

DOI: 10.37988/1811-153X_2024_2_46

[А.Ю. Туркина](#)¹,

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии, зам. директора Института стоматологии

[В.В. Щелкова](#)²,

научный сотрудник лаборатории биомедицинских методов исследования

[И.М. Макеева](#)¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой терапевтической стоматологии

[Н.А. Янова](#)³,

к.м.н., доцент кафедры клинической стоматологии

[А.А. Плишкина](#)³,

к.м.н., доцент кафедры клинической стоматологии

[А.В. Ярцева](#)⁴,

к.м.н., доцент кафедры обезболивания в стоматологии

[З.Т. Аймалетдинова](#)⁵,

ассистент кафедры профилактики стоматологических заболеваний

[Д.С. Леонов](#)¹,

ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии

[Ю.Л. Васильев](#)¹,

д.м.н., профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии

¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, 119991, Москва, Россия² МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, 129110, Москва, Россия³ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, Россия⁴ Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия⁵ РУДН, 117198, Москва, Россия

Исследование антибактериальных свойств полиэфирэфиркетона в отношении *Staphylococcus aureus* in vitro

Реферат. Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) — один из перспективных конструкционных материалов в стоматологии. Учитывая высокий риск колонизации протезов оппортунистической микрофлорой, необходима оценка биопленкообразования на поверхности материала. **Цель исследования** — оценка биопленкообразования *S. aureus* на поверхности ПЭЭК, а также оценка антибактериальных свойств материала при воздушной контаминации. **Материалы и методы.** Для формирования биопленок использовали взвесь микроорганизмов в бульоне с концентрацией $1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл с экспозицией 24 часа, биопленкообразование определяли фотоколориметром (540 нм). Для воздушной контаминации образцы помещали в нестерильную комнату на 1 час, затем отпечатывали на агар, промывали и высевали на стерильную агаризованную среду. В качестве материала для сравнения выбрали термопластичный полимер линейной структуры — полистирол. **Результаты.** Проведена оценка способности к биопленкообразованию при OD контроля = 0,47 и OD опытного образца = 0,19. Образцы ПЭЭК в сравнении с контрольными демонстрируют неспособность к формированию биопленок на своей поверхности. При воздушной контаминации на отпечатке ПЭЭК колоний микроорганизмов не выявлено, на поверхности контрольного образца выявлено $1,3 \pm 0,4$ КОЕ. На смыве ПЭЭК выявлено $16,6 \pm 2,8$ КОЕ против $60,2 \pm 8,6$ КОЕ на смыве образца сравнения, что составляет 26,3% от контрольного количества колоний на чашке Петри. **Заключение.** Полимерный материал ПЭЭК обладает устойчивостью к обсеменению культурами клеток *Staphylococcus aureus* в сравнении с контрольным полимерным материалом.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, биопленкообразование, антибактериальные свойства, *Staphylococcus aureus*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Туркина А.Ю., Щелкова В.В., Макеева И.М., Янова Н.А., Плишкина А.А., Ярцева А.В., Аймалетдинова З.Т., Леонов Д.С., Васильев Ю.Л. Исследование антибактериальных свойств полиэфирэфиркетона в отношении *Staphylococcus aureus* in vitro. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 27 (2): 46—51. DOI: 10.37988/1811-153X_2024_2_46

[A.Yu. Turkina](#)¹

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Therapeutic dentistry Department, deputy director of the Institute of Dentistry

[V.V. Shelkova](#)²

researcher at the Biomedical research Laboratory

[I.M. Makeeva](#)¹

PhD in Medical Sciences, full professor of the Therapeutic dentistry Department

[N.A. Yanova](#)³

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Clinical dentistry Department

Antibacterial properties of polyetheretherketone against *Staphylococcus aureus* in vitro

Abstract. Polyetheretherketone (PEEK) is one of the promising structural materials in dentistry. Given the high risk of colonization of prostheses by opportunistic microflora, an assessment of biofilm formation on the surface of the material is necessary. The purpose of the study is to assess the biofilm formation of *S. aureus* on the surface of PEEK, as well as to assess the antibacterial properties of the material during air contamination. **Materials and methods.** To form biofilms, a suspension of microorganisms in broth with a concentration of $1.5 \cdot 10^8$ CFU/ml was used with an exposure of 24 hours; biofilm formation was determined with a photocolorimeter (540 nm). For airborne contamination, samples were placed in a nonsterile room for 1 hour, then imprinted onto

[A.A. Plishkina](#)³,

PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Clinical dentistry Department

[A.V. Yartseva](#)⁴

PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Pain management in dentistry
Department

[Z.T. Aymaletdinova](#)⁵

assistant at the Dentistry diseases
propaedeutics Department

[D.S. Leonov](#)¹

assistant at the Operative surgery and
topographic anatomy Department

[Yu.L. Vasil'ev](#)¹

PhD in Medical Sciences, full professor
of the Operative surgery and topographic
anatomy Department

¹ Sechenov University,
119991, Moscow, Russia

² Moscow Regional Research Clinical
Institute (MONIKI), 129110, Moscow,
Russia

³ Lobachevsky University,
603022, Nizhny Novgorod, Russia

⁴ Russian University of Medicine,
127006, Moscow, Russia

⁵ RUDN University, 117198, Moscow, Russia

agar, washed, and plated on sterile agar medium. The thermoplastic polymer with a linear structure, polystyrene, was chosen as a material for comparison. **Results.** The ability to form biofilms was assessed with OD control = 0.47 and OD test sample = 0.19. PEEK samples, in comparison with control samples, demonstrate an inability to form biofilms on their surface. In case of air contamination, no colonies of microorganisms were detected on the PEEK print; 1.3 ± 0.4 CFU were detected on the surface of the control sample. 16.6 ± 2.8 CFU were detected in the PEEK washout versus 60.2 ± 8.6 CFU in the washout of the comparison sample, which is 26.3% of the control number of colonies on the Petri dish. **Conclusion.** The PEEK polymer material is resistant to contamination by *S. aureus* cell cultures in comparison with the control polymer material.

Key words: polyetheretherketone, biofilm formation, antibacterial properties, *Staphylococcus aureus*

FOR CITATION:

Turkina A.Yu., Shelkova V.V., Makeeva I.M., Yanova N.A., Plishkina A.A., Yartseva A.V., Aymaletdinova Z.T., Leonov D.S., Vasil'ev Yu.L. Antibacterial properties of polyetheretherketone against *Staphylococcus aureus* in vitro. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 27 (2): 46—51 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2024_2_46

ВВЕДЕНИЕ

Полимеры остаются одним из основных конструкционных материалов в стоматологии. Полимерные материалы широко используются для изготовления съемных протезов, временных искусственных коронок, ортодонтических аппаратов, а также условно-съемных протезов с опорой на имплантаты. В настоящее время наряду с метакрилатами в стоматологическую практику вошли материалы с улучшенными свойствами. Одним из современных медицинских конструкционных материалов является полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), характеризующийся высокой биосовместимостью и оптимальными механическими свойствами [1]. Благодаря устойчивости в агрессивной среде полости рта ПЭЭК может использоваться в разных областях стоматологии [2], но наиболее перспективными направлениями использования ПЭЭК считаются имплантология и съемное протезирование [3, 4].

Одной из самых значимых проблем, связанных с использованием полимеров, является рост биопленки на поверхности протеза, что, в свою очередь, приводит к развитию хронической воспалительной реакции в окружающих мягких тканях [5]. Стоит отметить, что наряду с грибковой флорой в развитии протезного стоматита играет роль бактериальная флора, в частности золотистый стафилококк — *Staphylococcus aureus* [6]. Так, по данным Ваена-Монроу и соавт., *S. aureus* был

выявлен у 84% пациентов с протезным стоматитом [7]. Кроме того, стоит отметить, что в полости рта достаточно часто выявляются штаммы *S. aureus*, устойчивые к антибактериальным препаратам [8]; это является значимым фактором риска распространения инфекции на другие органы и системы организма, а также инфицирования врачей и пациентов стоматологических клиник [9]. Особенно высок риск развития оппортунистических инфекций в полости рта у пациентов с сахарным диабетом и артериальной гипертензией на фоне снижения иммунитета и после приема антибактериальных препаратов [7, 10, 11].

Адгезия микроорганизмов к поверхности протеза зависит от свойств конструкционного материала и метода изготовления. Ключевые характеристики поверхности, влияющие на адгезию микроорганизмов, — это шероховатость поверхности (до 0,2 мкм) и свободная поверхностная энергия (оптимально — до 40 МДж/м²) [12]. Наименьшая шероховатость поверхности определяется при изготовлении протезов методом фрезеровки из заводских дисков, наибольшая — при изготовлении протезов методом 3D-печати [13]. Образцы из ПЭЭК характеризуются несколько большей шероховатостью поверхности по сравнению с образцами из метакрилата, изготовленными аналогичным способом [14]. По данным S. Hahnel и соавт., свободная поверхностная энергия образцов из ПЭЭК составила 42,19 МДж/м², что оказалось значимо выше, чем у образцов из диоксида

циркония и сопоставимо с показателями образцов из титана и метакрилата [15]. При этом скорость формирования биопленки на поверхности образцов из ПЭЭК была сопоставима с другими материалами для изготовления абатментов. Также ПЭЭК продемонстрировал устойчивость к адгезии *Streptococcus oralis* [16]. Д.А. Николенко и соавт. (2018) в рамках микробиологического исследования выявили умеренную адгезию *S. sanguinis*, *P. intermedia* и *C. albicans* и высокую адгезию *P. gingivalis* и *C. krusei* к неполированным образцам ПЭЭК. В отношении полированных образцов наблюдали умеренную адгезию грибов рода *Candida* и пародонтопатогенного штамма *P. intermedia* и высокую адгезию *S. sanguinis* и *P. gingivalis* [17].

Сегодня очевидно, что полимеры являются активными игроками рынка медицинских изделий, однако физико-химические и биологические свойства материалов, таких, как, например, полистирола, оказываются уязвимы при оценке адгезии патогенов [18, 19]. Несмотря на очевидные преимущества покрытий из полистирола [20] сохраняется актуальность поиска оптимального материала, который в условиях общего снижения резистентности будет не только удобен в изготовлении, но и конкурентоспособен в экономическом плане.

Цель исследования — оценка биопленкообразования золотистого стафилококка на поверхности полиэфирэфиркетона, а также оценка антибактериальных свойств материала при воздушной контаминации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

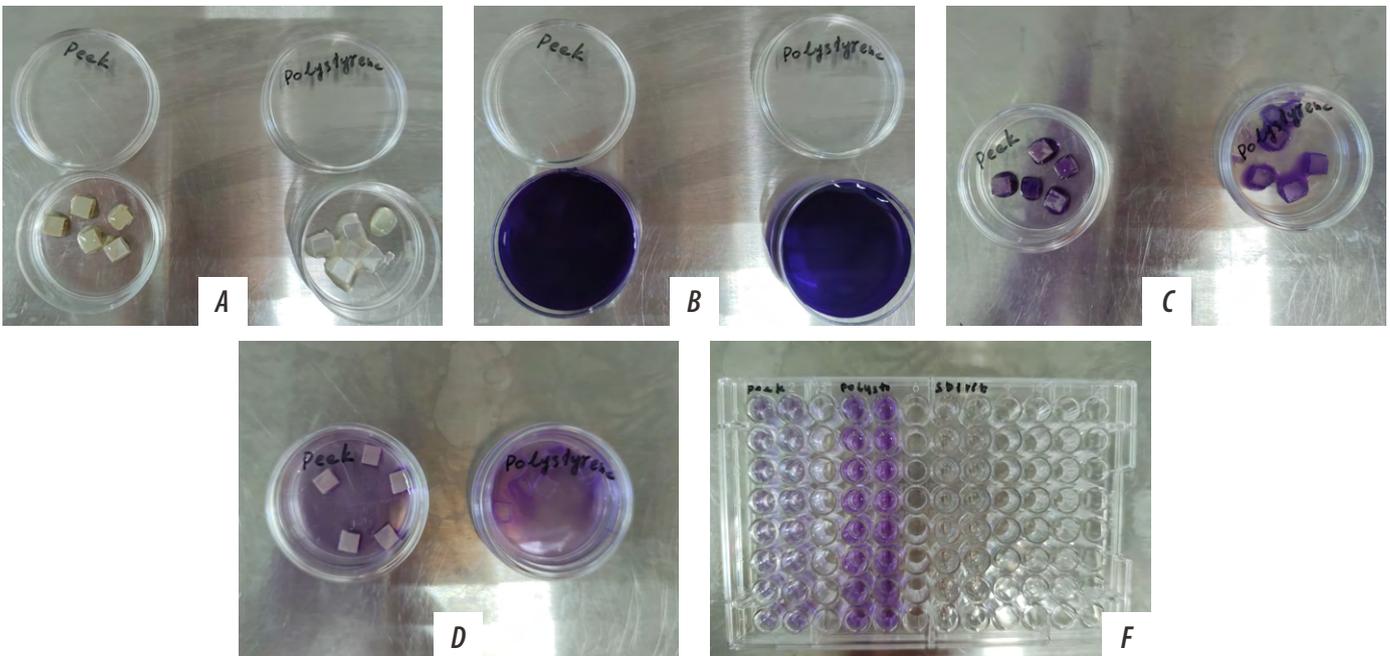
В экспериментальном исследовании оценивали биопленкообразование на поверхности образцов из модифицированного ПЭЭК (АТЕКО, Россия), напечатанных на 3D-принтере. В качестве материала для сравнения выбрали наиболее распространенный в медицине термопластичный полимер линейной структуры — полистирол (ПС).

Культуру *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 проращивали на плотной агаризованной селективно-дифференциальной среде — желточно-солевом агаре для выделения стафилококков (BioMedia, Россия). Растворы для инокуляции и среды формирования биопленок выполняли на бульоне Мюллера—Хинтон (ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии, Россия).

Для формирования биопленок инкубировали взвесь *S. aureus* в полистироловых чашках Петри при температуре 37°C в течение 24 часов. Использовали взвесь микроорганизмов в бульоне Мюллера—Хинтон со стандартной концентрацией $1,5 \cdot 10^8$ КОЕ/мл.

Фотографическая выборка этапов исследования способности к формированию биопленок образцов полимеров ПЭЭК и ПС представлена на рисунке.

Алгоритм работы: образцы ПС и ПЭЭК поместили в предварительно заполненные суспензией микроорганизмов (20 мл) чашки на 24 часа. По прошествии необходимого времени образцы перенесли в отдельные



Фотографическая выборка этапов исследования способности к формированию биопленок образцов полимеров ПЭЭК и ПС: А — удаление образцов полимеров из планктонной культуры после экспозиции в бактериальной суспензии; В — окрашивание образцов полимеров в 0,1%-ном водном растворе метиленового синего; С — промывание образцов биополимеров от несвязанного красителя; D — экстракция красителя 96%-ным раствором этанола; F — аликвотирование экстрагированного этанолом красителя в лунки микропланшета для определения плотности образованной биопленки

Photographic selection of the stages of studying the ability of PEEK and PS polymer samples to form biofilms: A — removal of polymer samples from a planktonic culture after exposure to a bacterial suspension; B — staining of polymer samples in 0.1% aqueous solution of methylene blue; C — washing biopolymer samples from unbound dye; D — dye extraction with 96% ethanol solution; F — aliquoting the ethanol-extracted dye into the wells of a microplate to determine the density of the formed biofilm

чашки Петри, в которые добавили по 2 мл 0,1%-ного водного раствора генцианвиолета на 45 минут. После образцы были трехкратно промывали фосфатным буфером, а экстракцию оставшегося красителя провели 96%-ным этиловым спиртом в течение 45 минут.

Далее для выполнения иммуноферментного анализа с помощью фотоэлектроколориметра при длине волны 540 нм экстрагированный краситель перенесли в лунки микропланшета в объеме 200 мкл на лунку.

Критерием отрицательного контроля считали измерение оптической плотности 96%-ного этилового спирта. Положительный контроль — оптическая плотность ПС.

Для *S. aureus* высчитывали средний показатель и величину стандартного отклонения оптической плотности (OD) лунок положительного контроля (формирование биопленок на ПС) как исходную точку.

Оптимальное выражение контрольного значения и установления исходного уровня, повышение которого интерпретировали как формирование биопленки, устанавливали по формуле:

$$OD_k = X_{\text{ср}} \cdot OD_{\text{контроля}} + 3SD_{\text{контроля}},$$

где $X_{\text{ср}}$ — OD контроля, среднее арифметическое значение оптической плотности, измеренной для контрольных лунок; OD_k = OD негативного контроля $\pm 3SD$; SD — стандартное отклонение контроля, умноженное на 3, так как использование трех стандартных отклонений позволяет охватить 99,7% всех вариантов и максимально точно оценить дисперсию.

Таблица 1. Интерпретация результатов измерения оптической плотности

Table 1. Interpretation of optical density measurements

Значение оптической плотности	Накопление основного вещества биопленки	Образование биомассы биопленки
$\leq OD_k$	Отсутствует	Отсутствует
$OD_k < ODo \leq 2OD_k$	Низкая	Низкая
$2OD_k < ODo \leq 4OD_k$	Умеренная	Умеренная
$4OD_k$	Выраженная	Выраженная

Исследование бактерицидных свойств поверхности ПЭЭК при воздушной контаминации

Образцы стерилизовали в 6%-ной перекиси водорода в течение 6 часов. Для воздушной контаминации исследуемые образцы ПЭЭК и ПС помещали в нестерильную комнату на 1 час. Исследование проводили в трех повторях. В качестве контроля контаминации рядом с образцами помещали открытую чашку Петри со стерильной агаризованной средой Мюллера—Хинтон.

Образцы отпечатывали на агар Мюллера—Хинтон и инкубировали в течение 48 часов в термостате при температуре 37°C. Затем проводили подсчет колониеобразующих единиц (КОЕ).

По истечении 1 часа образцы промывали 10 мл стерильного физраствора и высевали по 1 мл инокулята

на стерильные чашки Петри со стерильной агаризованной средой LB. Чашки Петри инкубировали в течение 48 часов в термостате при температуре 37°C. Затем проводили подсчет колониеобразующих единиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Был проведен расчет оценки способности к биопленкообразованию при OD контроля (OD_k) = 0,47 и OD опытного образца (OD_o) = 0,19. Образцы ПЭЭК в сравнении с ПС демонстрируют неспособность к формированию биопленок на своей поверхности.

В результате анализа контаминации бактерий в нестерильных условиях в течение 1 часа выявили (табл. 2):

- В контрольной чашке Петри вырастает $63,2 \pm 15,5$ КОЕ через 48 часов.
- На отпечатке ПЭЭК колоний микроорганизмов нет против $1,3 \pm 0,4$ КОЕ на отпечатке ПС.
- На смыве с ПЭЭК вырастает $16,6 \pm 2,8$ КОЕ против $60,2 \pm 8,6$ КОЕ на смыве с ПС, что составляет 26,3% от контрольного количества колоний в чашке Петри.

Таким образом, в результате исследования свойств поверхности образцов при воздушной контаминации выявили, что ПЭЭК устойчивее к обсеменению микроорганизмами, чем образец ПС в случае прямой адгезии (отпечаток) на 100%, методом смыва — на 68,7%.

Таблица 2. Средние значения КОЕ после 48 часов инкубации на отпечатках и смывах

Table 2. Average CFU values after 48 hours of incubation on prints and washes

Повтор	На отпечатке		В смыве		В чашке Петри (контроль)
	ПЭЭК	ПС	ПЭЭК	ПС	
1	—	11	12	64	56
2	—	7	16	45	85
3	—	7	19	58	74
4	—	9	17	63	49
5	—	13	19	71	52
Среднее	—	$1,3 \pm 0,5$	$16,6 \pm 2,8$	$60,2 \pm 8,6$	$63,2 \pm 15,5$

ОБСУЖДЕНИЕ

Учитывая высокий риск развития оппортунистических инфекций у пациентов пожилого возраста, одна из задач стоматологического материаловедения — это разработка конструкционных материалов, устойчивых к микробной и грибковой колонизации [21].

Результаты проведенного нами микробиологического исследования показали высокую устойчивость ПЭЭК к колонизации *S. aureus*.

По данным литературы, по антибактериальным свойствам ПЭЭК не уступает другим материалам, используемым для изготовления съемных протезов и абатментов. L. Almogbel и соавт. (2023) показали, что адгезия микроорганизмов к поверхности ПЭЭК и метилметакрилата существенно не отличается [22].

Аналогичные результаты были получены S. Hahnel и соавт., изучавших адгезию микроорганизмов к материалам, используемым для изготовления абатментов [15]. A. Shmultzler и соавт. (2023) *in vivo* изучали адгезию респираторных патогенов и грибов рода *Candida* к протезам, изготовленным из полиметилметакрилата и ПЭЭК, и установили высокую адгезию микроорганизмов к протезам из полиметилметакрилата, изготовленным традиционным способом, тогда как между фрезерованными протезами из метакрилата и ПЭЭК статистически значимого различия не было [23].

С другой стороны, по сравнению с титаном ПЭЭК больше подвержен формированию микробной биопленки. Так, по данным da Rocha и соавт. (2022), биопленка, содержащая *C. albicans* и *S. aureus*, быстрее формируется на образцах из ПЭЭК по сравнению с образцами из титана [24]. Похожие результаты были получены и S. Sarfraz и соавт. (2022): ПЭЭК характеризуется большей адгезией *S. aureus*, *S. mutans* и *E. faecalis* по сравнению с титаном, однако меньшей адгезией *E. coli* [25].

Учитывая оптимальные механические свойства и высокую биосовместимость, ПЭЭК остается одной из перспективных альтернатив титана в имплантологии. Поэтому ведутся исследования, направленные на повышение его антибактериальной активности [26]. Современные технологии позволяют вводить в состав ПЭЭК антибактериальные компоненты, что обеспечивает высокую эффективность полученных материалов в отношении метициллин-устойчивых штаммов *S. aureus* [27–29]. По данным C. Liu и соавт. (2023), устойчивой

антибактериальной активности немодифицированного ПЭЭК можно достичь путем воздействия излучением ближней ультрафиолетовой области (365 нм) [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полиэфирэфиркетон обладает устойчивостью к обсеменению клетками *S. aureus* в сравнении с полистиролом. Показатели формирования бактериальных пленок (биопленок) на поверхности образцов демонстрирует неспособность ПЭЭК к удержанию биопленки на своей поверхности в сравнении с полистиролом.

После воздушного обсеменения образцов ПЭЭК в течение 1 часа исследование обсемененности методом отпечатков дало отрицательный результат. При этом на полистироле колонии выросли.

Смывы с поверхности ПЭЭК после воздушного обсеменения выявили меньшее количество выросших колоний в сравнении с полистиролом. Количество колоний со смывов ПЭЭК составило 26,5% от количества колоний контрольной чашки Петри и против 95% смывов с образцов полистирола.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 27.02.2024 **Принята в печать:** 12.06.2024

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.
Received: 27.02.2024 **Accepted:** 12.06.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Panayotov I.V., Orti V., Cuisinier F., Yachouh J. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. — *J Mater Sci Mater Med.* — 2016; 27 (7): 118. [PMID: 27259708](#)
2. Alexakou E., Damanaki M., Zoidis P., Bakiri E., Mouzis N., Smidt G., Kourtis S. PEEK high performance polymers: A review of properties and clinical applications in prosthodontics and restorative dentistry. — *Eur J Prosthodont Restor Dent.* — 2019; 27 (3): 113–121. [PMID: 31433133](#)
3. Montaña-Machado V., Chevallier P., Bonilla-Gameros L., Copes F., Quarta C., Kú-Herrera J.J., Soriano F., Padilla-Gainza V., Morales G., Mantovani D. Development of multifunctional materials based on poly (ether ether ketone) with Improved biological performances for dental applications. — *Materials (Basel).* — 2021; 14 (4): 1047. [PMID: 33672249](#)
4. Parate K.P., Naranje N., Vishnani R., Paul P. Polyetheretherketone material in dentistry. — *Cureus.* — 2023; 15 (10): e46485. [PMID: 37927628](#)
5. Mohd Farid D.A., Zahari N.A.H., Said Z., Ghazali M.I.M., Hao Ern L., Mohamad Zol S., Aldhuwayhi S., Alauddin M.S. Modification of polymer based dentures on biological properties: Current update, status, and findings. — *Int J Mol Sci.* — 2022; 23 (18): 10426. [PMID: 36142344](#)
6. Garbacz K., Kwapisz E., Wierzbowska M. Denture stomatitis associated with small-colony variants of *Staphylococcus aureus*: a case report. — *BMC Oral Health.* — 2019; 19 (1): 219. [PMID: 31604449](#)
7. Baena-Monroy T., Moreno-Maldonado V., Franco-Martínez F., Aldape-Barríos B., Quindós G., Sánchez-Vargas L.O. *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus mutans* colonization in patients wearing dental prosthesis. — *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* — 2005; 10 Suppl1: E27–39. [PMID: 15800465](#)
8. Kwapisz E., Garbacz K., Kosecka-Strojek M., Schubert J., Bania J., Międzobrodzki J. Presence of EGC-positive major clones ST 45, 30 and 22 among methicillin-resistant and methicillin-susceptible oral *Staphylococcus aureus* strains. — *Sci Rep.* — 2020; 10 (1): 18889. [PMID: 33144661](#)
9. Roberts M.C., Soge O.O., Horst J.A., Ly K.A., Milgrom P. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from dental school clinic surfaces and students. — *Am J Infect Control.* — 2011; 39 (8): 628–632. [PMID: 21962840](#)
10. Marchi-Alves L.M., Freitas D., de Andrade D., de Godoy S., Toneti A.N., Mendes I.A.C. Characterization of oral microbiota in removable dental prosthesis users: Influence of arterial hypertension. — *Biomed Res Int.* — 2017; 2017: 3838640. [PMID: 28713826](#)

11. D'Ambrosio F, Santella B, Di Palo M.P, Giordano F, Lo Giudice R. Characterization of the oral microbiome in wearers of fixed and removable implant or non-implant-supported prostheses in healthy and pathological oral conditions: A narrative review. — *Microorganisms*. — 2023; 11 (4): 1041. [PMID: 37110463](#)
12. Le Bars P, Kouadio A.A., Amouriq Y, Bodic F, Blery P, Bandiaky O.N. Different polymers for the base of removable dentures? Part II: A narrative review of the dynamics of microbial plaque formation on dentures. — *Polymers (Basel)*. — 2023; 16 (1): 40. [PMID: 38201705](#)
13. Alfouzan A.F., Tuwaym M., Aldaghri E.N., Alojaymi T., Alotia-bi H.M., Taweel S.M.A., Al-Otaibi H.N., Ali R., Alshehri H., Labban N. Efficacy of denture cleansers on microbial adherence and surface topography of conventional and CAD/CAM-processed denture base resins. — *Polymers (Basel)*. — 2023; 15 (2): 460. [PMID: 36679340](#)
14. Vulović S., Todorović A., Stančić I., Popovac A., Stašić J.N., Vencl A., Milić-Lemić A. Study on the surface properties of different commercially available CAD/CAM materials for implant-supported restorations. — *J Esthet Restor Dent*. — 2022; 34 (7): 1132—1141. [PMID: 35997320](#)
15. Hahnel S., Wieser A., Lang R., Rosentritt M. Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials. — *Clin Oral Implants Res*. — 2015; 26 (11): 1297—301. [PMID: 25060652](#)
16. D'Ercole S., Cellini L., Pilato S., Di Lodovico S., Iezzi G., Piattelli A., Petrini M. Material characterization and Streptococcus oralis adhesion on Polyetheretherketone (PEEK) and titanium surfaces used in implantology. — *J Mater Sci Mater Med*. — 2020; 31 (10): 84. [PMID: 32989624](#)
17. Николенко Д.А., Утюж А.С., Царев В.Н., Юмашев А.В., Волчкова И.Р. Адгезия представителей патогенной микрофлоры полости рта к полиэфирэфиркетону и другим материалам для изготовления временных коронок в эксперименте in vitro. — *Клиническая стоматология*. — 2018; 2 (86): 74—77. [Nikolenko D.A., Utyuzh A.S., Tsarev V.N., Yumashev A.V., Volchkova I.R. Oral cavity pathogenic microflora specimens in vitro adhesion to the polyetheretherketone and other materials for the temporary crowns. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2018; 2 (86): 74—77 (In Russian)]. [eLibrary ID: 35154636](#)
18. Лось Д.М., Шаповалов В.М., Зотов С.В. Применение полимерных материалов для изделий медицинского назначения. — *Проблемы здоровья и экологии*. — 2020; 2 (64): 5—13. [Los' D.M., Shapovalov V.M., Zotov S.V. The use of polymer materials for medical applications. — *Health and Ecology Issues*. — 2020; 2 (64): 5—13 (In Russian)]. [eLibrary ID: 43154676](#)
19. Higashihira S., Simpson S.J., Morita A., Suryavanshi J.R., Arnold C.J., Natoli R.M., Greenfield E.M. Halicin remains active against Staphylococcus aureus in biofilms grown on orthopaedically relevant substrates. — *Bone Joint Res*. — 2024; 13 (3): 101—109. [PMID: 38432258](#)
20. Le K.C.M., Tran A.T.Q., Vu M.P., Duong P.V.Q., Nguyen K.T. Preventing static biofilm formation of Staphylococcus aureus on different types of surfaces using microbubbles. — *Langmuir*. — 2024; 40 (3): 1698—1706. [PMID: 38198688](#)
21. Brum R.S., Labes L.G., Volpato C.Â.M., Benfatti C.A.M., Pimenta A.L. Strategies to reduce biofilm formation in PEEK materials applied to implant dentistry — A comprehensive review. — *Antibiotics (Basel)*. — 2020; 9 (9): 609. [PMID: 32948018](#)
22. Almogbel L., Sadid-Zadeh R., Örgöv A., Çakmak G., Li R. Flexural strength, surface roughness, and biofilm formation of ceramic-reinforced PEEK: An in vitro comparative study. — *J Prosthodont*. — 2023; 2023 Dec 6. (Online ahead of print). [PMID: 38057961](#)
23. Schmutzler A., Stingu C.S., Günther E., Lang R., Fuchs F., Koenig A., Rauch A., Hahnel S. Attachment of respiratory pathogens and candida to denture base materials — A pilot study. — *J Clin Med*. — 2023; 12 (19): 6127. [PMID: 37834772](#)
24. da Rocha L.G.D.O., Ribeiro V.S.T., de Andrade A.P., Gonçalves G.A., Kraft L., Cieslinski J., Suss P.H., Tuon F.F. Evaluation of Staphylococcus aureus and Candida albicans biofilms adherence to PEEK and titanium-alloy prosthetic spine devices. — *Eur J Orthop Surg Traumatol*. — 2022; 32 (5): 981—989. [PMID: 34236512](#)
25. Sarfraz S., Mäntynen P.H., Laurila M., Rossi S., Leikola J., Kaakinen M., Suojanen J., Reunanen J. Comparison of titanium and PEEK medical plastic implant materials for their bacterial biofilm formation properties. — *Polymers (Basel)*. — 2022; 14 (18): 3862. [PMID: 36146003](#)
26. Wang Y., Zhang S., Nie B., Qu X., Yue B. Approaches to biofunctionalize polyetheretherketone for antibacterial: A review. — *Front Bioeng Biotechnol*. — 2022; 10: 895288. [PMID: 35646862](#)
27. Chen T., Chen Q., Fu H., Wang D., Gao Y., Zhang M., Liu H. Construction and performance evaluation of a sustained release implant material polyetheretherketone with antibacterial properties. — *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. — 2021; 126: 112109. [PMID: 34082931](#)
28. Bai X., Zhang X., Xiao J., Lin X., Lin R., Zhang R., Deng X., Zhang M., Wei W., Lan B., Weng S., Chen M. Endowing polyetheretherketone with anti-infection and immunomodulatory properties through guanidination carbon dots modification to promote osseointegration in diabetes with MRSA infection. — *Adv Healthc Mater*. — 2024; 13 (7): e2302873. [PMID: 38041688](#)
29. Kumar S.R., Hu C.C., Vi T.T.T., Chen D.W., Lue S.J. Antimicrobial peptide conjugated on graphene oxide-containing sulfonated polyetheretherketone substrate for effective antibacterial activities against Staphylococcus aureus. — *Antibiotics (Basel)*. — 2023; 12 (9): 1407. [PMID: 37760704](#)
30. Liu C., Huang Z., Zhu J., Liu X., Zhu B., Zheng D., Yang B., Tao R., Cai C., Chen X., Liu J., Deng Z. Near-ultraviolet irradiation to stimulate unmodified polyether ether ketone to achieve stable and sustainable antibacterial activity. — *Colloids Surf B Biointerfaces*. — 2023; 229: 113441. [PMID: 37422990](#)