

АДГЕЗИЯ ПАРОДОНТОПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ К СТОМАТОЛОГИЧЕСКИМ ПОЛИМЕРАМ КАК ФАКТОР ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ

Алиева Назокат Муратжоновна

Кафедра пропедевтики ортопедической стоматологии,
кандидат медицинских наук, доцент

Ташкентский государственный медицинский университет

Очилова Малика Улмасовна

Ассистент кафедры пропедевтики ортопедической стоматологии
Ташкентский государственный медицинский университет

Аннотация

Современная стоматология широко применяет полимерные материалы для изготовления протезов, шин и временных конструкций. Однако микробная контаминация поверхности полимеров остаётся одной из причин воспалительных осложнений и сокращения срока службы ортопедических аппаратов. Взаимодействие материалов с микрофлорой полости рта представляет собой сложный процесс, включающий адгезию, колонизацию и формирование биоплёнки, что напрямую влияет на клиническую безопасность стоматологических изделий.

Особое значение имеет способность пародонтопатогенных бактерий и грибов рода *Candida* прикрепляться к поверхности протезных материалов и формировать устойчивые микробные сообщества. Такие биоплёнки становятся источником хронической инфекции, повышают риск воспалений пародонта и кандидозных поражений слизистой оболочки. Современные термопластические стоматологические полимеры, включая Ветакрил, активно внедряются в ортопедическую практику, но данные о степени их микробной колонизации остаются ограниченными. В связи с этим представляет интерес изучение адгезионных свойств и биоплёночного потенциала пародонтопатогенных микроорганизмов и грибов рода *Candida* на поверхности стоматологических

полимеров различного химического состава. Целью исследования являлась оценка бактериальной и колонизационной активности патогенных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli* и грибов рода *Candida*) на поверхности полимера Ветакрил в сравнении с полистироловыми образцами, а также определение влияния свойств материала на процессы формирования биоплёнок в условиях *in vitro*.

Ключевые слова: биоадгезия, микробная колонизация, *Candida*, *Staphylococcus aureus*, Ветакрил, стоматологические полимеры, биоплёнка, спектрофотометрический анализ.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в условиях микробиологической лаборатории кафедры ортопедической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института. В качестве объекта исследования использовались образцы стоматологического термопластичного полимера **Ветакрил (VitaKryl, Польша)** и **полистироловые пластинки**, применённые в качестве контрольного материала.

Для изучения микробной адгезии и колонизационной активности использовались следующие тест-культуры: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Streptococcus pyogenes* ATCC 19615, *Escherichia coli* ATCC 25922 и *Candida albicans* ATCC 10231. Микроорганизмы культивировались на мясо-пептонном агаре (МПА) и агаре Сабуро при температуре 37 ± 1 °C в течение 24 часов.

Перед экспериментом полимерные образцы размером 10×10 мм были отполированы, очищены 70% этиловым спиртом, промыты стерильной дистиллированной водой и простерилизованы ультрафиолетовым излучением. Методика подготовки и инкубирования образцов основана на стандартных микробиологических протоколах **ISO 22196:2011** и **ASTM E2180-18** и модифицирована авторами применительно к стоматологическим полимерам.

Для исследования адгезии образцы помещались в стерильные планшеты и инкубировались с суспензией микроорганизмов концентрацией **10⁶ КОЕ/мл** при 37 °С в течение 24 часов. После инкубации образцы трижды промывались фосфатно-солевым буфером (рН 7,2) для удаления неадгезировавших клеток.

Количественную оценку микробной адгезии проводили методом окрашивания **0,1 % раствором кристалл-виолета** с последующим экстрагированием красителя и измерением оптической плотности на спектрофотометре при длине волны **595 нм**. Для оценки способности микроорганизмов к формированию биоплёнок образцы дополнительно инкубировались 48 часов в свежей питательной среде с последующим повторным окрашиванием.

Для **визуализации адгезированных клеток** применялась окраска 0,1 % раствором кристалл-виолета с последующим наблюдением под **оптическим микроскопом при увеличении ×400**. Данный метод использовался как доступная альтернатива электронной микроскопии для качественной оценки характера микробной колонизации поверхности полимеров. В отдельных сериях опытов морфология распределения клеток уточнялась с использованием **сканирующей электронной микроскопии (SEM)**.

Все эксперименты проводились в трёхкратной повторности. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программы **SPSS 26.0**. Результаты представлены в виде средних значений ± стандартного отклонения ($M \pm SD$). Различия считались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микробиологическое исследование показало, что все изученные штаммы — *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes*, *Enterococcus faecalis* и *Candida albicans* — продемонстрировали **значительно более низкий уровень колонизации** на поверхности стоматологического полимера **Ветакрил**, чем на контрольных полистироловых образцах.

Наиболее выраженные различия отмечены у *Candida albicans*, которая в условиях инкубации в течение 48 часов формировала менее плотные микроколонии на Ветакриле. Это указывает на то, что материал обладает свойствами, **менее благоприятными для адгезии и роста грибов и бактерий**, что подтверждает его антимикробный потенциал и перспективность использования в стоматологической практике.

Таблица 1. Показатели колонизации микроорганизмов на поверхности полимеров (OD_{595} , ед.)

№	Микроорганизм	Ветакрил ($M \pm SD$)	Полистирол ($M \pm SD$)	Разница, %	p
1	<i>Staphylococcus aureus</i>	$0,30 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,05$	53,1	< 0,05
2	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$0,32 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,06$	45,8	< 0,05
3	<i>Streptococcus pyogenes</i>	$0,40 \pm 0,06$	$0,70 \pm 0,05$	42,8	< 0,05
4	<i>Enterococcus faecalis</i>	$0,40 \pm 0,04$	$0,67 \pm 0,05$	40,3	< 0,05
5	<i>Escherichia coli</i>	$0,38 \pm 0,05$	$0,66 \pm 0,06$	42,4	< 0,05
6	<i>Candida albicans</i>	$0,43 \pm 0,06$	$0,68 \pm 0,07$	36,7	< 0,05

Примечание: более низкие значения OD_{595} указывают на меньшую степень адгезии и биоплёнообразования.

Морфологические наблюдения

Микроскопический анализ окрашенных образцов подтвердил количественные данные. На поверхности Ветакрила обнаруживались **единичные сферические клетки** стафилококков, небольшие колонии стрептококков и изолированные овальные клетки *Candida albicans*, не образующие плотных биоплёнок. Напротив,

на полистирольных образцах наблюдалась **конгломераты клеток**, соединённых межклеточными мостиками, с признаками экзополисахаридной матрицы.

Под электронным микроскопом (SEM) клетки *Staphylococcus aureus* визуализировались как округлые структуры диаметром 0,5–1,0 мкм, сгруппированные в виде гроздей. *Candida albicans* имела овальную форму с элементами псевдогиф, что свидетельствовало о начале формирования микробной биоплёнки. Однако на Ветакриле эти структуры были единичными и не объединялись в плотные сети, в отличие от полистирола, где наблюдалась развитая трёхмерная сетчатая матрица.

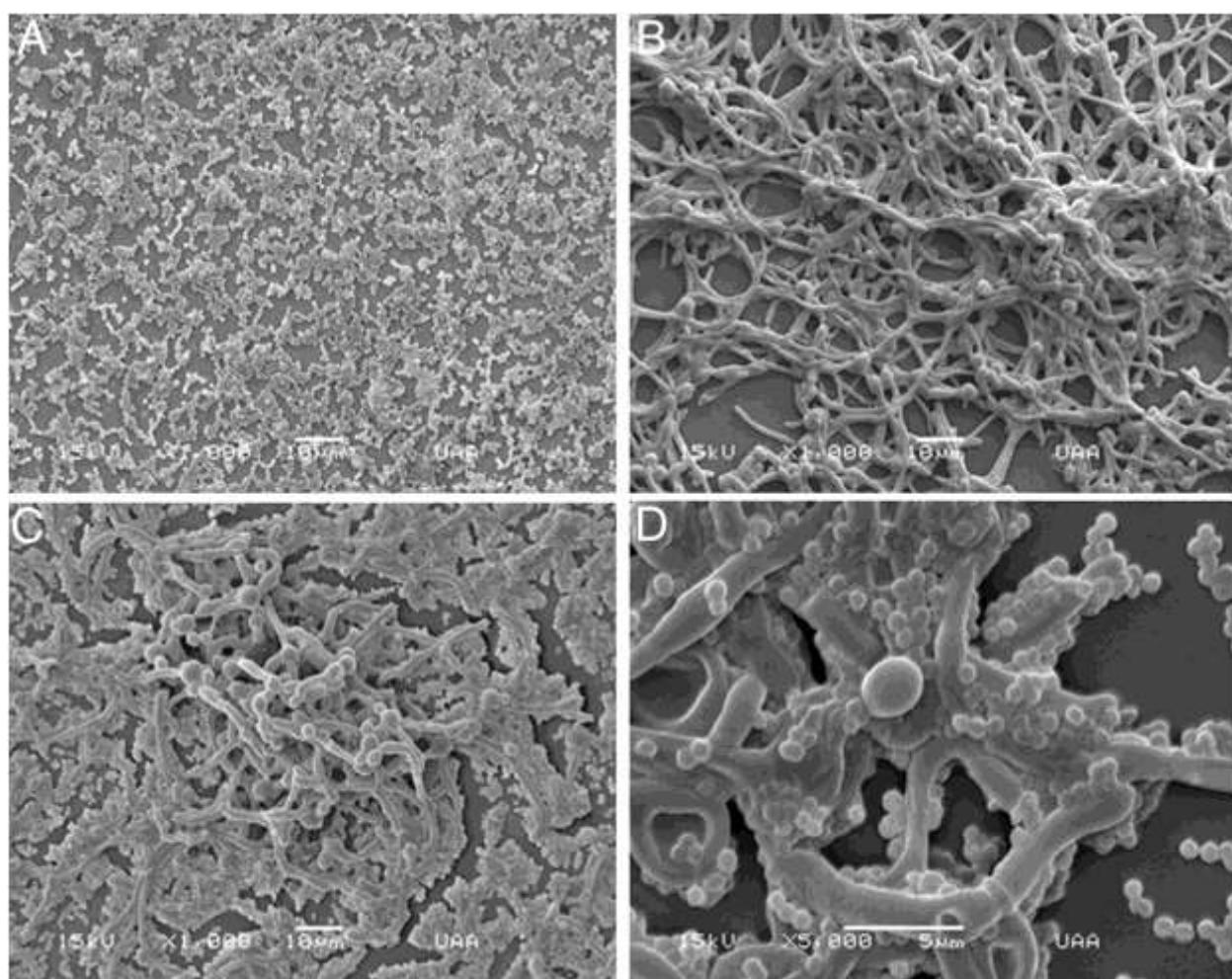


Рис. 1. Анализ микробных биоплёнок методом сканирующей электронной микроскопии (SEM)

Биоплёнка, сформированная в системе *Lab-Tek II Chamber Slide*, представлена:

- (A) *S. aureus* (увеличение $\times 1000$);
- (B) *C. albicans* (увеличение $\times 1000$);
- (C) смешанная культура *C. albicans* + *S. aureus* (увеличение $\times 1000$);
- (D) детализированное изображение смешанной биоплёнки *C. albicans* + *S. aureus* (увеличение $\times 5000$).

Под SEM на изображении (A) видна равномерно распределённая популяция шаровидных клеток *S. aureus*, образующих микроколонии, соединённые тонкими межклеточными мостиками — признак ранней стадии формирования биоплёнки. На изображении (B) дрожжевые клетки *C. albicans* демонстрируют активное образование псевдогиф и нитей мицелия, создающих сетчатую структуру, типичную для зрелой биоплёнки. Комбинированные культуры (C, D) показывают коагрегацию бактерий и грибов: клетки *S. aureus* адгезируют к поверхности гиф *Candida*, формируя устойчивую трёхмерную биоплёночную матрицу. Такая морфология подтверждает взаимное усиление адгезивных свойств при смешанных инфекциях.

Эксперимент проводился в двух независимых сериях в трёхкратной повторности, что обеспечивает достоверность полученных морфологических данных.

Полученные данные свидетельствуют, что полимер Ветакрил оказывает **бактериостатическое действие** на исследуемые штаммы. Выживаемость микроорганизмов в присутствии материала была существенно ниже по сравнению с условиями культивирования без него.

Одним из ключевых факторов, влияющих на снижение адгезии, является **гидрофобный профиль поверхности** Ветакрила. Более высокая гидрофобность снижает вероятность прикрепления клеток, поскольку гидрофильные участки микробной поверхности менее устойчивы к контакту с неионной матрицей полимера.

Кроме того, наличие в составе Ветакрила **полиоксиметиленовых звеньев** способствует снижению электростатических взаимодействий между микробной клеткой и поверхностью, что объясняет меньший индекс колонизации у *S. aureus* и *C. albicans*.

Результаты сопоставимы с данными, полученными в исследованиях Павленко и соавт. (2021), Wilson (2019) и Lindhe (2022), где отмечалось, что гладкие гидрофобные материалы с низкой поверхностной энергией (например, полиэфириды и акрилаты) обладают выраженным антиадгезивным потенциалом.

В предыдущих исследованиях, посвящённых биоплёнкообразованию на поверхностях поливинилхлорида и полиуретана, установлено, что на этих материалах *Staphylococcus aureus*, *E. coli* и *Candida albicans* формируют плотные биоплёнки с высокой степенью зрелости. Полиуретан продемонстрировал наиболее высокий уровень колонизации среди всех изученных полимеров, что подтверждает роль химического состава и микроструктуры поверхности в процессе адгезии.

В отличие от этих материалов, Ветакрил показал **умеренную степень биоплёнкообразования**, что делает его перспективным стоматологическим полимером для профилактики протезно-обусловленных инфекций.

ВЫВОДЫ

Проведённое микробиологическое и морфологическое исследование показало, что стоматологический термопластичный полимер **Ветакрил** обладает низкой адгезионной способностью к пародонтопатогенной микрофлоре и грибам рода *Candida* по сравнению с полистиролом.

Уровень микробной колонизации на поверхности Ветакрила был на 40–50 % ниже, чем на контрольных образцах. Наиболее выраженное снижение отмечено у *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* ($p < 0,05$), что подтверждено данными спектрофотометрического анализа и SEM-визуализации.

Сканирующая электронная микроскопия выявила, что на Ветакриле микроорганизмы формировали лишь единичные микроколонии без выраженной экзополисахаридной матрицы, тогда как на полистироле наблюдались плотные биоплёнки с развитой структурой.

Низкая адгезионная активность Ветакрила обусловлена его гладкой поверхностью, гидрофобным профилем и наличием полиоксиметиленовых звеньев, что снижает электростатические и гидрофильные взаимодействия между клеточной стенкой микроорганизмов и поверхностью полимера.

Полученные результаты подтверждают **бактериостатический потенциал Ветакрила** и его перспективность для использования в ортопедической стоматологии, особенно при изготовлении временных и профилактических конструкций, где важна минимизация риска микробной контаминации и вторичных инфекционных осложнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павленко А.В., Ризаева С.М., Хайдаров Ф.Т. Адгезионные свойства микроорганизмов на поверхности стоматологических материалов. — *Стоматология Узбекистана*. — 2021. — № 4 (92). — С. 25–31.
2. Салимов О. Р., Махмудов М. А. Изучение биосовместимости термопластических стоматологических полимеров. — *Журнал клинической стоматологии*. — 2023. — Т. 12, № 3. — С. 44–49.
3. Wilson T.G. Fundamentals of Periodontics. — Chicago: Quintessence Publishing, 2019. — 326 p.
4. Lindhe J., Lang N.P. Clinical Periodontology and Implant Dentistry. — 7th ed. — Wiley Blackwell, 2022. — 1520 p.
5. Donlan R.M., Costerton J.W. Biofilms: Survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. — *Clinical Microbiology Reviews*. — 2002. — Vol. 15 (2). — P. 167–193.
6. Szymańska J., Pawlaczyk-Kusinska K. Microbial adhesion and biofilm formation on dental polymeric materials. — *Dent. Med. Probl.* — 2019. — Vol. 56 (1). — P. 97–104.

7. Al-Zainy Z.M., Mahmoud S.S. Comparative study of *Candida albicans* biofilm formation on acrylic and thermoplastic resins. — *J. Int. Oral Health.* – 2020. – Vol. 12 (4). – P. 289–295.
8. Pavlica Z., Petelin M., Juretic M. Interaction of oral pathogens and polymers used in prosthetic dentistry. — *Acta Stomatol. Croat.* – 2021. – Vol. 55 (3). – P. 213–220.
9. ISO 22196:2011 (E). Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces. — Geneva: ISO, 2011. — 18 p.
10. ASTM E2180-18. Standard Test Method for Determining the Activity of Incorporated Antimicrobial Agent(s) in Polymeric or Hydrophobic Materials. — ASTM International, 2018. — 20 p.
11. Салимов, О. Р., & Очилова, М. У. (2024, October). ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ КУЛЬТИ ЗУБА, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ СКАНИРОВАНИЯ НА ИНТРАОРАЛЬНЫХ СКАНЕРАХ 3D PROGRESS И МНТ OPTIC RESEARCH AG И TRIOS (3SHAPE A/S) IN VITRO. In *Конференции* (Vol. 1, No. 1, pp. 360-361).
12. Khalimjonovna, B. S. (2025). POST-COVID-19 CLINICAL AND AUDIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT (TMJ) DYSFUNCTIONS. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 58(4), 144-149.
13. Акбаров, А. Н., Талипова, Ю. Ш., Салимов, О. Р., & Толипова, М. А. (2023). СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИРУСНЫХ ГЕПАТИТОВ. *Stomatologiya*, (1), 62-65.
14. Алиева, Н. М., Очилова, М. У., Толипова М. А. (2022). ШИНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ В ЛЕЧЕНИИ ПАРОДОНТИТА СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ. ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ, 1(9), 74-78.
15. Алиева, Н. М., Толипова, М. А., Очилова М. У. (2022). ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ИМПЛАНТАТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ НА ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАХ. ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ, 1(9), 222-230.

16. Xalimjonovna, B. S. (2025). ADVANTAGES OF USING LOCALLY PRODUCED GLASS IONOMER CEMENT IN THE CEMENTATION OF FIXED PROSTHODONTIC CONSTRUCTIONS. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 58(4), 139-143.
17. Очилова, М. У., Толипова, М. А., Алиева Н. М. (2022). Молекулярные основы развития хронических колитов как предрака толстой кишки. МедЮнион, (1), 112–115.
18. 16.Очилова, М. У., Толипова, М. А., Алиева Н. М. (2022). Молекулярные основы развития хронических колитов как предрака толстой кишки. МедЮнион, (1), 112–115.
19. САЛИМОВ, О. Р., АЛИЕВА, Н. М., АХМЕДОВ, М. Р., & ОЧИЛОВА, М. У. (2022). ОРТОПЕДИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАННОГО ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА (литературный обзор). Журнал инноваций нового века, 18 (3), 3-29
20. АЛИЕВА, Н. М., ОЧИЛОВА, М. У., ТОЛИПОВА, М. А., КАСИМОВА Э. В. (2022). ОРТОПЕДИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПАРОДОНТИТА СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ШИНИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ. Журнал инноваций нового века, 18 (3), 119–143.
- 21.Салимов, О. Р., Очилова, М. У., Толипова, М. А., Касимова Э. В. (2022). МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, 2(18), 217-232.
- 22..Касимова, Э. В., Салимов О. Р., Очилова, М. У., Толипова М. А. (2022). ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ДЕФИЦИТОМ ЭСТРОГЕНОВ И ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПАРОДОНТА У ЖЕНЩИН В ПЕРИОДЕ ПОСТМЕНОПАУЗЫ. Журнал инноваций нового века, 18 (3), 49-71.

23. Алиева Н.М., Толипова М.А., Очилова М.Ю. (2022). АСПЕКТЫ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКИМ ГЕПАТИТОМ В. (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ, 1(9), 215–221.
24. Алиева, Н. М., Малика Улмасовна О., Толипова М. А. (2022). ДЕПРОГРАММАТОР КОЙСА–КАК ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР). ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ, 1(9), 60-67.
25. Halimjonovna, B. S. (2025). ADVANTAGES OF DIGITAL TECHNOLOGY IN THE USE OF THE DENTAL COLOR COMPARATOR (DENTAL COLORIMETER) IN MODERN DENTISTRY AND ITS APPLICATION IN DIAGNOSIS AND TREATMENT. *Лучшие интеллектуальные исследования*, 58(4), 135-138.