Protet Stomatol, 2023; 73(4): 350-358
DOI: 10.5114/ps/177085

Wpływ dodatku nanosrebra na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego stosowanego do wykonywania protez dentystycznych

Influence of nanosilver addition on the mechanical properties of acrylic material used for the manufacture of dental prostheses

Katarzyna Strzelecka[1], Agata Szczesio-Włodarczyk[2], Karolina Kopacz[3], Zofia Magdalena Kula[1]

[1] **Zakład Technik Dentystycznych, Uniwersytet Medyczny w Łodzi**
Department of Dental Technology, Medical University of Lodz, Polska
Kierownik: prof. dr hab. inż. *Leszek Klimek*

[2] **Uczelniane Laboratorium Badań Materiałowych, Uniwersytet Medyczny w Łodzi**
Materials Science University Lab, Medical University of Lodz, Polska
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Jerzy Sokołowski*

[3] **Uczelniane Laboratorium Ruchu i Wydolności Fizycznej Człowieka, Uniwersytet Medyczny w Łodzi**
"Dynamo Lab" Academic Laboratory of Movement and Human Physical Performance, Medical University of Lodz
Kierownik: dr n. med. *Gianluca Padula*

HASŁA INDEKSOWE:
nanosrebro, żywica akrylowa, proteza akrylowa

KEY WORDS:
nanosilver, acrylic resin, acrylic denture

Streszczenie

Wprowadzenie. *Tworzywo akrylowe jest materiałem powszechnie stosowanym w stomatologii, jednak wykonywane z jego użyciem uzupełnienia w znacznym stopniu zasiedlane są przez bakterie czy grzyby. Wspomniane mikroorganizmy są główną przyczyną stanów zapalnych jamy ustnej. Tworzywa akrylowe od co najmniej dekady są modyfikowane dodatkiem nanosrebra, które wykazuje silne działanie przeciwbakteryjne. Prowadzone są badania, które pozwolą na określenie odpowiedniego stężenia nanosrebra, które nie obniży właściwości mechanicznych tworzywa akrylowego*

Cel pracy. *Celem niniejszej pracy była ocena wpływu dodatku nanosrebra na wybrane właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego.*

Materiał i metody. *Do badań wykorzystano*

Summary

Introduction. *Acrylic resin is a material commonly used in dentistry, but acrylic restorations are largely colonized by bacteria or fungi. These microorganisms are the main cause of oral inflammations. For almost a decade, acrylic resins have been modified with the addition of nanosilver, which has a strong antibacterial effect. Research is being undertaken to determine the appropriate concentration of nanosilver that will not reduce the mechanical properties of acrylic resin.*

Aim of the study. *To assess the effect of nanosilver on selected mechanical properties of acrylic material*

Material and methods. *Vertex Rapid Simplified acrylic thermosetting material was used for the tests. In each of the tests, the samples were divided*

tworzywo akrylowe termoutwardzalne Vertex Rapid Simplified. W każdym z badań próbki podzielono na 5 grup, kontrolną oraz 4 badawcze poddane modyfikacji nanocząstkami srebra firmy Sigma–Aldrich w stężeniach wagowych: 0,01%, 0,05%, 0,3% i 0,6%. Badano twardość, udarność, wytrzymałość na zginanie oraz wytrzymałość na ściskanie. Do analizy statystycznej w przypadku rozkładu zgodnego z rozkładem normalnym zastosowano test F Welcha z testem post–hoc Scheffe. W przypadku braku zgodności z rozkładem normalnym zastosowano test Kruskalla–Wallisa.

Wyniki. *Wyniki uzyskane z pomiarów udarności z karbem wskazują na znaczną poprawę udarności wszystkich 4 grup próbek po dodaniu do nich nanosrebra, dodatkowo analiza statystyczna wskazała na różnice istotne statystycznie. Najwyższą udarność równą 0,63 J/cm^2 zaobserwowano dla próbek z 0,3% wag. nanosrebra.*

Wnioski. *Nanosrebro w zastosowanych stężeniach nie wykazuje negatywnego wpływu na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego i może być wykorzystywane w wykonawstwie protez stomatologicznych ze względu na swoje bakteriobójcze i grzybobójcze działanie.*

into five groups, a control and four study groups, modified with silver nanoparticles from Sigma-Aldrich in weight concentrations of 0.01%, 0.05%, 0.3% and 0.6%. Hardness, impact strength, bending strength and compressive strength were tested. The Welch F test with the Scheffe post-hoc test was used for statistical analysis in the case of a distribution consistent with the normal distribution. In the case of inconsistency with normal distribution, the Kruskall–Wallis test was applied.

Results. *The results obtained from the notched impact strength measurements indicate a significant improvement in the impact strength in all four groups of samples after addition of nanosilver. Additionally, statistical analysis revealed statistically significant differences. The highest impact strength of 0.63 J/cm^2 was observed for samples with 0.3 wt. nanosilver.*

Conclusions. *Nanosilver in the tested concentrations does not have a negative effect on the mechanical properties of acrylic material and can be used in the manufacture of dental prostheses due to its bactericidal and fungicidal effect.*

Wstęp

Tworzywa akrylowe tworzą szeroką gamę materiałów powszechnie stosowanych w stomatologii. Jednak szczególne miejsce wśród nich zajmuje poli(metakrylan metylu) – PMMA, który już od lat czterdziestych XX wieku stanowi podstawowy materiał wykorzystywany do produkcji płyt protez.[1,2] Poli(metakrylan metylu) jest to polimer, który powstaje na skutek polimeryzacji metakrylanu metylu. Metakrylan metylu to łatwopalny płyn o charakterystycznym słodkim zapachu i temperaturze wrzenia równej 100°C.[3] Prawidłowo utwardzony PMMA – poli(metakrylan metylu) wykazuje bardzo korzystną cechę jaką jest łatwość jego barwienia, przez co zapewnia poprawne efekty estetyczne, dość dobrze odwzorowując kolor i strukturę naturalnych tkanek jamy ustnej. Ciężar właściwy w przypadku tworzywa akrylowego jest na tyle niski, by zapewniać lepszą adaptację pacjenta do protezy niż w przypadku uzupełnień ceramicznych czy metalowych.[2] Mimo wymienionych zalet materiały akrylowe są narażone na kolonizację przez patogeny obecne w jamie ustnej, takie jak bakterie czy grzyby. Wspomniane mikroorganizmy są główną przyczyną różnego rodzaju infekcji czy drożdżakowego zapalenia jamy ustnej wywołanego grzybem z rodzaju Candida. W ostatnich dekadach dostrzega się ogromne zainteresowanie nanocząstkami, jednak uwaga badaczy w dużej mierze skupiona jest na nanocząstkach srebra, które posiadają szereg specyficznych właściwości.[4] Te które uznać można za najistotniejsze to właściwości

antybakteryjne, wirusobójcze oraz grzybobójcze. Jednak srebro w zbyt dużych stężeniach może wywoływać różnego rodzaju skutki niepożądane (działanie toksyczne, niekorzystna zmiana właściwości tworzywa akrylowego). Dzięki nadzwyczajnie małemu rozmiarowi, a co za tym idzie dużej powierzchni w stosunku do objętości, nanosrebro wykazuje szczególnie wysokie działanie przeciwdrobnoustrojowe nawet w bardzo małych stężeniach. Daje to możliwość uniknięcia efektów ubocznych i od jakiegoś czasu modyfikuje się nim tworzywo akrylowe.[5,6] Aby zahamować namnażanie się bakterii, takich jak: *Streptococcus mutans*, *Escherichia coli* czy *Staphylococcus aureus* do żywic akrylowych dodaje się nanocząstki srebra. Ponieważ srebro wykazuje także działanie przeciwgrzybicze, jego dodatek mógłby zapobiec adhezji jednego z głównym patogenów obecnych na podłożu protezy czyli *Candida albicans*. Za pomocą nanosrebra możliwa jest również poprawa właściwości mechanicznych tworzywa akrylowego, to jest zwiększenie modułu sprężystości, wytrzymałości na zginanie, ściskanie czy też zwiększenie przewodnictwa cieplnego.[4,7]

Cel pracy

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu dodatku nanosrebra na mechaniczne właściwości tworzywa akrylowego.

Materiały i metody

Do badań wykorzystano tworzywo akrylowe termoutwardzalne Vertex Rapid Simplified (Vertex-Dental B.V, Holandia) z którego wykonano próbki. Próbki modyfikowano za pomocą nanosrebra firmy Sigma – Aldrich (Stany Zjednoczone) w formie nanoproszku, o cząstkach wielkości <100 nm oraz PVP – poli(winylopirolidonie) w roli środka dyspergującego.

Próbki wykonano metodą puszkowania uprzednio tworząc ich woskowe pierwowzory. Przygotowano puszki polimeryzacyjne, następnie materiał akrylowy sporządzono przez odmierzenie zalecanej przez producenta (stosunek wagowy 1 ml : 2,3 g) ilości monomeru (płynu) i polimeru (proszku) Vertex Rapid Simplified. Odważono również odpowiednią ilość nanosrebra, które dodano do naczynia z odmierzonym wcześniej monomerem i zmieszano przy użyciu myjki ultradźwiękowej Easy Clean firmy Renfert w czasie 5 min i przy częstotliwości równej 50/60 Hz w celu zminimalizowania aglomeracji nanosrebra. Uzyskane ciasto akrylowe wprowadzono do puszek polimeryzacyjnych, które poddano prasowaniu pod ciśnieniem 2,5 bara w ciągu 20 minut. Następnie przeprowadzona została trwająca 60 minut polimeryzacja termiczna w kąpieli wodnej w temperaturze 100°C. Otrzymane próbki przy użyciu frezów oczyszczono z gipsu, a także poddano obróbce, która miała za zadanie pozbycie się nadmiaru materiału akrylowego.

Łącznie do badań przygotowano 100 próbek z tworzywa akrylowego, które podzielone zostały na 5 grup po 20 próbek. Grupa kontrolna nie zawierała dodatku nanosrebra, natomiast 4 grupy badane wzbogacone zostały o następujące jego ilości: 0,01% nanoAg, 0,05% nanoAg, 0,3% nanoAg, 0,6% nanoAg.

Badano wpływ nanosrebra na twardość, udarność, wytrzymałość na zginanie oraz wytrzymałość na ściskanie.

Badanie twardości

Pomiaru twardości metodą Vickers'a dokonano przy użyciu twardościomierza półautomatycznego Zwick/Roell ZHVμ (Zwick Roell, Niemcy) w oparciu o normę PN-EN ISO 6507-1. Obciążenie wgłębnika wynosiło 9,8065 N. Wykonano dla każdej z grup badawczych 5 pomiarów na 3 losowo wybranych próbkach do badania udarności. Twardość została obliczona na podstawie wzoru:

$$HV = \frac{0{,}189F}{d^2}$$

gdzie:

F – statyczne obciążenie [N]

d – średnia arytmetyczna dwóch przekątnych odcisku o wartościach d_1 i d_2 [mm]

Badanie udarności

Badanie udarności przeprowadzone zostało metodą Dynstat w oparciu o normę PN-C-89028:1968 przy użyciu urządzenia Zwick/Roell HIT5.5P (Zwick Roell, Niemcy) z młotem 1J. Dla każdej z badanych grup przeprowadzono pomiary udarności dla próbek bez karbu (n=5) oraz próbek z karbem (n=5). Próbki miały kształt prostopadłościanu o wymiarach 20 mm x 10 mm x 5 mm, próbki z karbem posiadały nacięcie w kształcie „V". Udarność została obliczona na podstawie wzoru:

$$a_n = \frac{E}{S} = [\frac{J}{cm^2}]$$

gdzie:

E – energia przy której próbka uległa zniszczeniu [J]

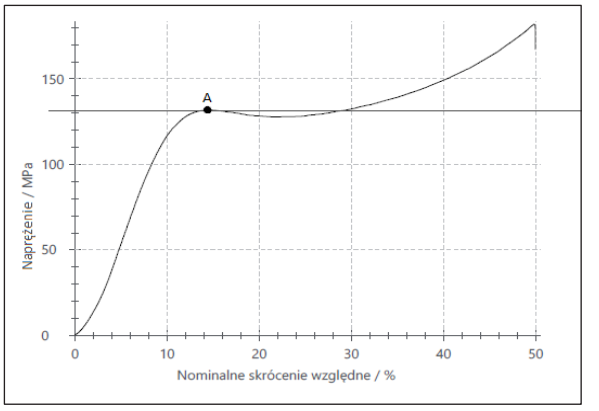
S – pole przekroju poprzecznego próbki [cm]

Badanie wytrzymałości na zginanie

Pomiar wytrzymałości na zginanie przeprowadzono korzystając z testu trójpunktowego zginania na podstawie normy PN-EN ISO 4049. Badanie przeprowadzono używając uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z020 (Zwick Roell, Niemcy) przy naprężeniu wstępnym równym 1 MPa i prędkości przesuwu trawersy 1 mm/min. Dla każdej z grup badawczych wykonano 5 pomiarów na próbkach prostopadłościennych o wymiarach 25 mm x 2 mm x 2 mm. Raport uzyskany z maszyny wytrzymałościowej pozwolił na odczytanie wyników badania.

Badanie wytrzymałości na ściskanie

Pomiar wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN ISO 604:2006. Badanie przeprowadzono używając uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z020 przy naprężeniu wstępnym równym 0,1 MPa oraz przesuwie trawersy równej 1 mm/min. Badanie dla każdej z grup przeprowadzono na pięciu próbkach w kształcie walca o wymiarach 6 mm x 6 mm. Ze względu na plastyczność próbek badanie zostało przeprowadzone do momentu osiągnięcia 50% odkształcenia próbki. Wykorzystując otrzymane wykresy odkształcenia od naprężenia (ryc. 1) wyznaczono wartość naprężenia osiągniętego w punkcie górnej granicy plastyczności (na wykresie punkt A), które były określane jako wytrzymałość na ściskanie.



Ryc. 1. Wykres zależności odkształcenia od naprężenia uzyskany w trakcie badania wytrzymałości na ściskanie (opracowanie własne).

Analiza statystyczna

Dla wszystkich badanych grup obliczono średnie arytmetyczne oraz odchylenie standardowe. Analiza statystyczna została przeprowadzona przy użyciu oprogramowania Statistica ver. 13. (Statsoft, Polska). Z wykorzystaniem testu Schapiro-Wilka przeprowadzono analizę rozkładu zmiennych. W przypadku rozkładu zgodnego z rozkładem normalnym

zastosowano test F Welcha z testem post – hoc Scheffe. W przypadku braku zgodności z rozkładem normalnym zastosowano test Kruskalla – Wallisa. Przyjęto poziom istotności p-value < 0,05.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonego badania twardości Vickers'a (ryc. 2) oraz otrzymanych w jego rezultacie wyników można stwierdzić, że najwyższą twardością równą 21HV charakteryzują się próbki z dodatkiem 0,3% nanosrebra. Natomiast najmniejszą twardość równą 19HV uzyskały próbki z dodatkiem 0,6% nanosrebra. Dodatek 0,01% oraz 0,05% nanosrebra nieznacznie zmniejszył twardość próbek w stosunku do grupy kontrolnej.

Na podstawie testu Kruskala-Wallisa nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami w przypadku pomiaru twardości (p-value = 0,0923).

Na podstawie uzyskanych wyników (ryc. 3) można stwierdzić, że najwyższą udarnością bez karbu równą 0,85 J/cm^2 wykazały się próbki wzbogacone o 0,05% nanosrebra. Najniższą udarność równą 0,61 J/cm^2 zarejestrowano dla próbek z dodatkiem 0,3% nanosrebra. Jeśli chodzi o udarność z karbem najwyższą wartość równą 0,63 J/cm^2 osiągnięto dla próbek z dodatkiem 0,3% nanosrebra, zaś najniższą i równą 0,29 J/cm^2 dla próbek bez dodatku nanosrebra. Dla wszystkich stężeń udarność znacznie przewyższała nad udarnością grupy kontrolnej, analiza statystyczna potwierdziła, iż różnice te były istotne statystycznie.

Na podstawie testu Kruskala-Wallisa nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami w przypadku udarności bez karbu (p-value = 0,2119).

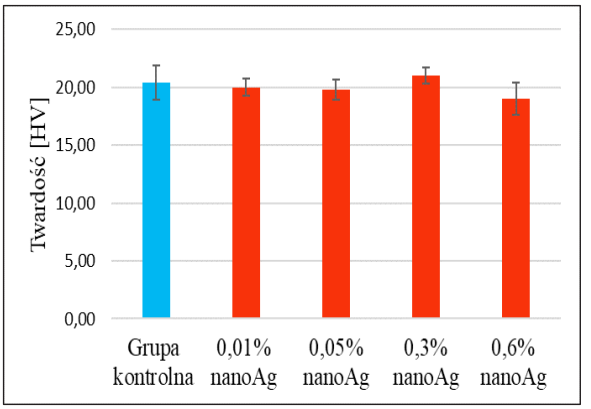
Na podstawie testu F Welcha wykazano istotną statystycznie różnice w przypadku udarności z karbem między poszczególnymi grupami (p-value =0,0000). Na podstawie testu Scheffego, różnice wykazano między:

a – grupą kontrolną a grupą z 0,01% nanosrebra (p-value = 0,0004). Mniejsze wartości uzyskano dla grupy kontrolnej.

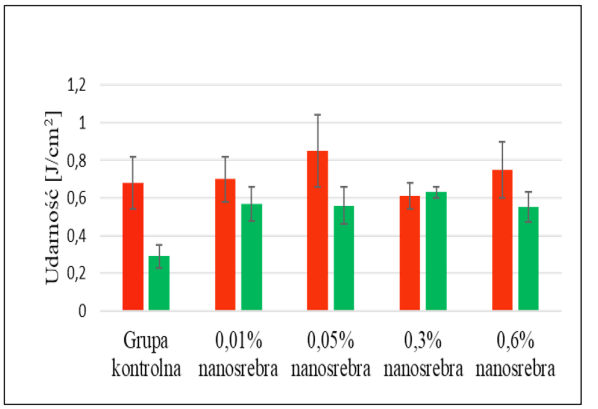
b – grupą kontrolną a grupą z 0,05% nanosrebra (p-value = 0,0007). Mniejsze wartości uzyskano dla grupy kontrolnej.

c – grupą kontrolną a grupą z 0,3% nanosrebra (p-value = 0,0000). Mniejsze wartości uzyskano dla grupy kontrolnej.

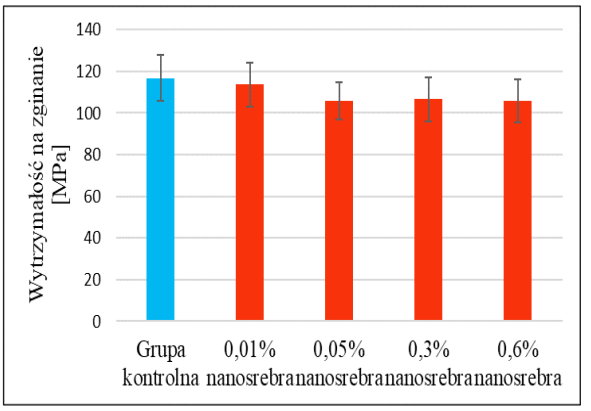
d – grupą kontrolną a grupą z 0,6% nanosrebra (p-value = 0,0011). Mniejsze wartości uzyskano dla grupy kontrolnej.



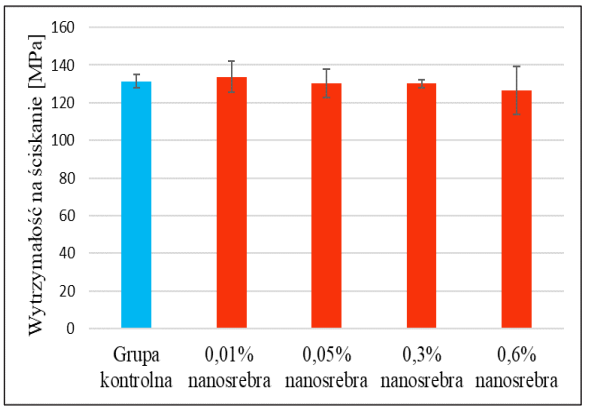
Ryc. 2. Twardość Vickers'a (HV, średnia ± odchylenie standardowe) materiału akrylowego modyfikowanego nanocząstkami srebra.



Ryc. 3. Udarność bez karbu oraz z karbem (średnia ± odchylenie standardowe) materiału akrylowego modyfikowanego nanocząstkami srebra.



Ryc. 4. Wytrzymałość na trójpunktowe zginanie (średnia ± odchylenie standardowe) materiału akrylowego modyfikowanego nanocząstkami srebra.



Ryc. 5. Wytrzymałość na ściskanie (średnia ± odchylenie standardowe) materiału akrylowego modyfikowanego nanocząstkami srebra.

Na podstawie wyników uzyskanych z badania wytrzymałości na trójpunktowe zginanie (ryc. 4) można stwierdzić, że najwyższą wartość równą 116,8 MPa odnotowano dla grupy bez dodatku nanosrebra, najniższą zaś wartość wytrzymałości na zginanie równą 105,8 MPa posiadała grupa z 0,6% nanosrebra. Wszystkie badane grupy odznaczały się niższą wytrzymałością na zginanie w stosunku do grupy kontrolnej.

Na podstawie testu F Welcha nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami w przypadku wytrzymałości na trójpunktowe zginanie (p-value = 0,4467).

Wyniki uzyskane w rezultacie badań wytrzymałości na ściskanie (ryc. 5) pozwalają stwierdzić, że najwyższą wartość równą 133,8 MPa odnotowano dla próbek z dodatkiem 0,01% nanosrebra, najniższą (126,6 MPa) posiadała grupa z 0,6% nanosrebra.

Na podstawie testu F Welcha nie wykazano istotnych statystycznie różnic między grupami w przypadku wytrzymałości na ściskanie (p--value=0.8369). Dodatkowo na podstawie testu Kruskala-Wallisa również nie wykazano istotnych statystycznie różnic między badanymi grupami (p-value = 0,8369).

Dyskusja

Wyniki przeprowadzonego pomiaru twardości Vickers'a wskazują na najwyższą twardość próbek z dodatkiem 0,3% wag. nanosrebra (21HV). Dla każdej z grup badawczych twardość tylko w niewielkim stopniu różniła się od twardości dla próbek kontrolnych. Niewielkie różnice mogą wynikać z dokładności wymieszania ciasta akrylowego, czy ułożenia próbek w puszce polimeryzacyjnej, co mogło wpłynąć na stopień polimeryzacji. Wpływ dodatku nanosrebra na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego zbadali również *Pudzianowski* i wsp., ich badania wskazują jednak na wyraźny spadek twardości próbek po dodaniu do nich nanosrebra.[8] Stężenia zastosowane przez *Pudzianowskiego* i wsp. okazały się kilkukrotnie niższe niż w przeprowadzonych w pracy badaniach, ponadto nanosrebro mieszane było z tworzywem akrylowym w inny sposób.[8] Według *Alla* i wsp. twardość jest wprost proporcjonalna do stężenia wprowadzonego nanosrebra.[9] Również zdaniem *Vojdaniego* i wsp. twardość polimerów podnosi się wraz ze wzrostem stężenia cząstek napełniacza.[10] Niektóre badania donoszą, że starzenie ułatwia osiągnięcie większego stopnia polimeryzacji, przez

T a b e l a 1. Udarność względna materiału akrylowego modyfikowanego nanocząstkami srebra

KZ [%]	Grupa kontrolna	0,01% nanosrebra	0,05% nanosrebra	0,3% nanosrebra	0,6% nanosrebra
	42%	81%	66%	102%	73%

co prowadzi do wzrostu twardości materiałów na płyty protez modyfikowanych nanocząstkami.[11] W badaniu *Alla* i wsp. próbki przechowywane były przez 7 dni w wodzie destylowanej o temperaturze 37°C, co symulować miało warunki jamy ustnej i prowadziło do starzenia materiału.[9]

Wyniki uzyskane z pomiarów udarności z karbem wskazują na znaczną poprawę udarności próbek po dodaniu do nich nanosrebra, dodatkowo analiza statystyczna wskazała na różnice istotne statystycznie (p-value=0.0000). Dla wszystkich grup badawczych wyniki były zbliżone i oscylowały między 0,55 J/cm^2 a 0,63 J/cm^2, co świadczy o tym, że każde z zastosowanych stężeń w podobnym stopniu wpływało na udarność tworzywa akrylowego. Zgodnie z *Köroğlu* i wsp. tworzywo akrylowe modyfikowane nanocząstkami srebra wykazuje nieznacznie niższą udarność w stosunku do grupy kontrolnej. Zwrócono jednak uwagę na brak negatywnego wpływu tak niskich stężeń nanosrebra na właściwości mechaniczne żywic akrylowych. Dodatkowo możliwość zastosowania niewielkich ilości nanocząstek ogranicza ryzyko wystąpienia niekorzystnych efektów estetycznych oraz obniża koszty produkcji protez przy zachowaniu działania antybakteryjnego nanosrebra.[12] Jeśli chodzi o udarność bez karbu wartości uzyskane po modyfikacji próbek nanosrebrem były zbliżone do wartości charakteryzujących grupę kontrolną. Najwyższą udarność równą 0,85 J/cm^2 odnotowano przy stężeniu 0,05%, najniższą natomiast w przypadku grupy z 0,3% wag. nanosrebra, przy czym była to jedyna grupa, u której zaobserwowano obniżenie się udarności. *Oyar* i wsp. także zbadali wpływ dodatku nanosrebra na udarność tworzywa akrylowego, gdzie również nanosrebro poprawiło udarność próbek, chociaż w nieco mniejszym stopniu. Jednak w tym badaniu tak, jak i w niniejszej pracy w przypadku dodatku 0,05% wag. nanosrebra otrzymano najwyższą udarność, co może potwierdzać słuszność wyboru tego właśnie stężenia. Co więcej, przy większych stężeniach nanosrebra (0,2%) zaobserwowano spadek udarności. *Oyar* i wsp. tłumaczą to faktem, iż wysokie stężenia nanocząstek tworzą aglomeraty, które niekorzystnie wpływają na właściwości materiału, działają one bowiem jak wada materiału tworząca miejsce koncentracji naprężeń.[13] Potwierdza to w swoich badaniach również *Ranj* i wsp., gdzie dodatek 5% nanosrebra obniżył udarność tworzywa akrylowego aż o 41% w stosunku do grupy kontrolnej.[14] Biorąc pod uwagę wysokie wartości udarności względnych (tab. 1), można przypuszczać, że pomimo występowania wad w materiale zasymulowanych występowaniem karbu, materiały modyfikowane nanosrebrem posiadają zbliżone wartości wytrzymałości na dynamiczne uderzenie.

Wyniki uzyskane na podstawie badania wytrzymałości na trójpunktowe zginanie wykazały nieznaczny spadek wytrzymałości na zginanie po zastosowaniu nanosrebra. Nie wykazano jednak różnic istotnych statystycznie (p-value=0.4467). Najwyższą wytrzymałość spośród grup badawczych osiągnięto dla próbek z dodatkiem 0,01% nanosrebra (113,6 MPa) i był to nieznaczny spadek w stosunku do grupy kontrolnej (116,8 MPa). *Juraszek* i wsp. swoich badaniach potwierdzają, że dodatek 0,01% nanosrebra powoduje jedynie nieznaczne obniżenie

wytrzymałości na trójpunktowe zginanie i może być z powodzeniem wprowadzany do żywicy akrylowej jako środek o działaniu przeciwbakteryjnym.[15] Zdaniem *Ranj* i wsp. większe stężenia nanosrebra powodują pogorszenie dyspersji nanocząstek w tworzywie, prowadząc do powstawania aglomeratów, które pełnią funkcję defektów i osłabiają materiał. [14]

Wyniki uzyskane na podstawie badania wytrzymałości na ściskanie wskazują na brak istotnego wpływu nanosrebra na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie zaobserwowano dla grupy z 0,01% wag. nanosrebra (133,8 MPa), odnotowano tu więc nieznaczny wzrost wytrzymałości. Dla pozostałych grup nastąpił niewielki spadek wytrzymałości, przy czym malała ona wraz ze wzrostem stężenia nanosrebra. Badania *Ghaffari* i wsp. jak i *Hamedi-Rad* i wsp. wskazują na znaczną poprawę właściwości po modyfikacji nanosrebrem. Jednak zastosowane w obu przypadkach stężenia (2% i 5%) znacznie przewyższają ilość nanosrebra jaką posłużono się w niniejszej pracy.[16,17] Może więc z tego wynikać, że wytrzymałość na ściskanie tworzywa akrylowego termoutwardzalnego poprawia się w widocznym stopniu dopiero przy większych stężeniach nanocząstek. Różnica może wynikać również z parametrów badania oraz dostępnej aparatury. W swoich badaniach *Ghaffari* i wsp. oraz *Hamedi-Rad* i wsp. prowadzili próbę ściskania, aż do momentu pęknięcia próbki.[16,17] W przeprowadzonych badaniach próba prowadzona była jedynie do 50% odkształcenia.

Nanosrebro w stężeniach zastosowanych w badaniach może być włączane do tworzywa akrylowego jako środek antybakteryjny. Dzięki swoim właściwościom nanosrebro hamuje kolonizację mikroorganizmów na powierzchni uzupełnień protetycznych, zapobiegając przy tym stanom zapalnym jamy ustnej i zachowując protezę w czystości. W kilku badaniach udowodniono zadowalające działanie przeciwgrzybicze nanosrebra już przy stężeniu równym 0,002% - 0,004%.[18,19,20] Stężenia nanosrebra wykorzystane w badaniach nie powodują negatywnego wpływu na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego oraz poprawiają jego udarność, wpływają jednak również na nieestetyczną zmianę barwy badanego tworzywa, które na skutek modyfikacji nanosrebrem przyjmuje w zależności od zastosowanego stężenia kolor od sinego, aż po czarny.[21,22]

Wnioski

Przeprowadzone badania dają podstawę do wysunięcia następującego wniosku:

Nanosrebro w zastosowanych stężeniach nie wykazuje negatywnego wpływu na właściwości mechaniczne tworzywa akrylowego.

Piśmiennictwo

1. *Craig RG:* Materiały stomatologiczne. Elsavier Urban & Partner, Wrocław 2008.
2. *Zafar MS:* Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. Polymers (Basel) 2020; 12(10): 2299.
3. *Powers JM, Wataha JC:* Materiały stomatologiczne. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2013.
4. *Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH:* The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. Inter J Nanomedicine 2020; 15: 2555-2562.
5. *Pokrowiecki R, Mielczarek A:* Wybrane przykłady wykorzystania nano-cząsteczek srebra w procedurach medycznych. Nowa Stomatol 2012; 3: 117-121.
6. *Rodewald D:* Ocena trwałości mikrobiologicznej preparatów kosmetycznych w opakowaniach polimerowych modyfikowanych nanosrebrem, praca doktorska. Katedra Towaroznawstwa i Ekologii Produktów Przemysłowych; Poznań 2013.
7. *Fernandez CC, Sokolonski AR, Fonseca*

MS: Applications of Silver Nanoparticles in Dentistry: Advances and Technological Innovation. Int J Mol Sci 2021; 22(5): 2485.
8. *Pudzianowski S, Stachurski M, Borowicz M:* Change in the mechanical properties of nanosilver-modified acrylic resin. Eur J Med Technologies 2018; 3(20): 1-5.
9. *Alla RK, Guduri V, Tiruveedula NBP:* Effect of silver nanoparticles incorporation on microhardness of Heat-cure denture base resins. Int J Dent Mater 2020;2(4): 103-110.
10. *Vojdani M, Bagheri R, Khaledi AAR:* Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. J Dent Sci 2012; 7: 238-244.
11. *Andreotti AM, Goiato MC, Moreno A:* Influence of nanoparticles on color stability, microhardness, and flexural strength of acrylic resins specific for ocular prosthesis. Int J Nanomedicine 2014; 9: 5779-5787.
12. *Köroğlu A, Şahin O, Kürkçüoğlu I:* Silver nanoparticle incorporation effect on mechanical and thermal properties of denture base acrylic resins. J Appl Oral Sci 2016; 24(6): 590-596.
13. *Oyar P, Sana FA, Durkan R:* Comparison of mechanical properties of heat-polymerized acrylic resin with silver nanoparticles added at different concentrations and sizes. J Appl Polymer Sci 2017; 135 (6).
14. *Ranj AO, Fahd SI:* Effect of addition of silver nanoparticles on flexural and im-pact strength of heat cure acrylic resin. Erbil Dent J 2019; 2, 2.
15. *Juraszek J, Grzesiak M:* Wytrzymałość tworzywa polimerowo-akrylowego wzbogaconego nanosrebrem, Engineering of Biomaterials 2008; 11: 72-73.
16. *Ghaffari T, Hamedi-Rad F, Ezzati B:* In Vitro Comparison of Compressive and Tensile Strengths of Acrylic Resins Reinforced by Silver Nanoparticles at 2% and 0.2% Concentrations. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects 2014; 8(4): 204-209.
17. *Hamedi-Rad F, Ghaffari T, Rezaii F:* Effect of nanosilver on thermal and mechanical properties of acrylic base complete dentures. J Dent (Tehran) 2014; 11(5): 495-505.
18. *Tatarciuc MS, Diaconu-Popa D, Munteanu F:* Evaluation of the Acrylic Dental Resins Silver Nanoparticles Enriched. The 6th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering – EHB; 2017.
19. *Chladek G, Kasperski J, Barszczewska-Rybarek I:* Sorption, Solubility, Bond Strength and Hardness of Denture Soft Lining Incorporated with Silver Nanoparticle, Int J Mol Sci 2013; 14: 563-574.
20. *Castro de DT, Valente ML, Agnelli JA:* In vitro study of the antibacterial properties and impact strength of dental acrylic resins modified with a nanomaterial. J Prosthet Dent 2016; 238-246.
21. *Nowakowska D, Wiatr E:* Zastosowanie nanocząstek w materiałach stomatologicznych – przegląd pismiennictwa. Protet Stomatol 2013; 63(6): 466-475.
22. *Panek H, Kawala M, Zdanowski J:* Zastosowanie nanotechnologii w stomatologii. Protet Stomatol 2006; 56(1): 16-21.

Zaakceptowano do druku: 15.12.2023 r.
Adres autorów: 92-213 Łódź, ul. Pomorska 251.
© Zarząd Główny PTS 2023.