

## Influence of disinfectants on the strength of bond of selected soft lining materials to acrylic denture base

### Wpływ środków dezynfekcyjnych na siłę połączenia wybranych miękkich mas wyścielających z akrylanową płytą protezy

Rafał Brożek, Agata Szkudlarek, Mateusz Nogal, Magdalena Ściegienna, Dominika Frontczak

Klinika Gerostomatologii, Katedra Protetyki Stomatologicznej, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Polska  
Geriatric Dentistry Clinic, Department of Prosthetic Dentistry, Poznan University of Medical Sciences, Poland  
Head: prof. R. Koczorowski

#### Abstract

**Introduction.** Soft liners create a cushioning layer of the mucosal part of a denture, which makes the transmission of the occlusal forces less traumatic, also improving the comfort of wearing a prosthetic restoration. **Aim of the study.** To evaluate the influence of disinfectants on the bond strength of selected soft liners to the acrylic removable denture bases. **Material and methods.** The samples of Silagum-Comfort, Mollosil and Mucopren were kept in different disinfectants. The study consisted in determining the maximum tensile stress at the moment when the bond between the silicone elastomer and the acrylic material was broken or when the cohesion of the lining material was lost. The experiment was conducted after 1, 14 and 30 days. **Results.** The bond strength of the lining material to acrylate was the weakest for Mollosil; it was 0.99 MPa on the 30th day of the experiment, for the sample immersed in sodium hypochlorite. Moreover, the samples placed in this disinfectant revealed a gradual loss of the pink colour of the elastic material. The results obtained for Silagum-Comfort and Mucopren did not differ significantly and were 1.8 MPa and 1.4 MPa, respectively. **Conclusions.** 1. The agents used for daily denture hygiene may lower the bond strength of the elastomer material to the acrylic denture base. The deterioration of the mechanical properties may be particularly accelerated by strongly ionised solutions. 2. The number of adhesive and cohesive disconnections in the samples was similar, regardless of the type of the disinfectant applied.

#### Streszczenie

**Wstęp.** Miękkie materiały wyścielające, dzięki swoim właściwościom sprężystym tworzą amortyzującą warstwę dośluzowej części protezy, która sprzyja mniej urazowemu przenoszeniu sił zgryzowych na podłoże, poprawiając tym samym komfort użytkowania uzupełnienia protetycznego. **Cel pracy.** Celem pracy była ocena wpływu środków dezynfekcyjnych na wytrzymałość połączenia wybranych elastycznych mas wyścielających z akrylanową płytą protezy ruchomej. **Materiał i metoda.** Do badania wybrano Silagum-Comfort, Mollosil oraz Mucopren. Wykonano 81 akrylanowych próbek w technologii drukowania przestrzennego, których środkowe fragmenty usunięto i zastąpiono masą elastyczną, połączoną z akrylanem przy użyciu kleju firmowego. Próbkę przechowywano w roztworze podchlorynu sodu, glukonianu chlorheksydyny oraz w soli fizjologicznej. Badanie polegało na oznaczeniu maksymalnego naprężenia rozciągającego w momencie zerwania połączenia elastomeru silikonowego z tworzywem akrylanowym lub w momencie utraty spójności materiału wyścielającego. Eksperyment przeprowadzono po 1, 14 i 30 dniach. **Wyniki.** Spadek wartości maksymalnego naprężenia rozciągającego zaobserwowano w przypadku wszystkich badanych materiałów. Siła połączenia materiału wyścielającego z akrylanem była najsłabsza w przypadku materiału Mollosil, wynosiła 0,99 MPa w 30. dniu trwania eksperymentu, dla próbki zanurzonej w roztworze podchlorynu sodu. Próbkę zanurzone w tym środku dezynfekcyjnym charakteryzowały się

#### KEYWORDS:

acrylic removable dentures, soft liners, disinfectant, tensile strength, silicone elastomer

#### HASŁA INDEKSOWE:

proteza ruchoma, miękkie masy wyścielające, środki dezynfekujące, wytrzymałość na rozciąganie, elastomery silikonowe

ponadto stopniową utratą różowego zabarwienia masy elastycznej. Rezultaty uzyskane dla Silagum-Comfort i Mucopren nie różniły się istotnie między sobą i wynosiły odpowiednio 1,8 MPa i 1,4 MPa. **Wnioski.** 1. Środki stosowane do codziennej higieny protez mogą obniżyć siłę połączenia masy elastomerowej z akrylową płytą protezy. Pogorszenie właściwości mechanicznych może być szczególnie przyspieszane przez roztwory silnie zjonizowane. 2. Liczba zerwań adhezyjnych i kohezyjnych badanych próbek była podobna bez względu na rodzaj zastosowanego środka dezynfekcyjnego.

## Introduction

The application of conventional dental treatment when a narrow, sharp, quickly resorbing alveolar process covered with a thin, dense and rigid mucous membrane is present will be difficult if we consider the production of aesthetically and functionally satisfactory prosthetic restorations. A stiff body the prosthesis, leaned on an atrophied mucosa and bone base, demonstrates horizontal mobility in relation to the base, often exceeding several millimetres, to become a source of intense pain. Sometimes, its efficient use by the patient is even impossible. Soft lining materials, thanks to their resilience, create a cushioning (elastic) layer of the mucosal part of the denture, which makes the transmission of the occlusal forces onto the bases less traumatic, and thus improves the comfort of wearing a prosthetic restoration.<sup>1</sup> The materials are also used in the production of post-operative prostheses, aiming at the reduction of the traumatic influence of the denture obturator and saddle on the tissues currently undergoing the healing process.<sup>2-4</sup>

On the basis of their chemical structure, elastic materials can be divided into acrylic and silicone ones. Because of the differences in the way they polymerise, the materials can be divided into those polymerising chemically, at room temperature, and those polymerising thermally, under the influence of high temperatures. On the basis of the utilisation time, materials used for temporary and long-term lining can be distinguished. The lining can be done directly by the doctor at the dentist's surgery or in the prosthetic laboratory by the indirect lining method.<sup>1,2,5</sup>

## Wstęp

Wąski, ostry, szybko resorbujący się wyrostek zębodołowy pokryty cienką, zbitą, niepodatną błoną śluzową sprawia, że zastosowanie konwencjonalnych sposobów leczenia stomatologicznego może utrudniać wykonanie zadowalających pod względem estetycznym i funkcjonalnym uzupełnień protetycznych. Sztywny korpus protezy, wsparty na atroficznym podłożu śluzówkowo-kostnym, wykazuje w stosunku do podłoża poziomą ruchomość, często przekraczającą kilkanaście milimetrów, stając się źródłem intensywnej doznań bólowych. Niekiedy wręcz uniemożliwia to sprawne jej użytkowanie przez pacjenta. Miękkie materiały wyścielające, dzięki swoim właściwościom sprężystym tworzą amortyzującą (elastyczną) warstwę dośluzowej części protezy, która sprzyja mniej urazowemu przenoszeniu sił zgryzowych na podłoże, poprawiając tym samym komfort użytkowania uzupełnienia protetycznego.<sup>1</sup> Tworzywa te znajdują także zastosowanie w wykonawstwie protez pooperacyjnych, zmniejszając traumatyzujący wpływ obturatora i siodła protezy na tkanki, znajdujące się aktualnie w okresie gojenia.<sup>2-4</sup>

Tworzywa elastyczne ze względu na budowę chemiczną można podzielić na akrylanowe i silikonowe, ze względu na sposób polimeryzacji wyróżnia się tworzywa polimeryzujące chemicznie, w temperaturze pokojowej oraz polimeryzujące termicznie, w wyniku działania wysokich temperatur, a ze względu na czas użytkowania wyróżniamy materiały służące do czasowego lub długoczasowego wyścielenia. Wyścielenie może być wykonane bezpośrednio przez lekarza, w ga-

The porous structure of soft lining materials makes them more susceptible to the accumulation of bacterial plaque and absorption of pathogenic micro-organisms, including fungi from the *Candida* family, which are one of the main factors causing the development of prosthetic stomatopathies.<sup>6</sup> The exchange, taking place through rinsing out and leaching out of chemical compounds between the elastic material and the aqueous environment of the oral cavity additionally increases the risk of the material surface getting infected. Water sorption can reach 0.2-5.6 mg/cm in the first week of using a denture.<sup>2,7</sup> An essential element of prophylaxis to reducing the risk of pathological changes within the oral mucosa is then regular hygienic procedures and appropriate denture storage. Removing bacterial plaque with mechanical brushing, sometimes with the use of hygienic agents, is preferred by patients and done willingly.<sup>8,9</sup> However, the lining material may be damaged, particularly in the place where the elastic material joins the acrylic prosthesis body. That is why mechanical care of the prosthesis hygiene is not always advised in this group of elderly patients.<sup>2,10</sup> It is recommended that for chemical control and removal of bacterial plaque from the denture people using prostheses lined with an elastic material, as well as patients with impaired manual dexterity, including the elderly, should apply water solutions of disinfectants.<sup>11</sup>

Chemical cleaning agents for removable dentures can be divided into five groups: peroxides, hypochlorites, acids, disinfectants and enzymatics. Their application most often involves immersion of the prosthetic restoration for no longer than 30 minutes.<sup>12,13</sup> Inappropriate use may lead to deterioration of the mechanical properties of the elastic material and in consequence a decline in its ability to deform in a reversible, resilient way. Accumulation of the disinfectant in its micropores may cause irritation and inflammation of the oral mucosa and a change of colour of the acrylic material.<sup>3,14,15</sup>

Denture disinfection may be the factor determining the clinical lifespan of the elastic materials; it conditions the length of time in which a lined denture can be used without the need

biniecie stomatologicznym lub jego przygotowanie można zlecić laboratorium protetycznemu, w metodzie pośredniej wyścielenia.<sup>1,2,5</sup>

Porowata struktura miękkich mas wyścielających sprawia, że materiały te stają się bardziej podatne na akumulację płytki bakteryjnej oraz absorpcję drobnoustrojów patogennych, w tym także grzybów z rodziny *Candida*, będących jednym z głównych czynników sprawczych rozwoju stomatopatii protetycznych.<sup>6</sup> Wymiana, zachodząca na drodze wypłukiwania i wylugowywania związków chemicznych pomiędzy masą elastyczną a wodnym środowiskiem jamy ustnej sprawia, że ryzyko zainfekowania powierzchni materiału dodatkowo wzrasta. Sorpcja wody w pierwszym tygodniu użytkowania może wynosić 0,2-5,6 mg/cm.<sup>2,7</sup> Koniecznym elementem profilaktyki, ograniczającym ryzyko wystąpienia zmian patologicznych w obrębie błony śluzowej jamy ustnej, staje się zatem regularne przeprowadzanie zabiegów higienicznych oraz przestrzeganie odpowiednich sposobów zachowań, związanych z właściwym przechowywaniem protez. Metoda usuwania płytki bakteryjnej, polegająca na mechanicznym szczotkowaniu powierzchni protezy niekiedy z użyciem środków higienicznych jest preferowana i chętnie stosowana przez pacjentów.<sup>8,9</sup> Materiał wyścielający może jednak ulec uszkodzeniu, szczególnie w miejscu połączenia masy elastycznej z akrylanowym korpusem protezy. Mechaniczna dbałość o higienę protezy nie jest zatem bezwzględnie wskazana w grupie pacjentów starszych.<sup>2,10</sup> Zaleca się, by osoby użytkujące protezy wyścielone materiałem elastycznym, a także pacjenci z ograniczoną sprawnością manualną, w tym także osoby starsze, stosowały wodne roztwory środków dezynfekcyjnych, przeznaczone do chemicznej kontroli i usuwania płytki bakteryjnej na protezie.<sup>11</sup>

Środki do chemicznego oczyszczania protez ruchomych można podzielić na 5 grup: nadtlenki, podchloryny, kwasy, środki odkażające oraz enzymatyczne. Ich stosowanie najczęściej polega na zanurzeniu w nim uzupełnienia protetycznego na okres nie dłuższy niż 30 minut.<sup>12,13</sup> Stosowanie ich niezgodnie z zaleceniami może prowadzić do pogorszenia właściwości mechanicznych masy

to replace the lining material with a new one.<sup>16</sup> Therefore, it seems justified to conduct laboratory tests allowing assessment of the impact of the agents used for chemical control and hygiene of the prosthesis base on the selected specific features of the soft lining materials. The studies conducted will allow evaluation of the influence of the disinfectants on the adhesion force of the lining material to the denture base. The obtained results will also facilitate the selection of an appropriate disinfectant, recommended to patients for everyday use.

### Aim

Since clinical observations allow observing deterioration of the adhesion of elastic materials to acrylic ones, examination of these materials in various environments in which they are used in the course of their utilisation is the authors' intention.

### Material and method

Three soft lining materials: Mollosil, Mucopren Soft and Silagum, available on the Polish market, and belonging to the group of silicone elastomers were chosen for the study.

A prototype of the sample was made of plastic, in the shape of a paddle, using the 3-D printing technology, accurate to within 0.1 mm, in the size typical for type 1BA moulds, in accordance with the guidelines included in the PE-EN ISO 527-2 norm Plastics – determination of tensile properties (Fig. 1). The sample dimensions (in mm) were as follows: total length – 75, length of the measuring part – 25, width of the measuring part – 5, thickness – 2. Next, silicone moulds were prepared and used to produce 81 acrylic proper samples of identical sizes. The producers' recommendations were followed throughout. The central, 4-millimetre long fragments of the samples were removed and replaced with elastic lining materials. In order to obtain good adhesion between the acrylic resin and the lining material (silicone elastomer), the places of their connection were conditioned by putting the adhesive twice. The excess of the silicone material was removed with a sharp scalpel, and then the samples were

elastycznej, a ich zdolność do odwracalnych, sprężystych odkształceń maleje. Nagromadzenie dezynfektantu w jej mikroporach może powodować podrażnienia i stany zapalne błony śluzowej jamy ustnej oraz zmiany barwy tworzywa akrylanowego.<sup>3,14,15</sup>

Dezynfekcja protez może być czynnikiem decydującym o okresie klinicznej przydatności mas elastycznych, warunkuje długość czasu użytkowania wyścielonej protezy bez konieczności wymiany materiału wyścielającego na nowy.<sup>16</sup> Dlatego wydaje się zasadnym przeprowadzenie badań laboratoryjnych pozwalających ocenić wpływ środków stosowanych do chemicznej kontroli płytki protez i higieny na wybrane, swoiste cechy miękkich mas wyścielających. Przeprowadzone badania pozwolą ocenić wpływ środków dezynfekcyjnych na siłę adhezji materiału wyścielającego z płytą protezy. Uzyskane wyniki ułatwią także dokonanie wyboru właściwego środka dezynfekcyjnego, zalecanego pacjentom do codziennego stosowania.

### Cel pracy

Ponieważ obserwacje kliniczne pozwalają zauważyć pogorszenie właściwości adhezyjnych mas elastycznych z tworzywem akrylanowym, celowe jest zbadanie tych materiałów w różnych środowiskach spotykanych w trakcie użytkowania tego typu uzupełnień.

### Material i metoda

Do badania wybrano trzy miękkie masy wyścielające, dostępne na polskim rynku: Mollosil, Mucopren Soft, Silagum, zaliczane do grupy elastomerów silikonowych.

Wykonano prototyp próbki z tworzywa sztucznego, w kształcie wiosła, w technologii drukowania przestrzennego (ang. *3D printing*), z dokładnością do 0,1 mm, w rozmiarze typowym dla kształtek typu 1BA, zgodnym z wytycznymi zawartymi w normie PE-EN ISO 527-2 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu (Fig. 1). Wymiary próbki (w mm) były następujące: długość całkowita – 75, długość części pomiarowej – 25, szerokość części pomiarowej – 5, grubość 2. Przygotowano



**Fig. 1.** Prototype of a sample prepared in the 3-D printing technology. Prototyp próbki testowej wykonany w technologii drukowania przestrzennego.

taken out of the moulds. Twenty-seven samples were made of each of the materials chosen for the experiment, and so three groups of the same number of samples were obtained.

Two disinfectants were chosen for the experimental analysis: 2% sodium hypochlorite (Chlorate, Chema-Elektromet) and 0.1% solution of chlorhexidine gluconate (Eludril, Pierre Fabre Oral Care). The samples that were immersed in 0.9% saline constituted the control. Nine samples made of each material were placed in each of the solutions. The samples were stored in a water bath at a temperature of  $37\pm 1^\circ\text{C}$  for one month.

The tensile test was conducted three times: after 1 day, after 14 days and then after 30 days of the experiment, with the use of the Tinius Olsen static tension testing machine (Model H5K-S UTM) connected to a PC, in accordance with the general rules of determining the strength of materials.

The examination of the physical and mechanical properties consisted in elongating the sample along the long axis, at constant velocity, until it broke. The maximum tensile stress at which the sample broke was determined.

The tensile stress was automatically calculated by the computer software, using the following equation:  $T = F/A$ , where  $T$  – tensile stress (N/mm),  $F$  – power at the moment of breaking apart (N),  $A$  – original sectional area (mm).

In order to guarantee the tension concentration strictly in the central part of the sample rather than at its edges, the samples were paddle-shaped. Thanks to that, the parts tightened between the clamps of

następnie silikonowe formy, którymi posłużono się do wykonania 81 akrylanowych próbek właściwych, identycznych rozmiarów. Postępowano zgodnie z zaleceniami producentów. Środkowe fragmenty próbek, o długości 4 mm, usunięto i zastąpiono elastyczną masą wyścielającą. Aby uzyskać dobrą adhezję pomiędzy żywicą akrylową a materiałem wyścielającym (elastomerem silikonowym), kondycjonowano miejsca ich połączenia, poprzez dwukrotne nakładanie środka adhezyjnego. Nadmiary materiału silikonowego usuwano ostrym skalpelem, a następnie próbki wyjmowano z form. Z każdej wybranej do doświadczenia masy, wykonano 27 próbek, a więc otrzymano 3 grupy, o takiej samej liczbie próbek.

Do analizy doświadczalnej wybrano dwa środki dezynfekujące: 2% podchloryn sodu (Chloran, Chema-Elektromet) oraz 0,1% roztwór glukonianu chlorheksydyny (Eludril, Pierre Fabre Oral Care). Próbę kontrolną stanowiły próbki zanurzone w 0,9% roztworze soli fizjologicznej. W każdym z wymienionych roztworów, zanurzano po 9 próbek, z każdego materiału. Próbki przechowywano w łaźni wodnej w temperaturze  $37\pm 1^\circ\text{C}$  przez okres 1 miesiąca.

Test rozciągania przeprowadzono trzykrotnie: po 1 dniu, po 14 dniach, a następnie po 30 dniach trwania eksperymentu, z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Tinius Olesn (Model H5K-S UTM) połączonej z komputerem klasy PC, zgodnie z ogólnymi zasadami wyznaczania cech wytrzymałościowych materiałów.

Badanie właściwości fizykomechanicznych polegało na rozciąganiu próbki wzdłuż długiej osi, przy stałej prędkości, aż do jej zerwania. Oznaczono maksymalne naprężenie rozciągające, przy którym następowało zerwanie próbki.

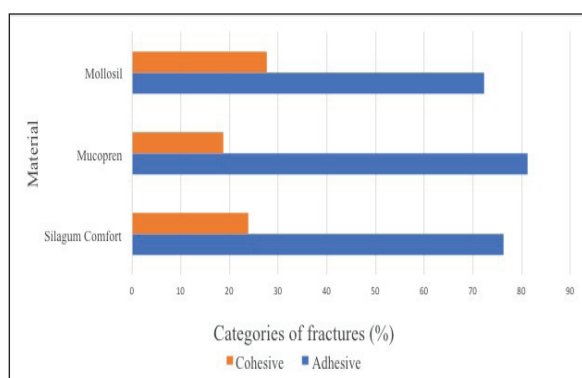
Naprężenie rozciągające było automatycznie obliczane przez oprogramowanie komputera, z wykorzystaniem równania  $T=F/A$ , gdzie  $T$  – naprężenie rozciągające (N/mm),  $F$  – siła podczas rozerwania (N),  $A$  – pierwotna powierzchnia przekroju (mm). W celu zapewnienia koncentracji naprężeń wyłącznie w centralnej części próbki, a nie na jej końcach, próbkom nadano kształt wiosła. Dzięki temu, części zaciskane w uchwytach maszyny wytrzymałościowej były bardziej

**Table 1.** Ultimate tensile strength obtained for the samples on the 14th day of the experiment (MPa)

Disinfectant	Lining material			Average
	MUCOPREN	MOLLOSIL	SILAGUM	
0.9% NaCl	2.08	0.96	2.27	1.77
Eludril	1.77	1.25	1.79	1.60
NaOCl	1.91	0.93	2.00	1.61
Average	1.92	1.05	2.02	

**Table 2.** Ultimate tensile strength obtained for the samples on the 30th day of the experiment (MPa)

Disinfectant	Lining material			Average
	MUCOPREN	MOLLOSIL	SILAGUM	
0.9% NaCl	1.66	1.50	2.34	1.83
Eludril	0.85	0.60	0.85	0.77
NaOCl	1.61	0.99	1.61	1.40
Average	1.37	1.03	1.60	

**Fig. 2.** Categories of fractures within the test specimens (cohesive break) or at the point where the sample is connected to the acrylic resin (adhesive break).

Kategorie przelomów powstałych w strukturze materiału (przełom kohezyjny) lub w miejscu połączenia próbki z tworzywem akrylanowym (przełom adhezyjny).

the tension-testing machine were stronger than the analysed central experimental part. The risk of minor damages, which could result in significant measuring mistakes or disruption of the tested sample, was thus reduced.<sup>2</sup>

The findings of all the experiments conducted as part of the study were subjected to statistical

wytrzymałe od analizowanej środkowej części doświadczałnej. Ograniczono tym samym ryzyko powstania drobnych uszkodzeń, które w konsekwencji mogłyby prowadzić do powstania istotnych błędów pomiarowych lub zerwania badanej próbki.<sup>2</sup>

Wyniki wszystkich prowadzonych w ramach pracy eksperymentów były poddawane analizie statystycznej. Wyniki otrzymane w badaniach właściwości mechanicznych uśredniano, następnie dla każdej wartości średniej obliczano odchylenia standardowe i przedziały ufności (przy założeniu przedziału istotności  $\alpha = 0,05$ ).

## Wyniki

W tabelach 1 i 2 przedstawiono średnie wartości maksymalnego naprężenia rozciągającego, uzyskane po 14. i 30. dniach trwania eksperymentu (Tab. 1, Tab. 2). Największe wartości naprężenia w momencie zerwania próbki, a tym samym największą wytrzymałość na rozciąganie, zarówno po 14. jak i 30. dniach, uzyskano dla materiału Silagum-Comfort (średnio 2,02 MPa i 1,6 MPa).

analysis. The results obtained in the tests of the mechanical properties were averaged; next, standard deviations and confidence intervals (at an assumed significance range of  $\alpha = 0.05$ ) were calculated for every average value.

## Results

Tables 1 and 2 present the average values of the maximum tensile strength obtained after 14 and 30 days of the experiment (Tab. 1, Tab. 2). The highest tensile strength values at the moment of the sample disruption and hence the greatest resistance to elongation, both after 14 and 30 days, were obtained for Silagum-Comfort (on average 2.02 MPa and 1.6 MPa). The lowest resistance to elongation, for both measuring periods, was observed for the adhesion of the Mollosil silicone elastomer (on average 1.05 MPa and 1.03 Mpa). Mucopren showed medium values (on average 1.92 MPa and 1.37 MPa). The results obtained for Silagum-Comfort and Mucopren did not differ considerably. A statistically significant influence of the type of the disinfectant on the maximum tensile stress of the tested samples was not observed on the 14<sup>th</sup> day of the experiment. However, after 30 days a slightly negative effect of the Eludril disinfectant, which lowered the ability of all the materials to elongate, was noted. The saline solution demonstrated the most neutral activity. The samples immersed in sodium hypochlorite displayed invariable properties of the maximum tensile stress during the experiment, but were characterised by a gradual loss of pink colour.

In the course of the experiment, the way the tested samples were subject to damage was also evaluated. The number of the adhesive and cohesive disconnections within the investigated material or between the material and the acrylic material was determined in percentage form and presented in Figure 2.

## Discussion

The soft lining materials used in the study are successfully applied to different clinical dental situations due to their sought-after physical and chemical properties. The biological stability, low toxicity, ease of formation to obtain the desired

Najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie, w obu okresach pomiarowych, zaobserwowano dla adhezji elastomeru silikonowego Mollosil (średnio 1,05 MPa i 1,03 Mpa). Wartości pośrednie wykazywał materiał Mucopren (średnio 1,92 MPa i 1,37 MPa). Rezultaty uzyskane dla Silagum-Comfort i Mucopren nie różniły się istotnie między sobą. Nie zaobserwowano istotnego statystycznie wpływu rodzaju środka dezynfekcyjnego na maksymalne naprężenie rozciągające badanych próbek w 14. dniu trwania eksperymentu. Jednak po 30 dniach leżakowania próbek stwierdzono niewielki, negatywny wpływ środka dezynfekcyjnego Eludril, który obniżył zdolność wszystkich materiałów do rozciągania. Najbardziej neutralne działanie wykazała sól fizjologiczna. Próbkę zanurzone w podchlorynie sodu wykazywały niezmiennie właściwości maksymalnego naprężenia rozciągającego w czasie trwania eksperymentu, natomiast charakteryzowały się stopniową utratą różowego zabarwienia.

W trakcie trwania eksperymentu poddano także ocenie sposób zniszczenia badanych próbek. Liczbę adhezyjnych i kohezyjnych zerwań połączeń w obrębie badanego materiału lub między materiałem a tworzywem akrylanowym, określono w formie procentowej i przedstawiono na rysunku 2 (Fig. 2).

## Dyskusja

Miękkie masy wyścielające użyte w badaniu stosowane są z powodzeniem w stomatologii, w różnych sytuacjach klinicznych, ze względu na posiadane pożądane właściwości fizykochemiczne. Trwałość biologiczna, niska toksyczność, możliwość łatwego formowania i uzyskania pożądanego kształtu, brak makroskopowych zmian ukształtowania powierzchni, zachowanie kształtu przez możliwie długi okres czasu, niska temperatura zeszklenia, dobra odporność termiczna i chemiczna sprawiają, że materiały te są trudne do zastąpienia w praktyce klinicznej. Poddane obciążeniom wynikającym z ich użytkowania w środowisku jamy ustnej wykazują jednak zmiany mikrostruktury powierzchni, czego skutkiem może być osłabienie siły wiążącej masę elastyczną z tworzywem, z którego wykonana jest proteza

shape and ability to maintain it for a possibly long time, lack of macroscopic changes of the surface features, low glass transition temperature, good thermal and chemical resistance, all make these materials indispensable in the clinical practice. However, subjected to the loads resulting from their use in the oral cavity environment, they show changes in the surface microstructure, which may lead to the weakening of the force that binds the elastic liner and the material of which the removable denture is made. The degradation of the surface is observed as early as after a few days of the denture's application in the form of a network of longitudinal grooves and cracks.<sup>17</sup> The depth of the hollows emerging on the surface of the lining material may be 30-60  $\mu\text{m}$ , making the elastic materials more susceptible to colonisation by microorganisms.<sup>18</sup>

The degradation of the bond between the soft elastic material and the acrylic material is a progressive and irreversible phenomenon, leading in consequence to surface disconnection of the lining layer from the body of the prosthesis. The material, then, loses the desirable therapeutic properties, which results in the need to replace it with a new material, although it maintains resilience for quite a long time. The elastic materials are porous. There are numerous pores and hollows on their surface, observed on the ultrastructural level. As a result of increased water absorption and rinsing out chemical compounds, including plasticisers, to the environment of the oral cavity, the number of the details grows. The change of the topography of the elastic materials precipitates plaque accumulation on the prosthesis surface, which creates ideal conditions for the development of fungi and pathogenic bacteria. Intensive plaque accumulation on the prosthesis surface may also lead to weakening or loss of the bond between the elastic material and the denture. Therefore, the selection of an appropriate disinfectant is so important in the prophylaxis of the development of oral mucosal inflammations and prevention of the loss of the functional bond between the lining material and the prosthetic restoration.

The following disinfectants commonly used by patients, and willingly recommended by

ruchoma. Degradacja powierzchni obserwowana jest już kilka dni po aplikacji jako sieć zorientowanych wzdłużnie rowków i pęknięć.<sup>17</sup> Głębokość zagłębień powstałych na powierzchni materiału wyścielającego może wynieść 30-60  $\mu\text{m}$ , czyniąc masy elastyczne bardziej podatnymi na kolonizację przez drobnoustroje.<sup>18</sup>

Degradacja połączenia miękkiej masy elastycznej z tworzywem akrylanowym jest zjawiskiem postępującym i nieodwracalnym, w konsekwencji prowadzi do płaszczyznowego oderwania warstwy wyścielającej od korpusu protezy. Materiał traci wówczas pożądane właściwości terapeutyczne i skutkuje koniecznością wymiany masy na nową, mimo iż zachowuje sprężystość przez możliwie długi czas. Materiały elastyczne są tworzywami porowatymi. Posiadają na swojej powierzchni, obserwowane na poziomie ultrastrukturalnym, liczne pory i zagłębienia. Na skutek wzmożonej absorpcji wody i wypłukiwania do środowiska jamy ustnej związków chemicznych w tym plastyfikatorów, liczba detali zwiększa się. Zmiana topografii mas elastycznych przyspiesza akumulację płytki na powierzchni protezy, co stwarza idealne warunki do rozwoju grzybów i bakterii chorobotwórczych. Intensywne nagromadzenie płytki na powierzchni protezy w konsekwencji prowadzić może także do osłabienia bądź utraty wiązania masy elastycznej z protezą płytową. Dlatego dobór odpowiedniego środka dezynfekcyjnego jest tak istotny w profilaktyce rozwoju stanów zapalnych błony śluzowej jamy ustnej oraz w zapobieganiu utracie funkcjonalnego połączenia pomiędzy masą wyścielającą a uzupełnieniem protetycznym.

W przeprowadzonym badaniu wybrano powszechnie stosowane przez pacjentów i chętnie polecane przez lekarzy dentystów środki dezynfekcyjne: 2,5% roztwór podchlorynu sodu oraz 0,1% roztwór glukonianu chlorheksydyny. Glukonian chlorheksydyny jest biguanidem kationowym o szerokim spektrum działania przeciwbakteryjnego i przeciwrzybiczego, stosowanym w leczeniu stomatologicznym od blisko pięciu dekad. Skuteczność chlorheksydyny w redukcji płytki nazębnej i hamowaniu odpowiedzi zapalnej błony śluzowej jamy ustnej została potwierdzona w wielu badaniach.<sup>19</sup> Ryzyko wystąpienia dzia-



dentists, were selected in the study: 2.5% solution of sodium hypochlorite and 0.1% solution of chlorhexidine gluconate. The latter is a cationic biguanide of a wide spectrum of antibacterial and antifungal activity, with therapeutic dental applications for nearly five decades. The effectiveness of chlorhexidine in the reduction of dental plaque and inhibition of an inflammatory response of the oral mucosa was confirmed in many studies.<sup>19</sup> The risk of adverse effects, such as taste disorders and discoloration, can be limited by applying the solution at a lower concentration but in larger doses. It is recommended to use 20 mg of chlorhexidine twice a day, i.e. 10 ml of 0.2% solution. It is possible to achieve the same therapeutic effectiveness using chlorhexidine at a concentration of 0.12%, increasing the volume to 15 ml at the same time.<sup>20</sup>

Sodium hypochlorite is an antibacterial and antifungal disinfectant. At low concentrations under 2%, it is devoid of flavour and smell; therefore, it may successfully be used to disinfect dentures. The increased alkaline pH of the solution contributes to disintegration of bacterial plaque and prevents the formation of calculus. A concentration of 0.5% is high enough to dissolve organic deposits and demonstrate antifungal activity towards species of the *Candida* genus.<sup>21</sup> At a concentration of 1% it shows bactericidal properties, also towards microorganisms found deeper in the acrylic resin.<sup>22</sup> At a concentration of 5.25% it does not cause changes in the micromorphology of the surface, yet there is a justified risk of colour alteration in the form of a loss of the pink pigment. Therefore, when using this type of preparation at this concentration, rinsing the prosthesis under running water is recommended.<sup>23</sup>

Silicone elastomers maintain their resilient properties for a possibly long period.<sup>24</sup> Due to the different chemical composition they do not permanently bind to the acrylic denture base. Application of appropriate agents ensuring optimal adhesion of these materials to the removable prosthetic restoration is necessary. Studies by many authors suggest that the influence of disinfectants does not remain neutral.<sup>5,13,25, 26</sup>

The degrading effect of disinfectants on the

łań niepożądanych, takich jak zaburzenia smaku i przebarwienia, może zostać ograniczone poprzez stosowanie roztworu o mniejszym stężeniu, ale w większych dawkach objętościowych. Zaleca się stosowanie chlorheksydy w ilości 20 mg dwa razy dziennie, czyli 10 ml 0,2% roztworu. Tą samą skuteczność terapeutyczną można osiągnąć stosując chlorheksydy w stężeniu 0,12% jednocześnie zwiększając objętość do 15 ml.<sup>20</sup>

Podchloryn sodu jest środkiem dezynfekcyjnym, o działaniu przeciwbakteryjnym i przeciwgrzybiczym. W niskich stężeniach poniżej 2% jest pozbawiony smaku i zapachu, dlatego też z powodzeniem może być wykorzystywany do dezynfekcji protez dentystycznych. Podwyższone, zasadowe pH roztworu przyczynia się do rozpadu płytki bakteryjnej i zapobiega tworzeniu się kamienia nazębnego. Już w stężeniu 0,5% rozpuszcza osady organiczne i działa przeciwgrzybiczo na gatunki z rodzaju *Candida*.<sup>21</sup> W stężeniu 1% wykazuje właściwości bakteriobójcze, także na drobnoustroje znajdujące się głębiej w żywicy akrylanowej.<sup>22</sup> W stężeniu 5,25% nie powoduje zmian mikromorfologii powierzchni, jednak istnieje uzasadnione ryzyko powstania zmian zabarwienia w postaci utraty różowego pigmentu. Dlatego też po użyciu tego typu preparatu w tym stężeniu zaleca się opłukanie protezy w strumieniu bieżącej wody.<sup>23</sup> Elastomery silikonowe zachowują właściwości sprężyste przez możliwie długi czas.<sup>24</sup> Ze względu na odmienną budowę chemiczną nie łączą się trwale z akrylanową płytą protezy. Konieczne jest stosowanie odpowiednich środków, zapewniających optymalną adhezję tych materiałów do ruchomego uzupełnienia protetycznego. Badania wielu autorów sugerują, że wpływ środków dezynfekcyjnych nie pozostaje obojętny.<sup>5,13,25,26</sup> Degradacyjny wpływ środków dezynfekcyjnych na stosowane środki elastyczne poddano ocenie także we wcześniejszych badaniach Brożka i wsp.<sup>27</sup> Określono zmianę wartości użytkowych, takich jak wytrzymałość na rozciąganie, sprężystość oraz liczbę i jakość związków chemicznych wypłukiwanych do środowiska pod wpływem działania różnych dezynfektantów.

Wykazano, że masy silikonowe są bardziej stabilne w porównaniu z plastyfikowanymi akrylana-

applied elastic materials was also evaluated in previous studies by Brożek et al.<sup>27</sup> The change of the utilisation values under the influence of the activity of different disinfectants was determined; the values included tensile strength, resilience, and the quantity and quality of the chemical compounds rinsed out to the oral environment.

It was shown that silicone materials were more stable in comparison with plasticised acrylates. Strongly ionised solutions may facilitate the release of compounds from the elastic materials and thus induce the deterioration of their resilient properties. These observations were also confirmed by Kazanji and Watkins.<sup>28</sup> The solution in which high concentration of ions, especially those of sodium and potassium, can be found can accelerate the release of the component compounds from the elastic material. Such a potentially adverse effect may be exerted by sodium hypochlorite, which occurs when hydrogen in the particle of hypochlorous acid is replaced with an atom of sodium.

In the conducted studies, the greatest tensile strength, both after 14 and 30 days, was obtained for the Silagum-Comfort material (on average 2.02 MPa and 1.6 MPa). The lowest tensile strength, for both measuring periods, was observed for the Mollosil silicone elastomer (on average 1.05 MPa and 1.03 MPa). The numerical values obtained in the static tensile test did not confirm the thesis about the negative impact of the disinfectants on the bond strength of the elastic material to the acrylic material. The maximum tensile stress of all the examined materials, irrespective of the type of the disinfectant applied, exceeded 0.45 MPa. The value of this force, defined by Kawano et al.,<sup>29</sup> guarantees an effective bond of the elastic material to the acrylic material, and thus determines the usefulness of lining materials in the dental clinical practice.

The values of the obtained tension were lower in comparison with the values given by Mese et al.<sup>30</sup> and Geramipanaha et al.<sup>31</sup> These differences may be affected by the chemical composition of the acrylic material used to produce the denture and the speed and sensitivity of the head being the component of the testing machine.

Roztwory silnie zjonizowane sprzyjać mogą uwalnianiu związków chemicznych z materiałów elastycznych, a więc mogą wpływać na pogorszenie ich właściwości sprężystych. Powyższe obserwacje zostały potwierdzone także przez Kazanji i Watkins<sup>28</sup>. Roztwór, w którym stwierdza się wysoką koncentrację jonów, zwłaszcza sodowych i potasowych, może przyspieszać uwalnianie związków składowych z tworzywa elastycznego. Taki potencjalnie niekorzystny wpływ może wywierać podchloryn sodu, który powstaje w wyniku zastąpienia wodoru w cząsteczce kwasu podchlorkowego atomem sodu.

W przeprowadzonych badaniach największą wytrzymałość na rozciąganie, zarówno po 14., jak i 30. dniach uzyskano dla materiału Silagum-Comfort (średnio 2,02 MPa i 1,6 MPa). Najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie, w obu okresach pomiarowych, zaobserwowano dla elastomeru silikonowego Mollosil (średnio 1,05 MPa i 1,03 MPa). Otrzymane, w statycznej próbie rozciągania, wartości liczbowe nie potwierdziły tezy o negatywnym wpływie środków dezynfekcyjnych na siłę wiązania masy elastycznej z tworzywem akrylanowym. Maksymalne naprężenie rozciągające wszystkich badanych materiałów, bez względu na rodzaj użytego środka dezynfekcyjnego, przekroczyło 0,45 MPa. Wartość tej siły, zdefiniowana przez Kawano i wsp.<sup>29</sup> gwarantuje skuteczne połączenie masy elastycznej z tworzywem akrylanowym i decyduje tym samym o przydatności materiałów wyściełających w praktyce klinicznej lekarza dentysty.

Wartości uzyskanych naprężeń były niższe w porównaniu z wartościami uzyskanymi przez Mese i wsp.<sup>30</sup> oraz Geramipanaha i wsp.<sup>31</sup> Na powstałe różnice może mieć wpływ skład chemiczny tworzywa akrylanowego użytego do wykonania protezy oraz prędkość i czułość głowicy będącej elementem składowym maszyny wytrzymałościowej.

Badania wielu autorów wykazały, że absorpcja wody oraz wypłukiwanie związków chemicznych z mas wyściełających mogą osłabiać siłę łączącą masę wyściełającą z tworzywem, z którego wykonane jest uzupełnienie protetyczne.<sup>32-34</sup> Należy przypuszczać, że krótki okres obserwacji,

Studies by numerous authors showed that the water absorption and rinsing chemical compounds out of the lining materials may weaken the force joining the liner and the material of which the prosthetic restoration is made.<sup>32-34</sup> It should be assumed that the short observation time – one month – made it impossible to observe the weakening of the bond of the investigated elastic materials to the acrylate.

The water absorption and the exchange of chemical compounds between the water solution and the lining material occur until balance is reached. In the 1<sup>st</sup> week, the water absorption may range from 0.2 to 5.6 mg/cm<sup>2</sup>, while solubility may be 0.03 – 0.4 mg/cm<sup>2</sup>, depending on the examined material.<sup>35</sup> The dominant number of the adhesive disconnections may confirm the negative influence of the above-mentioned phenomena on the quality of the bond of the elastic material to the acrylic material. According to Mancuso et al.,<sup>36</sup> deterioration of the adhesive properties may be observed as early as in the 1<sup>st</sup> week of the utilisation of a lined denture.

## Conclusions

On the basis of the experimental research into the elastic materials lining removable dentures the following conclusions were formulated:

1. The agents used for everyday hygiene of prostheses may influence the strength of the bond between the elastomer material and the acrylic denture base in different ways.
2. The deterioration of the mechanical properties may be particularly precipitated by strongly ionised solutions such as the solution of sodium hypochlorite.
3. The small number of the cohesive disconnections may prove great resistance of the elastic materials to the activity of the agents intended for denture disinfection.
4. The number of the adhesive disconnections suggests that disinfectants may weaken the cohesion of the bond of the elastic material to the denture base.

trwający 1 miesiąc, nie pozwolił zaobserwować osłabienia połączenia badanych mas elastycznych z akrylanem.

Absorpcja wody i wymiana związków chemicznych pomiędzy roztworem wodnym a masą wyszczelniającą zachodzą do czasu osiągnięcia równowagi. W 1 tygodniu absorpcja wody może wynieść 0,2 – 5,6 mg/cm<sup>2</sup>, natomiast rozpuszczalność między 0,03 – 0,4 mg/cm<sup>2</sup>, w zależności od badanego materiału.<sup>35</sup> Dominująca liczba zerwań adhezyjnych może potwierdzać negatywny wpływ wymienionych zjawisk na jakość połączenia masy elastycznej z tworzywem akrylanowym. W opinii Mancuso i wsp.<sup>36</sup> pogorszenie właściwości adhezyjnych możemy obserwować już w 1 tygodniu użytkowania wyszczelnionej protezy.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych elastycznych materiałów wyszczelniających protezy ruchome sformułowano następujące wnioski:

1. Środki stosowane do codziennej higieny protez mogą w sposób zróżnicowany wpływać na siłę połączenia masy elastomerowej z akrylanową płytą protezy.
2. Pogorszenie właściwości mechanicznych może być szczególnie przyspieszane przez roztwory silnie zjonizowane, takie jak roztwór podchlorynu sodu.
3. Niewielka liczba zerwań kohezyjnych świadczyć może o dużej wytrzymałości materiałów elastycznych na działanie środków przeznaczonych do dezynfekcji protez.
4. Liczba zerwań o charakterze adhezyjnym wskazuje, że środki dezynfekcyjne mogą osłabiać spójność połączenia masy elastycznej z płytą protezy.

## References

1. Brożek R, Koczorowski R: Zastosowanie elastycznych materiałów do wyścielenia protez ruchomych w leczeniu bezzębnych pacjentów w wieku podeszłym. *Now Lek* 2009; 78: 256-261.
2. Koczorowski R, Brożek R, Czarnecka B: Właściwości sprężyste miękkich mas wyścielających protezy ruchome w badaniach statycznych. *Inż Stomatol Biomater* 2008; 5, 1: 14-18.
3. Więckiewicz W: Badania nasiąkliwości wybranych elastomerów silikonowych stosowanych do podścielenia protez pooperacyjnych. *Protet Stomatol* 2006; 56: 54-58.
4. Bogucki Z: Tworzywa miękkie stosowane do podścielenia protez u pacjentów po zabiegach operacyjnych. *Protet Stomatol* 1996; 46: 233-235.
5. Machado AL, Breeding LC, Puckett AD: Effect of microwave disinfection on the hardness and adhesion of two resilient liners. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 183-189.
6. Dar-Odeh NS, Shehabi AA: Oral candidosis in patients with removable dentures. *Mycoses* 2003; 46: 187-191.
7. Powers J, Sakaguchi R: Restorative dental materials. 13th ed. Philadelphia: Elsevier Mosby; 2012.
8. Burnett C, Calwell E, Clifford T: Effect of verbal and written education on denture wearing and cleansing habits. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1993; 2: 79-83.
9. Berge M, Silness J, Sørheim E: Professional plaque control in the treatment of stomatitis prosthetics. *Gerodontology* 1987; 3: 113-116.
10. Mäkilä E, Honka O: Clinical study of a heat-cured silicone soft lining material. *J Oral Rehabil* 1979; 6: 199-204.
11. Odman PA: The effectiveness of an enzyme-containing denture cleanser. *Quintessence Int Berl Ger* 1985 1992; 23: 187-190.
12. Budtz-Jørgensen E: Materials and methods for cleaning dentures. *J Prosthet Dent* 1979; 42: 619-623.
13. Pavan S, Arioli Filho JN, Dos Santos PH, Nogueira SS, Batista AUD: Effect of disinfection treatments on the hardness of soft denture liner materials. *J Prosthodont* 2007; 16: 101-106.
14. Brożek R, Koczorowski R, Rogalewicz R, Voelkel A: Wpływ środków do dezynfekcji protez ruchomych na zmianę właściwości chemicznych elastycznych materiałów protetycznych. *J Stomatol* 2010; 63: 183-190.
15. Oliveira LV, Mesquita MF, Henriques GEP, Consani RLX: The effect of brushing on surface roughness of denture lining materials. *J Prosthodont* 2007; 16: 179-184.
16. Bogucki Z: Wpływ higieny na wygląd miękkiej masy wyścielającej Flexor w obrębie protezy całkowitej dolnej. *Protet Stomatol* 1997; 47: 98-100.
17. Mutluay MM, Tezvergil-Mutluay A: The influence of cyclic stress on surface properties of soft liners. *Odontology* 2017; 105: 214-221.
18. Mutluay MM, Oğuz S, Ørstavik D, Fløystrand F, Doğan A, Söderling E, et al: Experiments on in vivo biofilm formation and in vitro adhesion of *Candida* species on polysiloxane liners. *Gerodontology* 2010; 27: 283-291.
19. Berchier CE, Slot DE, Van der Weijden GA: The efficacy of 0.12% chlorhexidine mouthrinse compared with 0.2% on plaque accumulation and periodontal parameters: a systematic review. *J Clin Periodontol* 2010; 37: 829-839.
20. Franco Neto CA, Parolo CCF, Rösing CK, Maltz M: Comparative analysis of the effect of two chlorhexidine mouthrinses on plaque accumulation and gingival bleeding. *Braz Oral Res* 2008; 22: 139-144.
21. Lima EMCX, Moura JS, Del Bel Cury AA, Garcia RCMR, Cury JA: Effect of enzymatic and NaOCl treatments on acrylic roughness and on biofilm accumulation. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 356-362.
22. Chau VB, Saunders TR, Pimsler M, Elfring DR: In-depth disinfection of acrylic resins. *J Prosthet Dent* 1995; 74: 309-313.
23. Koroğlu A, Şahin O, Dede DÖ, Deniz ŞT, Karacan Sever N, Özkan S: Efficacy of denture cleaners on the surface roughness and *Candida albicans* adherence of sealant agent coupled denture base materials. *Dent Mater J* 2016; 35: 810-816.
24. Brożek R, Koczorowski R, Rogalewicz R, Voelkel A, Czarnecka B, Nicholson JW: Effect of denture cleansers on chemical and mechanical behavior of selected soft lining materials. *Dent Mater* 2011; 27: 281-290.
25. Raszewski Z: Wpływ wybranych leków i środków dezynfekujących na trwałość podścielenia protez. *Mag Stomatol* 2000; 10: 10-14.
26. Waters MG, Jagger RG: Mechanical properties of an experimental denture soft lining material. *J Dent* 1999; 27: 197-202.
27. Brożek R, Rogalewicz R, Koczorowski R, Voelkel A: The influence of denture cleansers on the release

- of organic compounds from soft lining materials. *J Environ Monit* 2008; 10: 770-774.
28. *Kazanji MN, Watkinson AC*: Soft lining materials: their absorption of, and solubility in, artificial saliva. *Br Dent J* 1988; 165: 91-94.
29. *Kawano F, Dootz ER, Koran A, Craig RG*: Comparison of bond strength of six soft denture liners to denture base resin. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 368-371.
30. *Mese A, Guzel KG*: Effect of storage duration on the hardness and tensile bond strength of silicone and acrylic resin-based resilient denture liners to a processed denture base acrylic resin. *J Prosthet Dent* 2008; 99: 153-159.
31. *Geramipناه F, Haghghi M, Akbar A, Zeighami S*: Effect of Denture Cleansers on Tensile Bond Strength of Soft Liners to Denture Base Resin. *J Islam Dent Assoc Iran* 2013; 25: 172-179.
32. *Kulak-Ozkan Y, Sertgoz A, Gedik H*: Effect of thermocycling on tensile bond strength of six silicone-based, resilient denture liners. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 303-310.
33. *Pinto JRR, Mesquita MF, Nóbilo MA de A, Henriques GEP*: Evaluation of varying amounts of thermal cycling on bond strength and permanent deformation of two resilient denture liners. *J Prosthet Dent* 2004; 92: 288-293.
34. *Pinto JRR, Mesquita MF, Henriques GEP, de Arruda Nóbilo MA*: Effect of thermocycling on bond strength and elasticity of 4 long-term soft denture liners. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 516-521.
35. *León BLT, Del Bel Cury AA, Rodrigues Garcia RCM*: Water sorption, solubility, and tensile bond strength of resilient denture lining materials polymerized by different methods after thermal cycling. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 282-287.
36. *Mancuso DN, Goiato MC, Zuccolotti BCR, Moreno A, dos Santos DM, Pesqueira AA*: Effect of thermocycling on hardness, absorption, solubility and colour change of soft liners. *Gerodontology* 2012; 29: e215-219.

Address: 60-812 Poznań, ul. Bukowska 70  
Tel.: +4861 8547078  
e-mail: broz@ump.edu.pl

Received: 9<sup>th</sup> May 2017  
Accepted: 23<sup>rd</sup> August 2017