



<https://doi.org/10.34883/PI.2023.7.4.007>



Панахов Н.А. ✉, Ниязова Г.А., Алиев Р.Н.

Азербайджанский медицинский университет, Баку, Азербайджан

Особенности механических свойств дентальных акриловых съемных протезов после обогащения наночастицами серебра

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Панахов Н.А. – концепция и редактирование статьи; Ниязова Г.А. – лечение пациентов и написание текста; Алиев Р.Н. – статистический анализ, составление таблицы.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Подана: 21.11.2023

Принята: 24.11.2023

Контакты: dr_panahov@mail.ru

Резюме

Цель. Оценить влияние наночастиц серебра (AgNps), включенных в стоматологические акриловые смолы по антимикробным причинам, на механические свойства акриловых смол.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 120 пациентов с полной и частичной адентией, средний возраст – $61,6 \pm 3,51$ года. Пациенты были распределены на 3 группы: I группа – 40 пациентов, которым были изготовлены съемные акриловые протезы с добавлением 0,03 мас.% нанокристаллического серебра; II группа – 40 пациентов, которым были изготовлены съемные акриловые протезы с 0,2% веса AgNps к 5 г полимерного порошка термоотверждаемой акриловой смолы; III группа – 40 пациентов с традиционными съемными пластиночными акриловыми протезами. Применены протезы, изготовленные на основе акриловой пластмассы Фторакс, нанокристаллическое серебро равномерно распределяли. Исследовали прочность на изгиб, микротвердость поверхности и модуль Юнга.

Результаты. Между тестируемыми и контрольной группами, а также между тестируемыми группами статистически значимая разница не выявлена ($p > 0,05$). Величина прочности на изгибе в I группе с добавлением 0,03 мас.% AgNps к акриловой смоле имела тенденцию к снижению, во II группе была практически сопоставимой с показателем группы контроля. Схожее различие отмечалось и в отношении микротвердости поверхности. Все тестируемые группы имели значения модуля Юнга, сравнимые с контрольной группой ($p > 0,05$).

Заключение. Включение AgNps в полиметилметакрилат значительно не влияло на механические свойства материала. Целесообразны дальнейшие исследования для решения проблем биосовместимости материалов основы зубных протезов, модифицированных наночастицами серебра.

Ключевые слова: акриловые съемные протезы, наночастицы серебра, прочность на изгиб, микротвердость поверхности, модуль Юнга

Panakhov N. ✉, Niyazova G., Aliev R.
Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

Features of the Mechanical Properties of Dental Acrylic Removable Prostheses after Enrichment by Silver Nanoparticles

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Panakhov N. – concept and editing of the article; Niyazova G. – treating patients and writing text; Aliev R. – statistical analysis, table compilation.

Funding. The study was conducted without sponsorship.

Submitted: 21.11.2023

Accepted: 24.11.2023

Contacts: dr_panahov@mail.ru

Abstract

Purpose. Evaluating the effect of silver nanoparticles (AgNps) included in dental acrylic resins for antimicrobial reasons on the mechanical properties of acrylic resins.

Materials and methods. The study involved 120 patients with complete and partial adentia, mean age 61.6 ± 3.51 years. The patients were divided into 3 groups: Group I – 40 patients who received removable acrylic dentures with the addition of 0.03 wt% nanocrystalline silver; Group II – 40 patients who received removable acrylic dentures with 0.2% of AgNps weight to 5 g of polymer powder of thermosetting acrylic resin; Group III – 40 patients with traditional removable plate acrylic dentures. Dentures made on the basis of Ftorax acrylic plastic were used, nanocrystalline silver was evenly distributed. Bending strength, surface microhardness and Young's modulus were investigated.

Results. There was no statistically significant difference between the test groups and the control group, as well as between the test groups ($p > 0.05$). The value of flexural strength in group I with the addition of 0.03 wt% AgNps to acrylic resin tended to decrease, in group II it was practically comparable with that of the control group. A similar difference was noted with respect to the surface microhardness. All test groups had Young's modulus values comparable to the control group ($p > 0.05$).

Conclusion. The inclusion of AgNps in polymethyl methacrylate did not significantly affect the mechanical properties of the material. Further research is advisable to solve the problems of biocompatibility of materials of the base of dentures modified with silver nanoparticles.

Keywords: acrylic removable dentures, silver nanoparticles, bending strength, surface microhardness, Young's modulus

■ ВВЕДЕНИЕ

Акриловые смолы остаются предпочтительными материалами для съемных составных и частичных протезов из-за их благоприятных характеристик, таких как адекватная прочность, хорошая теплопроводность, малый вес, приемлемая эстетика, невысокая стоимость, простота ремонта и перетяжки [1, 2]. Эпидемиологические исследования показывают, что примерно 70% пациентов со съемными протезами



страдают стоматитом [2]. Зубной стоматит и другие инфекции рта можно эффективно лечить с помощью противомикробного агента, такого как полимер на основе наночастиц серебра (AgNps) [3]. В последние годы все больше внимания уделяется включению AgNps в полимеры, используемые в качестве кондиционеров тканей и в качестве основы зубных протезов, а также для обеспечения антибактериальных свойств. Наночастицы могут придавать некоторые механические свойства стоматологическим материалам [4]. Соответственно, добавление AgNps к акриловым смолам может влиять на их механические характеристики.

Таким образом, AgNps были добавлены в полиметилметакрилат из-за их антимикробных свойств, но их влияние на его механические свойства недостаточно изучено.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить влияние AgNps, включенных в стоматологические акриловые смолы по антимикробным причинам, на механические свойства акриловых смол.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 120 пациентов с полной и частичной адентией. Возраст пациентов колебался в диапазоне от 39 до 67 лет, средний возраст составил $61,6 \pm 3,51$ года. Из них мужчин было 54 (45,0%), женщин – 66 (55,0%). Пациенты выразили согласие в письменной форме на участие в исследовании. При проведении исследования соблюдены принципы Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Критериями включения были: пациенты с частичным или полным съемным стоматологическим протезом на верхней и/или нижней челюсти; съемные акриловые стоматологические протезы. Критерии исключения: пациенты, которые не могли точно описать свои жалобы; пациенты с заболеваниями слизистой оболочки рта и тяжелым сопутствующим соматическим заболеванием. У 67 (55,8%) пациентов зубы полностью отсутствовали, у 18 (15,0%) – зубы полностью отсутствовали на верхней и частично на нижней челюсти, у 16 (13,3%) – зубов не было частично на верхней челюсти и полностью на нижней челюсти и у 19 (15,8%) – частично на верхней и нижней челюсти.

Пациенты были распределены на 3 равные группы: I группа – 40 пациентов, которым были изготовлены съемные акриловые протезы с добавлением 0,03 мас.% нанокристаллического серебра; II группа – 40 пациентов, которым были изготовлены съемные акриловые протезы с 0,2% веса AgNps к 5 г полимерного порошка термоотверждаемой акриловой смолы; III группа – 40 пациентов с традиционными съемными пластиночными акриловыми протезами. Для ортопедического лечения были применены протезы, изготовленные на основе акриловой пластмассы Фторакс (АО «СТОМА», Украина). Нанокристаллическое серебро равномерно распределяли [5, 6].

При изготовлении акриловых протезов после снятия первичного и вторичного слепков фиксировалось соотношение челюстей. Лицевая дуга (AB Dentatus, Стокгольм) использовалась для установки верхней челюсти и центрической межжюкционной записи для нижней челюсти. Произведена установка искусственных зубов, восковая модель и примерка. Дозированный полимер акриловой смолы, модифицированный термоотверждаемой AgNps (для протезов группы I и II), и немодифицированный термоотверждаемый полимер на основе акриловой смолы (для протезов

III группы) смешивали с мономером в соответствии с рекомендациями производителя и упаковывали в формы на стадии теста. Протезы полимеризовали на бане с горячей водой при 74 °C в течение 9 часов. После обработки колбу охлаждали на стенде не менее 2 часов. После снятия маски и повторного монтажа в лаборатории протезы из акриловой смолы были отполированы.

Прочность на изгиб образцов определяли с помощью устройства для испытания на 3-точечный изгиб в универсальной испытательной машине (модель LRX-plus; Lloyd Instruments Ltd., Fareham, UK) с датчиком нагрузки 5 кН, и данные были записаны с использованием компьютерного программного обеспечения (Nexugen-MT; Lloyd Instruments). Устройство состояло из загрузочного клина и пары регулируемых опорных клиньев, расположенных на расстоянии 50 мм друг от друга. Образцы центрировали на устройстве таким образом, чтобы нагружающий клин, настроенный для перемещения со скоростью ползуна 5 мм/мин, входил в центр верхней поверхности образцов. Образцы нагружали до разрушения. По кривой «напряжение – деформация» можно рассчитать изгибную прочность (FS) и модуль Юнга (E).

Наклон линейного участка кривой напряжения – деформации, выраженный как отношение напряжения/деформация представляли величиной E. Расчет FS (МПа), а также E (ГПа) проводили по формулам [5]:

$$FS = 3F(L) / 2wh^2,$$

$$E = L3/4 wh^3 (P/Y),$$

где F – максимальная нагрузка в точке разрушения (Н), L – пролет (мм), w – ширина образца (мм), h – его высота (мм), а P/Y – наклон линейной части кривой «напряжение – деформация» в упругой части.

Микротвердость поверхности определяли по Виккерсу. Образцы были изготовлены в формах, полученных путем паковки штампов из нержавеющей стали (12 мм × 12 мм × 3 мм) в силиконовый каучук, дополнительно поддерживаемых стоматологическим камнем внутри ложки [6].

Соотношение жидкость/порошок в полимерном тесте смешивали после добавления AgNps, затем помещали в формы и упаковывали. Образцы были полимеризованы с использованием длительного цикла полимеризации с последующим кипячением в течение 30 минут. После полимеризации образцы визуально проверяли на наличие гладкой поверхности без пустот и пористости. Образцы были вручную влажно отполированы круговыми движениями с использованием бумаги из карбида кремния с зернистостью 600, 800, 1000 и 1200. Каждый образец промывали между абразивной бумагой разного размера с использованием ультразвуковой ванны. Таким образом, для испытания на твердость было приготовлено 120 образцов (по 40 на каждую группу). Для определения значений Виккерса к образцам прикладывали нагрузку 30 г на 30 секунд с помощью цифрового твердомера (Otto Wolpert, Werke, Ludwigshafen, Германия). На каждом образце делали три углубления (одно в центре и два на границе), для каждой группы рассчитывали среднее значение.

Статистический анализ выполнен с помощью компьютерной программы Statistical Package for Social Science (SPSS) (SPSS 16.0, Inc., Чикаго, США). Односторонний дисперсионный анализ ANOVA использовался для определения наличия значительных различий между средними значениями тестируемых групп. Для определения различий между группами использовался критерий Стьюдента (t-критерий).

Величины механических свойств образцов из акриловой смолы с включением AgNps
Values of mechanical properties of samples made of acrylic resin with inclusion of AgNps

Показатели	I группа	II группа	III группа	t-критерий	p
Прочность на изгиб (МПа)	79,53±19,88	90,77±9,85	91,82±8,14	t1-0,57 t2-0,08 t3-0,51	p1=0,569 p2=0,935 p3=0,614
Микротвердость поверхности, HV	22,80±1,01	23,68±1,71	23,47±1,66	t1-0,34 t2-0,09 t3-0,44	p1=0,731 p2=0,930 p3=0,659
Модуль Юнга (ГПа)	3,48±1,04	3,40±0,58	3,38±0,55	t1-0,08 t2-0,03 t3-0,07	p1=0,932 p2=0,980 p3=0,947

Примечания: t1, p1 – статистическое различие между показателями I и III групп; t2, p2 – статистическое различие между показателями II и III групп; t3, p3 – статистическое различие между показателями I и II групп (p>0,05).

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Приступая к настоящему исследованию, мы придерживались следующей гипотезы: введение AgNps в акриловую смолу может повлиять на ее механические свойства.

Значения среднего и стандартного отклонения для прочности на изгиб, микротвердости поверхности и модуля Юнга представлены в таблице.

Из представленной таблицы следует, что между средними значениями прочности на изгиб, микротвердости поверхности и модуля Юнга значительных различий в образцах исследуемых групп не наблюдалось. Анализ показал отсутствие статистически значимой разницы (p>0,05) между тестируемыми и контрольной группами. Также не было достоверной разницы (p>0,05) между тестируемыми группами. В то же время величина прочности на изгибе в I группе с добавлением 0,03 мас.% AgNps к акриловой смоле имела тенденцию к снижению, а во II группе была практически сопоставимой с показателем группы контроля. Однако снижение, наблюдаемое в I группе, не было статистически значимым (p>0,05). Схожее различие отмечалось и в отношении микротвердости поверхности. Все тестируемые группы имели значения модуля Юнга, сравнимые с контрольной группой, без статистически значимой разницы между ними (p>0,05).

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты настоящего исследования показали, что добавление AgNps незначительно изменяет механические свойства акриловой смолы (в некоторой степени в зависимости от добавленного количества AgNps). При низкой концентрации (0,03%) AgNps наблюдалось незначительное снижение значений прочности на изгиб акриловой смолы. Однако существенных изменений в величинах микротвердости поверхности и модуля Юнга акриловой смолы не наблюдалось. Вероятно, при низкой концентрации дисперсия частиц и химические взаимодействия между полиметилметакрилатом и AgNps низкие, что приводит к снижению прочности на изгиб. Можно полагать, что при концентрации 0,03% AgNps будет действовать как примесь, которая способствует снижению механической прочности композитов. Наши результаты согласуются с данными литературы [7, 8]. По данным P. Oyar et al. [8], включение AgNps влияет на прочность изгиба полиметилметакрилата в зависимости от концентрации

наночастиц. Авторы считают, что добавление в полиметилметакрилат наночастиц большого размера увеличивает его прочность на изгиб, соответственно, добавление AgNps в надлежащих концентрациях к полиметилметакрилату может улучшить механические свойства основ зубных протезов, используемых в клинической практике. По мнению A. Köroğlu et al. [9], включение AgNps, обычно используемых для противомикробной эффективности, влияет на поперечную прочность акриловых смол для протезов в зависимости от концентрации наночастиц. Включение 0,8 и 1,6 мас.% AgNps снижает прочность на изгиб и модуль упругости акриловой смолы, полимеризованной в микроволновой печи, но не оказывает влияния на тестовую группу с 0,3 мас.% AgNps. R.K. Alla et al. [10] отмечают, что включение AgNps снижает прочность на изгиб основных материалов протезов. Поскольку эти наночастицы обладают хорошими антибактериальными и противогрибковыми характеристиками, при более низких концентрациях они могут быть включены в материалы основы зубных протезов. При более высоких концентрациях AgNps придают черный цвет основаниям протезов.

Нужно отметить, что прочность на изгиб является важным свойством стоматологических смол, поскольку основная причина перелома протеза в полости рта связана с напряжением, вызванным многократным приложением усилий жевательного средства, которые вызывают большее количество изгибающих движений. Ряд исследователей сообщали об улучшении полимеров основы зубных протезов путем усиления различных материалов, таких как оксиды металлов, металлические упрочнители, углеродные/графитовые волокна, арамидные волокна, сверхвысокомолекулярное полиэтиленовое волокно и стекловолокно [11, 12]. Размер и распределение частиц наполнителя в полимерной матрице, прочная адгезия на границе раздела и степень отверждения играют важную роль в механических свойствах полимерных композитов с наполнителем из частиц. T. Korkmaz et al. [13] предположили, что размер частиц наполнителя должен быть небольшим для правильной обработки. Средний размер частиц гранул полиметилметакрилата, используемых в коммерчески доступных смолах для зубных протезов, составляет около 100 мкм [14]. Степень диспергирования частиц в матрице является важным фактором, влияющим на прочностные свойства. Очевидно, что с большой площадью поверхности наночастиц в полиметилметакрилат/AgNps приложенное напряжение будет легко трансформироваться с матрицы на AgNps, что приведет к улучшению механических свойств. Кроме того, совместимость полимерной матрицы и наночастиц улучшается за счет образования более благоприятных полярных взаимодействий между C=O группами цепей полиметилметакрилата и AgNps [15], возможно увеличение механической прочности. Кроме того, степень отверждения является другим фактором, влияющим на механические свойства. Низкая степень обычно связана с худшими механическими свойствами [16]. Большее количество непрореагировавшего мономера может действовать как пластификатор и ухудшать механические свойства. Результаты исследования R.K. Alla et al. [10] показывают, что добавление AgNps изменяет прочность на изгиб полиметилметакрилата в зависимости от количества используемых AgNps. Согласно ISO 20795-1: 2008 (ISO, 2008), прочность на изгиб полимерных материалов должна быть не менее 50 МПа. В исследовании R.K. Alla et al. [10] все немодифицированные (контрольные) образцы показали большую прочность на изгиб, чем модифицированные образцы. Из этого исследования можно предположить, что полярные



взаимодействия между наночастицами и C=O полимерной матрицы (слабые взаимодействия) адекватны при низких концентрациях, что приводит к повышению прочности на изгиб. Это связано с тем, что наночастицы металла могут связываться с молекулами полимера, сшивая их между собой и тем самым увеличивая псевдокристалличность полимера и формируя упорядоченную систему. Однако увеличение концентрации наночастиц в полимере снижает хемосорбционное взаимодействие металлической наночастицы с полимером, что приводит к неупорядоченной структуре нанокompозита и снижает механическую прочность [17]. При более высоких концентрациях наночастицы могут также действовать как примеси полимеризации, вызывающие снижение степени отверждения. Следовательно, большее количество непрореагировавшего мономера может оставаться в матрице, что приводит к снижению прочности на изгиб [18].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение AgNps в полиметилметакрилат значительно не влияло на механические свойства материала. Целесообразны дальнейшие исследования для решения проблем биосовместимости материалов основы зубных протезов, модифицированных наночастицами серебра.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ghaffari T., Hamedirad F. Effect of Silver Nano-particles on Tensile Strength of Acrylic Resins. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 2015;9(1):40–43. DOI: 10.15171/jodddd.2015.008
2. Li Z., Sun J., Lan J., Qi Q. Effect of a denture base acrylic resin containing silver nanoparticles on *Candida albicans* adhesion and biofilm formation. *Gerodontology*, 2016;33:209–216. DOI: 10.1111/ger.12142
3. Jani G.H., Mohialdeen H.K., Alheeti O.A.R. Antibacterial and Mechanical Performance of Nano Selenium Reinforced Acrylic Denture base. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 2021;15(1):320–324.
4. Bangera M.K., Kotian R., Madhyastha P. Effects of silver nanoparticle-based antimicrobial formulations on the properties of denture polymer: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2021. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.05.011
5. International Organization for Standardization. Specification 20795-1: Denture Base Polymers, 2nd ed. Geneva, Switzerland, 2013; pp. 1–35.
6. Machado A., Breeding L., Vergan C., da Cruz Perez L. Hardness and surface roughness of relined and denture base acrylic resins after repeated disinfection procedures. *J Prosthet Dent*, 2009;102:115–122. DOI: 10.1016/S0022-3913(09)60120-7
7. Abdallah R.M., Emera R.M.K., Gebreil A.Sh. Antimicrobial activity of silver nanoparticles and their effect on acrylic resin mechanical properties. *Egyptian Dental Journal*, 2015;61(1):1039–1052.
8. Oyar P., Sana F.A., Durkan R. Comparison of mechanical properties of heat-polymerized acrylic resin with silver nanoparticles added at different concentrations and sizes. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018;135(6):45807 (6 p.). DOI: 10.1002/app.45807
9. Köroğlu A., Sahin O., Kürkcüoğlu I., Dede D.Ö., Özdemir T., Hazer B. Silver nanoparticle incorporation effect on mechanical and thermal properties of denture base acrylic resins. *Journal of Applied Oral Science*, 2016;24(6):590–596. DOI: 10.1590/1678-775720160185
10. Alla R.K., Raghavendra Swamy K.N., Vyas R., Konakanchi A. Influence of Silver Nanoparticles Incorporation on Flexural Strength of Heat-cure Acrylic Denture Base Resin Materials. *Annual Research & Review in Biology*, 2017;17(4):1–8. DOI: 10.9734/ARRB/2017/36581
11. Petrikas O.A., Trapeznikov D.V., Zmeeva E.A. The laboratory study of the flexural strength of reinforced bis-acrylic material for provisional fixed restorations. *Actual problems in dentistry (Russia)*, 2018;14(4):121–125. (in Russian). DOI: 10.18481/2077-7566-2018-14-4-121-125
12. Alla R.K., Sajjan S., Alluri V.R., Giniupalli K., Upadhy N. Influence of fibre reinforcement on the properties of denture base resins. *J Biomater. Nanobiotech*, 2013;4(1):91–7. DOI: 10.4236/jbmb.2013.41012
13. Korkmaz T., Doğan A., Usanmaz A. Dynamic mechanical analysis of provisional resin materials reinforced by metal oxides. *Biomed Mater Eng*, 2005;15:179–88.
14. McCabe J.F., Walls A.W.G. *Denture base polymers, in applied dental materials*. 9th Edition, Blackwell Publishing Ltd, UK, 2008;119–132.
15. Makavandi P., Nikfarjam N., Sanjani N.S., Qazvini N.T. Effect of silver nanoparticle on the properties of polymethyl methacrylate) nanocomposite network made by in situ photoiniferter-mediated photopolymerization. *Bull mater Sci*, 2015;38(6):1625–1630. DOI: 10.1007/s12034-015-0959-z
16. Yu Zhang, Yin-Yan Chen, Li Huang, Zhi-Guo Chai, Li-Juan Shen, Yu-Hong Xiao. The antifungal effects and mechanical properties of silver bromide/cationic polymer nanocomposite-modified poly-methyl methacrylate-based dental resin. *Scientific Reports*, 2017;7(1):1547. DOI: 10.1038/s41598-017-01686-4
17. Muzalev P.A., Kosobudskii I.D., Ushakov N.M., Panova L.G. Metal nanoparticles in acrylic polymer matrices. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2011;2(5):528–530. DOI: 10.1134/s2075113311050261
18. Sodagar A., Kassaei M.Z., Javadi A.K.N., Arab S., Kharazifard M.J. Effect of silver nanoparticles on flexural strength of acrylic resins. *J Prosthodontic Res*, 2012;56:120–124. DOI: 10.1016/j.jpor.2011.06.002