et al. Changes in distribution of dental biofilm after insertion of fixed orthodontic appliances. 2020. PMID:32368040.

17. Perkowski K, et al. Examination of oral biofilm microbiota in patients with fixed orthodontic appliances. *Ann Agric Environ Med.* 2019. PMID:31232051.

18. Sanz-Orrio-Soler I, et al. [Candida colonization in patients with fixed orthodontic appliances: longitudinal study]. 2020. PMID:33262874.

19. Rodríguez-Rentería M, Márquez-Preciado R, Ortiz-Magdaleno M, Bermeo-Escalona J, Sánchez-Vargas LO. Frequency of Pathogenic Microorganisms in Removable Orthodontic Appliances and Oral Mucosa in Children. *J Clin Pediatr Dent.* 2021;45(2):135-139. doi:10.17796/1053-4625-45.2.11. PMID:33951170.
20. Liu P, Liu Y, Wang J, Guo Y, Zhang Y, Xiao S. Detection of *Fusobacterium nucleatum* and *fadA* adhesin gene in patients with orthodontic gingivitis and non-orthodontic periodontal inflammation. *PLoS One.* 2014;9(1):e85280. doi:10.1371/journal.pone.0085280. PMID:24416378. PMCID:PMC3887018.
21. Yin IX, et al. [Silver nanomaterials and caries prevention: review]. 2020. PMID:32440117.
22. Noronha VT, et al. Silver nanoparticles in dentistry: applications and safety. 2021. PMID:33801230.
23. Mei L, et al. Effects of fixed orthodontic appliances on cariogenic bacteria / plaque accumulation]. 2017. PMID:28133715.
24. Yassaei S, et al. Orthodontic materials with silver nanoparticles: antimicrobial effects. 2021. PMID:34884339.
25. Buschang PH, et al. Orthodontic appliances and oral health related outcomes. 2019. PMID:15825788.
26. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod.* 1982;81:93-98. PMID:6758594.
27. Brightman LJ, et al. Effects of a 0.12% chlorhexidine mouthrinse on orthodontic patients aged 11 through 17. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100:324-329. PMID:1927982.
28. Atack NE, Sandy JR, Addy M. Periodontal and microbiological changes associated with the placement of orthodontic appliances. A review. *J Periodontol.* 1996;67:78-85. doi:10.1902/jop.1996.67.2.78. PMID:8600360.
29. Lundström F, Krasse B. Streptococcus mutans and lactobacilli frequency in orthodontic patients: The effect of chlorhexidine treatments. *Eur J Orthod.* 1987;9:109-116. PMID:3473157.
30. Gehlen A, et al. Chlorhexidine effects on Streptococcus mutans in orthodontic patients: clinical study. 2000. PMID:10682411.
31. Blöcher S, Frankenberger R, Hellak A, Schauseil M, Roggendorf MJ, Korbmacher-Steiner HM. Effect on enamel shear bond strength of adding microsilver and nanosilver particles to the primer of an orthodontic adhesive. *BMC Oral Health.* 2015;15:42. doi:10.1186/s12903-015-0024-8. PMID:25887896. PMCID:PMC4374300.
32. Degrazia FW, Leitune VCB, Garcia IM, Arthur RA, Samuel SMW, Collares FM. Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. *J Appl Oral Sci.* 2016;24(4):404-410. doi:10.1590/1678-775720160190. PMID:27556213. PMCID:PMC4990371.
33. Ren X, Zhang Y, Xiang Y, Hu T, Cheng R, Cai H. The efficacy of mouthwashes on oral microorganisms and gingivitis in patients undergoing orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):204. doi:10.1186/s12903-023-02920-4. PMID:37024817. PMCID:PMC10077628.
34. Niu M, Lee JJ, Hwang G, Chung CH, Wolff MS, Zheng Z, Li C. Usage of Silver Nanoparticles in Orthodontic Appliances. *Materials (Basel).* 2025;19(1):115. doi:10.3390/ma19010115. PMID:41515782.
35. Lee JJ, Kim J, Hwang G, Chung CH, Wolff MS, Zheng Z. Usage of Silver

Nanoparticles in Orthodontic Bonding Reagents: Antibacterial Properties and Potential Side Effects. J Funct Biomater. 2025;16(7):244. doi:10.3390/jfb16070244. PMID:40710458.