

Alternative methods of disinfection of removable prosthetic restorations – microwaves, photodynamic therapy, electrolyzed water

Alternatywne metody dezynfekcji ruchomych uzupełnień protetycznych – mikrofałe, terapia fotodynamiczna, woda elektrolizowana

Marek Witold Mazur, Kamila Wróbel-Bednarz, Dominika Gawlak

Department of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Head: prof. dr hab. n. med. *Jolanta Kostrzewa-Janicka*

KEY WORDS:

microwave radiation, photodynamic therapy, electrolyzed water, denture stomatitis, denture cleansing

HASŁA INDEKSOWE:

promieniowanie mikrofalowe, terapia fotodynamiczna, woda elektrolizowana, stomatopatia protetyczna, czyszczenie protez

Summary

Acrylic resin remains the primary material used in the fabrication of removable prostheses, despite the continuous development of prosthetic materials science. The nature of the material's composition requires frequent hygienic procedures and occasional disinfection, typically employing chemical agents. This paper presents methods for conducting disinfection of prosthetic components. The first method involves utilization of microwaves generated by a household microwave oven. Through its thermal and non-thermal effects, microwaves eliminate microorganisms from the surface and the body of the acrylic material. Numerous studies confirm the effectiveness of microwaves in the treatment of prosthetic stomatitis. Another method is photodynamic therapy, which entails applying a light-sensitive chemical solution (photosensitizer) to the prosthesis' surface and then irradiating it using a lamp with an appropriate wavelength spectrum. Light, by activating the photosensitizer, leads to the elimination of microorganisms

Streszczenie

Tworzywo akrylowe pozostaje podstawowym materiałem służącym do wykonania protez ruchomych, pomimo ciągłego rozwoju materiałoznawstwa protetycznego. Charakter budowy tworzywa wymaga przeprowadzania częstych zabiegów higienicznych, a często także dezynfekcji, do której używa się najczęściej środków chemicznych. W pracy przedstawiono metody, pozwalające przeprowadzić dezynfekcję uzupełnienia protetycznego. Pierwszą z nich jest zastosowanie mikrofal, generowanych przez domową kuchenkę mikrofalową. Poprzez jej działanie termiczne i pozatermiczne pozwalają one na usunięcie drobnoustrojów z powierzchni i wnętrza tworzywa akrylowego. Liczne badania potwierdzają skuteczność mikrofal w leczeniu stomatopatii protetycznych. Kolejną metodą jest terapia fotodynamiczna. Polega ona na naniesieniu roztworu chemicznego wrażliwego na światło (fotouczulacza) na powierzchnię protezy a następnie naświetleniu jej przy pomocy lampy o odpowiednim spektrum długości fali. Światło aktywując fotouczulacz do-

through the generation of active oxygen species. In clinical practice, achieving the desired antimicrobial effect may require combining this method with another one. The last agent on the list that is suitable for prosthesis' disinfection is electrolyzed water. It is produced by the electrolysis of table salt water solution. Applied voltage on the electrodes induces a series of electrochemical reactions, resulting in a weak solution of sodium hypochlorite with a high redox potential. This method is safe, cost-effective, and environmentally friendly.

prowadza do likwidacji drobnoustrojów poprzez wytworzenie aktywnych form tlenu. W praktyce klinicznej uzyskanie odpowiedniego efektu przeciwdrobnoustrojowego wymaga połączenia tej metody z inną. Innym opisanym środkiem mogącym znaleźć zastosowanie w dezynfekcji protez jest woda elektrolizowana. Powstaje ona poprzez elektrolizę roztworu soli kuchennej. Przyłożone napięcie na elektrodach doprowadza do szeregu reakcji elektrochemicznych, którego efektem jest powstanie słabego roztworu podchlorynu sodu o dużym potencjale oksydoredukcyjnym. Metoda ta jest bezpieczna, ekonomiczna i ekologiczna.

Introduction

The manufacturing process for removable dental prostheses relies on methyl methacrylate (PMMA). Scanning electron microscopy (SEM) images reveal that this material is composed of supermolecules with free spaces between them, which can create niches for microorganisms. Being a carrier and reservoir of microorganisms, a prosthesis can influence the occurrence of numerous local and systemic diseases, as confirmed by numerous studies.^{1,2} Due to their structure, acrylic-based dentures should undergo frequent hygiene procedures. According to the American Prosthodontic Society guidelines, acrylic prostheses should be cleaned daily by moistening and brushing with a cleaning agent that does not contain abrasive materials.³ This recommendation is dictated by the lower wear resistance of acrylic material compared to natural teeth. Using abrasive agents for prosthesis hygiene, such as toothpaste with a high RDA index, leads to the formation of scratches and grooves on the surface, which creates an additional retention factor for biofilm.⁴ Professional prophylaxis, using ultrasonics, should also be conducted annually, according to the American Prosthodontic Society.³ The lack of regular

Wstęp

Podstawowym materiałem używanym w wykonawstwie ruchomych uzupełnień protetycznych jest polimetakrylan metylu (PMMA). W obrazach ze skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) uwidoczniono, że tworzywo to zbudowane jest z supermolekuł, pomiędzy którymi znajdują się wolne przestrzenie, które mogą tworzyć nisze dla drobnoustrojów. Proteza będąc nośnikiem i rezerwuarem mikroorganizmów może wpływać na wystąpienie licznych chorób miejscowych i ogólnych, co zostało potwierdzone wieloma badaniami.^{1,2} Ze względu na swoją budowę, uzupełnienia protetyczne z akrylu powinny być poddawane częstym zabiegom higienizacyjnym. Zgodnie z wytycznymi Amerykańskiego Towarzystwa Protetycznego protezy akrylowe powinny być czyszczone codziennie poprzez zwilżanie i szczotkowanie z dodatkiem środka czyszczącego bez zawartości materiału ściernego.³ Zalecenie to wynika z mniejszej twardości materiału akrylowego w porównaniu do zębów własnych. Zastosowanie w higienie protez środków ściernych, takich jak pasta do zębów z wysokim wskaźnikiem RDA skutkuje powstaniem rys i bruzd na powierzchni, które stają się dodatkowym czynnikiem retencji dla biofilmu.⁴ Profilaktyka profesjonalna według

cleaning and control of prostheses can lead to the development of inflammatory conditions in the mucous membrane beneath the prosthesis, known as prosthetic stomatopathy. Stomatopathies are primarily caused by the plaque on acrylic dentures, a biofilm composed of organic and inorganic residues, bacteria, fungi, and proteins. They occur in up to 70% of removable prosthesis users. They often result in infections, primarily due to the excessive growth of *Candida* fungi. In 53% of healthy patients *C. albicans* is present in the oral cavity. In the prosthesis-wearing population, this percentage increases to 100% and can be a source of infection. Prevention of stomatopathies involves meticulous and systematic cleaning of removable acrylic prosthetic appliances, as well as periods of nocturnal abstaining from wearing them.^{2,5-7}

Classical methods of treating prosthetic stomatopathy are based on the implementation of proper hygiene habits and, in the case of confirmed infection, the inclusion of antifungal therapy. These measures are usually sufficient, but sometimes it is necessary to reline or even replace the prosthetic device with a new one. However, replacing the denture does not always solve the problem because the new prosthesis can also become infected. Therefore, the classical treatment protocol involves applying an antifungal antibiotic to newly made dentures to prevent infection. Widespread use of antifungal antibiotics leads to the selection of strains with increasing resistance, necessitating the search for new means and methods of treating this disease.^{3,8,9} Currently chlorhexidine, glutaraldehyde, sodium hypochlorite, iodophors, alcohols, and other agents are used for the disinfection of dentures.^{1,10,11} Their disadvantage lies in their impact on the physical properties and aesthetics of the material.¹

Amerykańskiego Towarzystwa Protetycznego powinna być przeprowadzana raz w roku, przy użyciu ultradźwięków.³ Brak regularnego czyszczenia i kontroli protez, może doprowadzić do rozwoju stanu zapalnego błony śluzowej podłoża protetycznego, tj. wystąpienia stomatopatii protetycznej. Stomatopatie są wywołane przede wszystkim przez płytkę protez akrylowych – biofilm złożony z organicznych i nieorganicznych resztek, bakterii, grzybów oraz białek. Występują nawet u 70% użytkowników ruchomych uzupełnień protetycznych. W ich przebiegu często dochodzi do infekcji, wywołanej głównie przez nadmierny wzrost grzybów z rodzaju *Candida*. U 53% zdrowych pacjentów *C. albicans* jest gatunkiem obecnym w jamie ustnej. W populacji użytkowników protez odsetek ten wzrasta do 100% i może być przyczyną infekcji. Zapobieganie występowaniu stomatopatii polega na skrupulatnym i systematycznym czyszczeniu ruchomych uzupełnień protetycznych z akrylu oraz użytkowni ich z przerwą nocną.^{2,5-7}

Klasyczne metody leczenia stomatopatii protetycznych opierają się na wdrożeniu właściwych nawyków higienicznych, a w przypadku potwierdzonego zakażenia włączenia terapii przeciwgrzybiczej. Zazwyczaj są to działania wystarczające, lecz czasami konieczne jest podścielenie a nawet wymiana uzupełnienia protetycznego na nowe. Wymiana uzupełnienia nie zawsze rozwiązuje problem, gdyż nowa proteza również może ulec zakażeniu. Dlatego klasyczny protokół leczenia obejmuje нанесение antybiotyku przeciwgrzybicznego na nowo wykonane protezy, by uniknąć zakażenia. Szerokie zastosowanie antybiotyków przeciwgrzybiczych prowadzi do selekcji szczepów o narastającej oporności, dlatego konieczne jest poszukiwanie nowych środków i metod leczenia tej choroby.^{3,8,9} Obecnie do dezynfekcji protez używa się chlorheksydyne, glutaraldehyd, podchloryn sodu, jodofory, alkohole i inne środki.^{1,10,11} Wadą ich stosowania jest wpływ na właściwości fizyczne i estetykę materiału.¹

Aim

The aim of this study is to present alternative and less common methods for cleaning and disinfecting removable dentures, including the microwave method, photodynamic therapy, and soaking in electrolyzed water.

Application of Microwave Radiation

Microwaves, waves with a length ranging from 1 mm to 1 m, are generated in a magnetron. When they penetrate the structure of the acrylic material, they force polar molecules to align following the orientation of the electromagnetic field. Polar molecules, such as water, have one end negatively charged and the other positively charged. Due to the variability of the magnetic field, molecules rotate, inducing friction between molecules and consequently generating heat. This heating mechanism is referred to in the literature as dielectric heating.¹²⁻¹⁴ In 1985, Rohrer and Bulard proposed the use of microwaves for sterilizing materials that cannot be autoclaved.¹⁵ An experiment conducted by *Karibasappa* et al. showed that a microwave oven with a power of 1350W and a working time of 16 minutes had effectiveness comparable to an autoclave. The authors proved this by comparing the sterility of test strips containing *Geobacillus stearothermophilus*. Furthermore, microwave sterilization consumes 80% less energy than autoclaving and is much quicker.¹⁴

So far, no consensus has been reached on the impact of microwaves on microorganisms. There are two theories regarding the antimicrobial action. The first, known as the thermal theory, assumes that inactivation occurs by increasing the temperature above the critical value for the proteins building the microorganisms' cells, resulting in denaturation and impairment of metabolism. The second hypothesis assumes a direct interaction of radiation with the structural elements of microorganisms. The absorption of an appropriate dose of radiation, without

Cel pracy

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie alternatywnych i mniej rozpowszechnionych metod służących do oczyszczania i dezynfekcji ruchomych uzupełnień protezycznych, w tym metody mikrofalowej, terapii fotodynamicznej i namaczania w wodzie elektrolizowanej.

Zastosowanie promieniowania mikrofalowego

Mikrofale, czyli fale o długości od 1 mm do 1 m wytwarzane są w magnetronie. Wnikając w strukturę tworzywa akrylowego wymuszają ustawienie się cząsteczek polarnych zgodnie z orientacją pola elektromagnetycznego. Cząsteczki polarne, takie jak woda na jednym końcu naładowane są ujemnie, a na drugim dodatnio. Z uwagi na zmienność pola magnetycznego dochodzi do rotacji cząsteczek, co indukuje tarcie molekuł i w efekcie generowane jest ciepło. Podgrzewanie w tym mechanizmie określa się w literaturze mianem podgrzewania dielektrycznego.¹²⁻¹⁴ W roku 1985 Rohrer i Bulard zaproponowali zastosowanie mikrofal w sterylizacji materiałów, które nie mogą być poddawane działaniu autoklawu.¹⁵ Doświadczenie przeprowadzone przez *Karibasappa* i wsp. pokazało, że kuchenka mikrofalowa przy mocy 1350W i czasie pracy 16 minut ma efektywność porównywalną do zastosowania autoklawu. Autorzy udowodnili to, porównując sterylność pasków testowych zawierających *Geobacillus stearothermophilus*. Co więcej sterylizacja przy użyciu mikrofal zużywa 80% mniej energii w porównaniu do zastosowania autoklawu i trwa o wiele krócej.¹⁴

Do tej pory nie udało się osiągnąć konsensusu w kwestii oddziaływania mikrofal na mikroorganizmy. Istnieją dwie teorie działania przeciwdrobnoustrojowego. Pierwsza, nazywana teorią termiczną, zakłada inaktywację na drodze zwiększenia temperatury powyżej wartości krytycznej dla białek budujących

reaching the critical temperature, leads to functional impairment and cell death. Cells contain numerous ionized chemical compounds that absorb radiation to a greater extent than water. Such interaction is referred to in the literature as non-thermal action.^{4,5,16-18} Immersion of the prosthesis in distilled water during disinfection allows a better distribution of temperature within the material and enhances the microwave's ability to destroy microorganisms. Distilled water, as a hypoosmotic solution towards bacteria, flows into them, intensifying the action of microwaves. The lack of immersion in water does not guarantee complete disinfection. Some authors propose immersing the prosthesis in disinfectant solutions during the action of microwaves to achieve even greater antimicrobial effectiveness.^{4,16,18-20} Traditional disinfection methods, such as immersing prostheses in antiseptic solutions, do not guarantee the complete removal of microorganisms from the pores of the acrylic material. *Candida albicans* can penetrate up to 631 μm into the material.²¹ Unlike chemical compounds, microwave radiation effectively destroys microorganisms both on the surface and inside the material. According to numerous authors, placing the prosthesis in a household microwave oven for 3 minutes at 650W provides complete disinfection of the prosthetic appliance.^{16,19,22-25} The drawback of using this type of disinfection, compared to antiseptics, is the lack of prolonged action against microorganisms. The denture, despite being disinfected when the microwave oven stops operating, immediately becomes infected again after contact with the patient's mucosa. However, prostheses regularly subjected to microwave treatment are less susceptible to re-infection compared to the prostheses treated with antifungal antibiotics, so microwave radiation from a household microwave oven may find application in the treatment of prosthetic stomatopathies, as confirmed by numerous reports.^{5,18,23,26}

komórki drobnoustrojów, skutkując ich denaturacją i upośledzeniem metabolizmu. Druga hipoteza zakłada oddziaływanie promieniowania bezpośrednio ze strukturami budulcowymi mikroorganizmu. Absorbacja odpowiedniej dawki promieniowania bez osiągnięcia krytycznej temperatury doprowadza w tym mechanizmie do upośledzenia funkcji i w efekcie śmierci komórki. W komórkach obecne są liczne zjonizowane związki chemiczne, które absorbują promieniowanie w większym stopniu niż woda. Oddziaływanie takie w literaturze określa się mianem działania pozatermicznego.^{4,5,16-18} Zanurzenie protezy w wodzie destylowanej podczas dezynfekcji pozwala na lepsze rozłożenie temperatury w tworzywie i poprawia zdolność do niszczenia mikroorganizmów. Woda destylowana jako roztwór hiposmotyczny względem bakterii wpływa do ich wnętrza intensyfikując działanie mikrofal. Brak zanurzenia w wodzie nie gwarantuje pełnej dezynfekcji protezy. Niektórzy autorzy proponują zanurzanie protezy w roztworach dezynfekcyjnych w czasie stosowania promieniowania mikrofalowego, by uzyskać jeszcze większą skuteczność przeciwdrobnoustrojową.^{4,16,18-20} Klasyczne metody dezynfekcji, w postaci zanurzenia protez w roztworach antyseptyków nie pozwalają na całkowite usunięcie drobnoustrojów z porów tworzywa akrylowego. *Candida albicans* może penetrować nawet na 631 μm w głąb tworzywa.²¹ Promieniowanie mikrofalowe, w przeciwieństwie do związków chemicznych bardzo skutecznie niszczy drobnoustroje znajdujące się zarówno na powierzchni, jak i we wnętrzu tworzywa. Zdaniem licznych autorów umieszczenie protezy w domowej kuchni mikrofalowej na 3 minuty przy mocy 650W pozwala na pełną dezynfekcję uzupełnienia protetycznego.^{16,19,22-25} Wadą stosowania tego rodzaju dezynfekcji w porównaniu do antyseptyków jest brak przedłużonego działania przeciw mikroorganizmom. Proteza, pomimo jałowości w momencie zakończenia pracy

According to some authors, the use of microwaves produces clinical effects comparable to soaking acrylic material for 10 minutes in a solution of chlorhexidine or glutaraldehyde.^{16,24} When using chlorhexidine, the recurrence rate of stomatopathy is 84%, whereas for microwave disinfection, the recurrence rate is only 56%.⁵ Moreover, the use of microwaves does not lead to the oxidation of free acrylic monomers, which is the main cause of discoloration of prosthetic appliances during disinfection with sodium hypochlorite. Unlike the use of chlorhexidine or microwaves, sodium hypochlorite does not ensure the removal of methicillin-resistant *S. aureus* strains.^{17,24} The effectiveness of microwaves in the treatment of stomatopathy is similar to the use of antifungal antibiotics.^{5,18,21,23} In a study conducted by *Neppelbrock* et al., prostheses exposed to microwaves had no fungal cells in microbiological tests, whereas prostheses treated with miconazole showed few fungal hyphae.¹⁸ In comparison to both miconazole and nystatin, microwaves demonstrate similar or greater clinical effectiveness.^{18,23,27} The action of microwaves, in conjunction with miconazole, leads to the alleviation of stomatopathy symptoms, similar to the use of microwaves in monotherapy. However, monotherapy with miconazole does not effectively reduce clinical symptoms or improve mycological test results.²⁸ The optimal settings for microwave ovens in the treatment of prosthetic stomatopathies involve placing the appliance in the microwave for 3 minutes at 650W once a week for two weeks.^{5,29} These settings are based on the fact that the generated energy is sufficient to destroy microorganisms while having minimal impact on the properties of acrylic material. Using higher power or longer durations is permissible, but there is insufficient research on the influence of microwave radiation on the physical properties of the material.

kuchenki mikrofalowej, natychmiast ulega powtórnemu zakażeniu po kontakcie ze śluzówką pacjenta. Jednakże protezy poddawane regularnie działaniu mikrofal nie są tak podatne na reinfekcje w porównaniu do uzupełnień, na które nanoszone są antybiotyki przeciwgrzybicze, zatem promieniowanie mikrofalowe pochodzące z domowej kuchenki mikrofalowej może znaleźć zastosowanie w leczeniu stomatopatii protetycznych, co potwierdzone jest przez liczne doniesienia.^{5,18,23,26}

Zdaniem niektórych autorów zastosowanie mikrofal daje porównywalne efekty kliniczne do namaczania tworzywa akrylowego przez 10 min w roztworze chlorheksydyny lub glutaraldehydu.^{16,24} W przypadku zastosowania chlorheksydyny wskaźnik reinfekcji stomatopatii wynosi 84%, podczas gdy dla dezynfekcji mikrofalowej wskaźnik nawrotów wynosi tylko 56%.⁵ Ponadto stosowanie mikrofal nie doprowadza do utleniania się wolnego monomeru akrylowego, co jest główną przyczyną występowania odbarwień uzupełnień protetycznych podczas dezynfekcji z użyciem podchlorynu sodu. Podchloryn sodu w przeciwieństwie do zastosowania chlorheksydyny lub mikrofal nie zapewnia usunięcia metacyliinopornych szczepów *S. aureus*.^{17,24} Skuteczność mikrofal w leczeniu stomatopatii jest podobna do stosowania antybiotyków przeciwgrzybiczych.^{5,18,21,23} W badaniu przeprowadzonym przez *Neppelbrocka* i wsp. protezy poddawane działaniu mikrofal nie wykazywały obecności komórek grzybiczych w badaniach mikrobiologicznych, podczas gdy protezy, na które nanoszono mikonazol prezentowały nieliczne strzępki grzyba.¹⁸ W porównaniu zarówno do mikonazolu, jak i nystatyny mikrofałe prezentują taką samą lub większą efektywność kliniczną.^{18,23,27} Działanie mikrofal w skojarzeniu z mikonazolem powoduje ustąpienie objawów stomatopatii podobne do zastosowania mikrofal w monoterapii. Natomiast stosowanie mikonazolu w monoterapii nie pozwala na

The incomplete understanding of how microwave radiation impacts the physical properties of the material is a limitation of microwave disinfection. Much depends on the type of material used and the research protocol, especially the number of cycles performed, which explains the discrepancies in research results.^{4,19,21,22} Compared to immersion in disinfectants, microwaves increase the roughness and hardness of the surface of self-polymerizing acrylic material. Acrylic polymerized by the classical thermal method under pressure, despite being subjected to multiple microwave treatments, does not exhibit significant changes on the surface.³⁰ During microwave disinfection, slightly larger colour changes are observed compared to immersion in different liquids.³¹ *Moffa* et al. explain this phenomenon by stating that microwaves cause the polymerization of residual monomer, which results in the sealing of pigments that had previously penetrated the material's pores.²⁹ The ability of microwaves to polymerize acrylic material is successfully utilized in prosthetic laboratories for prosthesis manufacturing.³² The use of microwaves for disinfection enables the polymerization of free monomers remaining in the material after polymerization, improving the material's conversion rate.^{17,29} Free monomer is responsible for the negative properties of the prosthesis, such as susceptibility to discoloration and water sorption. Furthermore, it is the most common cause of chemical irritation of the mucous membrane, so the use of microwave disinfection can serve as a preventative measure against such changes. Unfortunately, material polymerization is associated with volumetric shrinkage, which can lead to deformations that make the prosthesis unusable. According to studies conducted so far, this shrinkage does not exceed 1.12% and ceases to occur after 84 cycles of microwave disinfection.³¹ A study by *Basso* et al. also showed that following the 3-minute time and 650W power setting

skuteczną redukcję zarówno objawów klinicznych, jak i wyników badań mykologicznych.²⁸ Optymalne ustawienie kuchenki mikrofalowej w leczeniu stomatopatii protetycznych polega na umieszczeniu uzupełnienia na 3 min przy 650W raz w tygodniu, przez dwa tygodnie.^{5,29} Takie ustawienia wynikają z tego, że generowana ilość energii jest wystarczająca do zniszczenia drobnoustrojów, zapewniając minimalny wpływ na właściwości tworzywa akrylowego. Zastosowanie większej mocy czy czasu jest dopuszczalne, jednakże brak jest wystarczającej liczby badań na temat wpływu promieniowania mikrofalowego na właściwości fizyczne tworzywa.

Ograniczeniem dezynfekcji mikrofalowej jest nie w pełni poznany wpływ promieniowania na właściwości fizyczne tworzywa. Wiele zależy od rodzaju użytego tworzywa i zastosowanego protokołu badawczego, szczególnie liczby przeprowadzonych cykli, co tłumaczy rozbieżności w wynikach badań.^{4,19,21,22} Mikrofałe w porównaniu do namaczania w środkach dezynfekcyjnych powodują zwiększenie chropowatości i twardości powierzchni tworzywa samopolimeryzującego. Tworzywo polimeryzowane klasyczną metodą termiczną pod ciśnieniem pomimo wielokrotnego poddawania działaniu mikrofal nie wykazuje istotnych zmian na powierzchni.³⁰ Podczas dezynfekcji mikrofalowej obserwuje się nieco większe zmiany w kolorze w porównaniu do namaczania w różnych płynach.³¹ *Moffa* i wsp. tłumaczą tę zależność tym, że mikrofałe powodują polimeryzację resztkowego monomeru, co skutkuje zamknięciem w porach barwników, które wniknęły wcześniej w tworzywo.²⁹ Zdolność mikrofal do polimeryzacji tworzywa akrylowego wykorzystywana jest z powodzeniem w laboratoriach protetycznych w wykonawstwie protez.³² Zastosowanie mikrofal do dezynfekcji pozwala na polimeryzację wolnego monomeru pozostałego w tworzywie po polimeryzacji, poprawiając współczynnik

preserves the unchanged pattern of occlusal contacts in microwave-disinfected complete prostheses.²⁶ General conditions for minimizing the possibility of volumetric changes state that 850W power and 15 minutes of operation should not be exceeded.⁴ Research tends to favour the use of low power over a long duration rather than rapid disinfection at high power. Immersing the appliance in water during microwave use, despite improving disinfecting properties, causes greater volumetric changes compared to disinfection while maintaining the dryness of the prosthetic appliance. Water, while transferring the heat absorbed from the microwave, evenly heats the entire material, leading to monomer polymerization and the release of stresses, resulting in material deformation.^{22,33} Further material studies are necessary to determine the appropriate parameters at which acrylic prosthetic appliances can be disinfected effectively and safely.

Application of photodynamic therapy

Photodynamic therapy (PDT) is a modern medical tool used widely in medicine. It is commonly employed in dermatology, gynecology, and urology. Its successful outcomes in treatment and its potential as complementary therapy imply its growing utility in medicine. There is particular hope for the application of photodynamic therapy in cancer treatment.³⁴ Its advantages include selectivity against specific microorganisms, minimal development of microbial resistance, simple application, and minimal impact on the physical properties of acrylic material.^{35,36} Oskar Raab, a medical student from Munich, is considered the discoverer of photodynamic therapy. In the early 20th century, conducting experiments with protists and acridine dye, he observed that paramecia absorbed the dye, which exhibited fluorescent effects after illumination. Intense light eventually led to the death of the incubated organism. Raab and

konwersji tworzywa.^{17,29} Wolny monomer odpowiada za negatywne właściwości protezy, takie jak podatność na zmianę koloru czy sorpcję wody. Ponadto jest on najczęstszą przyczyną występowania podrażnień chemicznych błony śluzowej, więc stosowanie dezynfekcji mikrofalowej może służyć zapobieganiu występowania tego typu zmian. Polimeryzacja tworzywa wiąże się jednak ze skurczem objętościowym, który może spowodować odkształcenia uniemożliwiające użytkowanie protezy. Według przeprowadzonych do tej pory badań skurcz ten nie przekracza 1,12% i przestaje występować po 84 cyklach dezynfekcji mikrofalowej.³¹ Badanie *Basso* i wsp. wykazało ponadto, że przestrzeganie czasu 3 minut i mocy 650 W pozwala zachować niezmienny wzór kontaktów okluzyjnych w protezach całkowitych dezynfekowanych mikrofalami.²⁶ Ogólnymi warunkami minimalizacji możliwości wystąpienia zmian objętościowych jest nie przekraczanie mocy 850 W i czasu działania 15 min.⁴ W badaniach przeważa tendencja stosowania niskich mocy przez długi czas, niż szybkiej dezynfekcji przy wysokiej mocy. Zanurzenie uzupełnienia w wodzie podczas stosowania mikrofal, pomimo poprawy właściwości dezynfekujących, powoduje większe zmiany objętościowe w porównaniu do dezynfekcji przy zachowaniu suchości uzupełnienia protetycznego. Woda transferując ciepło zaabsorbowane z mikrofal podgrzewa równomiernie całe tworzywo, doprowadzając do polimeryzacji monomeru i uwolnienia naprężeń, co skutkuje odkształceniami tworzywa.^{22,33} Konieczne są kolejne badania materiałowe, by określić właściwe parametry, przy których można efektywnie i bezpiecznie dezynfekować akrylowe uzupełnienia protetyczne.

Zastosowanie terapii fotodynamicznej

Terapia fotodynamiczna (PDT) jest nowoczesnym narzędziem wykorzystywanym coraz szerzej w leczeniu. Powszechnie

his professors, Jodlbauer, Jesionick, and von Tappeiner, carefully studied this phenomenon and discovered that the application of acridine dye to paramecium's habitat functioned as a photosensitizer. They described the mechanism of this therapy and coined the term "photodynamic phenomenon". In 1905, Raab's discovery was used in skin tumour treatment, but despite initial successes, this new treatment method did not gain widespread recognition and was forgotten for many years.^{34,37,38}

Photodynamic therapy relies on a triad of factors: a photosensitizer, light, and oxygen dissolved in cells. The photodynamic reaction can only occur when these three factors are present and complementary. A photosensitizer is a substance sensitive to radiation of a specific wavelength. After application, it enters the cytoplasm of targeted cells. When light of the appropriate wavelength is applied, it results in photon absorption, leading to the excitation of the photosensitizer molecule. It transforms from its ground state into an activated singlet state. The activated molecule can lose energy as a result of photon emission, which is observed as fluorescence, or it can transform into a triplet state, the active therapeutic form.^{34,38,39} The photosensitizer in the triplet state can react with cells in two ways. The first mechanism involves transferring an electron or a hydrogen atom from the photosensitizer to a cell molecule (substrate). This leads to the formation of a free or anionic end on the photosensitizer molecule and a corresponding anionic or free end on the substrate molecule. The free ends of molecules react with oxygen dissolved in the cytoplasm, resulting in the formation of reactive oxygen species (ROS): peroxides, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. The second reaction type involves direct interaction of the photosensitizer's active form with oxygen molecules. This occurs because the triplet photosensitizer and oxygen have the same electron spin. The transfer of electrons

wykorzystywana jest w dermatologii, ginekologii i urologii. Dobre wyniki osiągnięte w leczeniu, a także możliwość stosowania jej jako terapii uzupełniającej, implikują jej coraz większą przydatność w medycynie. Szczególne nadzieje są pokładane w zastosowaniu terapii fotodynamicznej w leczeniu nowotworów.³⁴ Jej zaletami są selektywność wobec wybranych mikroorganizmów, minimalna oporność drobnoustrojów, prosta aplikacja oraz minimalny wpływ na właściwości fizyczne tworzywa akrylowego.^{35,36} Za odkrywcę terapii fotodynamicznej można uznać Oskara Raaba - studenta medycyny z Monachium. Na początku XX wieku przeprowadzając eksperymenty z udziałem protistów i barwnika akrydynowego zaobserwował, że pantofelek absorbuje barwnik, który po naświetleniu daje efekt fluorescencyjny. Silne światło po pewnym czasie doprowadziło do śmierci inkubowanego organizmu. Po zbadaaniu tego zjawiska odkryto, że aplikowana do habitatu pantofelka akrydyna jest fotouczulaczem. Opisano mechanizm działania tej terapii i wprowadzono termin „zjawisko fotodynamiczne”. W 1905 roku zastosowano odkrycie Raaba w leczeniu guzów skóry, lecz nowa metoda leczenia pomimo sukcesów nie dotarła do szerokiego grona odbiorców i została na wiele lat zapomniana.^{34,37,38}

W terapii fotodynamicznej kluczową rolę odgrywa triada czynników: fotouczulacz, światło i tlen rozpuszczony w komórkach. Tylko w obecności i komplementarności tych trzech czynników może zajść reakcja fotodynamiczna. Fotouczulacz jest substancją wrażliwą na promieniowanie o określonej długości. Po aplikacji dostaje się on do cytoplazmy komórek, które mają zostać zniszczone. Aplikacja światła o odpowiedniej długości skutkuje absorpcją fotonów, co daje wzbudzenie cząsteczki fotouczulacza. Przekształca się ona z formy podstawowej w aktywowaną formę singletową. Aktywowana cząsteczka może utracić energię w wyniku emisji fotonu

or hydrogen atoms leads to the formation of reactive oxygen species (ROS).^{34,38,39} The second type of reaction is more important for antibacterial action. The type of reaction depends significantly on factors such as pH, electrical balance, and the structure of the photosensitizer.³⁴ ROS are capable of damaging intracellular structures, leading to cell death through various mechanisms. Damage to mitochondria leads to apoptosis, degradation of the cell membrane leads to necrosis, and the destruction of lysosomes leads to cell autolysis.^{34,38} As already mentioned, photodynamic therapy requires three components: a photosensitizer, light and oxygen molecules. Phenothiazine dyes such as toluidine blue or methylene blue are used as photosensitizers in dentistry, as well as rose Bengal (RB), erythrosine, and many others,¹ among them porphyrins, which are used for the diagnosis and treatment of cancerous lesions such as leukoplakia or squamous cell carcinoma.³⁹ The second factor is the appropriate light supply equipment. Formerly used arc lamps nowadays are being replaced with tungsten, metal halide and fluorescent lamps (particularly useful when illuminating large surfaces). Another group of lamps that activate the photosensitizer are lasers of several types. Increasingly popular LED lamps and lasers are also available.^{38,39} However, the most important factor is not the type of lamp, but the spectrum of light it provides so that it can activate the photosensitizer. The last component is oxygen. Its presence determines high clinical effectiveness, although there are photosensitizers that operate under anaerobic conditions.^{6,39} In antibacterial and antifungal therapy, the problem is the presence of a cell wall, which hinders the incorporation of the photosensitizer into the cell. Moreover, the genetic variability of microorganisms leads to the development of mechanisms for pumping the photosensitizer out of the cell. To prevent

– obserwuje się wtedy fluorescencję, lub cząsteczka fotouczulacza przekształca się w stan tripletu, będącego właściwą aktywną formą terapeutyczną.^{34,38,39} Fotouczulacz w stanie tripletu może reagować z komórką na dwa sposoby. Pierwszy mechanizm polega na przeniesieniu elektronu lub atomu wodoru z fotouczulacza na molekułę komórki (substrat). Prowadzi to do powstania wolnego lub anionowego końca na cząsteczce fotouczulacza i anionowego lub wolnego końca na cząsteczce substratu. Wolne końce na cząsteczkach reagują z cząsteczkami rozpuszczonego w cytopazie tlenu, powodując powstanie reaktywnych form tlenu (ROS): nadtlenu, rodników hydroksylowych i tlenu singletowego. Reakcja drugiego typu polega na interakcji aktywnej formy fotouczulacza bezpośrednio z cząsteczkami tlenu. Jest to możliwe, gdyż tripletowy fotouczulacz i tlen posiadają taki sam spin elektronowy. W wyniku przekazywania elektronu lub atomu wodoru dochodzi do powstania reaktywnych form tlenu (ROS).^{34,38,39} Dla działania przeciwbakteryjnego większe znaczenie ma reakcja drugiego typu. Którego typu reakcja zajdzie zależy w dużej mierze od pH, równowagi elektrycznej, czy struktury fotouczulacza.³⁴ Reaktywne formy tlenu są w stanie niszczyć struktury wewnątrzkomórkowe, doprowadzając do śmierci komórki w różnych mechanizmach. Przy zniszczeniu mitochondriów dochodzi do apoptozy, przy degradacji błony komórkowej – do nekrozy. Zniszczenie lizosomów prowadzi natomiast do autolizy komórek.^{34,38} Jak już wspomniano terapia fotodynamiczna wymaga 3 komponentów – fotouczulacza, światła i cząsteczek tlenu. W roli fotouczulaczy w stomatologii stosowane są barwniki fenotiazydowe, takie jak błękit toluidyny, czy błękit metylenowy, ponadto róż Bengalski (RB), erytrozyna i wiele innych.¹ Inne, np. porfiryny służą do diagnostyki i leczenia zmian nowotworowych, takich jak leukoplakia czy rak płaskonabłonkowy.³⁹

these negative consequences, scientists are trying to implement photosensitizers with a positive charge, so that the photosensitizer is attracted to the negatively polarized bacterial cell membrane. Research is underway to create microparticles of photosensitizers that will penetrate biological membranes more easily.³⁹

Nowadays, photodynamic therapy is widely used in periodontology. In this field of dentistry, photosensitizers like methylene blue and toluidine blue are applied in the treatment of periodontal pockets, where reactive oxygen species destroy periopathogens after illumination.³⁹ Photodynamic therapy is also implemented in endodontics, where a photosensitizer introduced into root canals performs disinfection following chemomechanical instrumentation.³⁸ In prosthodontics, this method is useful for disinfecting impressions and removable prosthetic appliances.^{1,39} Numerous studies show that the use of photodynamic therapy can significantly reduce microbial loads and even achieve disinfection of prosthetic appliances. In cases of stomatopathy, PDT should not be considered a standalone disinfection method for prosthetic appliances but rather a supplementary procedure.^{6,8,40} A study conducted by *Mima et al.* showed that photodynamic therapy was slightly less effective than nystatin. In the study, success was defined as the absence of infection recurrence 15 days after the completion of treatment. Nystatin was successful in 53% of cases, while photodynamic therapy achieved success in 45% of therapeutic interventions.⁴¹ Another study conducted by *de Senna et al.* showed that twice-weekly photodynamic therapy demonstrated comparable efficacy to using miconazole three times a day. Furthermore, in patients using miconazole, stomatopathy lesions subsided more slowly.⁴² Combination of antifungal therapy with nystatin and photodynamic therapy was analysed by *Afrozzi et al.* Their experiment

Drugim czynnikiem jest odpowiednia aparatura dostarczająca światło. Dawniej stosowane lampy łukowe są współcześnie zastępowane przez lampy wolframowe, metalohalogenkowe i fluorescencyjne (szczególnie przydatne przy naświetlaniu dużych powierzchni). Inną grupą lamp aktywujących fotouczulacz są lasery różnych typów. Dostępne są też coraz bardziej popularne lampy i lasery LED.^{38,39} Najważniejszym czynnikiem nie jest jednak rodzaj lampy, ale spektrum światła przez nią dostarczanego. Lampa musi dostarczać takie spektrum światła, które jest zdolne do aktywowania fotouczulacza. Ostatnią składową jest tlen. Jego obecność warunkuje wysoką skuteczność kliniczną, chociaż istnieją fotouczulacze działające w warunkach beztlenowych.^{6,39} W terapii przeciwbakteryjnej i przeciwgrzybiczej problemem jest obecność ściany komórkowej, która utrudnia inkorporację fotouczulacza do wnętrza komórki. Ponadto zmienność genetyczna drobnoustrojów prowadzi do rozwinięcia się mechanizmów wypompowywania fotouczulacza z komórki. W celu zapobiegania tym negatywnym następstwom naukowcy próbują wdrażać fotouczulacze o ładunku dodatnim, tak by fotouczulacz był przyciągany przez ujemnie spolaryzowaną błonę komórkową bakterii. Trwają prace na stworzeniu mikrocząsteczek fotouczulaczy, które łatwiej będą przenikać przez błony biologiczne.³⁹

Terapia fotodynamiczna jest współcześnie szeroko stosowana w periodontologii. Fotouczulacz w postaci błękitu metylenowego i błękitu toluidyny są aplikowane do patologicznych kieszonek przyzębnych, gdzie po naświetleniu reaktywne formy tlenu niszczą periopatogeny.³⁹ Jest ona również wdrażana w endodoncji, gdzie fotouczulacz wprowadzany do kanałów korzeniowych umożliwia dezynfekcję po chemomechanicznym opracowaniu.³⁸ W protetyce metoda ta użyteczna jest w dezynfekcji wycisków i ruchomych

showed that this combined approach, involving double PDT application and daily application of miconazole, led to a faster reduction in the number of pathogens compared to monotherapy with nystatin.⁶ The effectiveness of a single photodynamic therapy application as a standalone disinfection method is modest. To ensure the destruction of all colonizing microorganisms on acrylic materials, repeated applications are recommended. The use of a photosensitizer in gel form, rather than a liquid, improves the effectiveness of PDT, as well as the greater power of the light source used.^{2,43,44} The use of alternative photosensitizers, such as riboflavin (Vitamin B2), enables the effective neutralization of *C. albicans* fungi.⁴⁵ Nevertheless, in a study by *Alhenaki* et al., none of the tested photosensitizers matched the effectiveness of chlorhexidine. Different photosensitizers exhibit their highest activity against specific bacterial species, whereas chlorhexidine has a broad-spectrum action.¹ Nonetheless, *Vlahova* et al. demonstrated that the use of gallium-based photosensitizers led to complete disinfection in over 80% of acrylic samples. According to their findings, photodynamic therapy with this photosensitizer is equivalent to soaking a prosthesis in 0.5% sodium hypochlorite.³⁵ Antibacterial activity is significant against planktonic microorganisms, but biofilm-structured bacteria are much more resistant to many disinfectants, including photodynamic therapy.^{1,2,43,44} To address this issue, researchers are exploring the combination of ultrasonic action with photodynamic therapy.⁴⁶ The patented device called “Ultrasonic Photodynamic Inactivation Device” consists of a basket placed in a metal bathtub filled with a photosensitizer solution. The device contains twenty-eight red-coloured diodes. The item to be disinfected is placed in the basket, and once the device is closed, it is activated.⁸ The device can use a water- or alcohol-based photosensitizer solution. The combination

uzupełnień protetycznych.^{1,39} Liczne badania wskazują, że zastosowanie terapii fotodynamicznej pozwala na istotne zmniejszenie miana drobnoustrojów, a nawet osiągnięcie jałowości uzupełnienia protetycznego. Przy występowaniu stomatopatii PDT nie powinna jednak być traktowana jako samodzielna metoda dezynfekcji uzupełnień protetycznych, lecz jako działanie uzupełniające.^{6,8,40} Badanie przeprowadzone przez *Mima* i wsp. pokazało, że terapia fotodynamiczna ma nieznacznie mniejszą skuteczność od nystatyny. W badaniu za sukces uznawano brak remisji zakażenia po 15 dniach od zakończenia leczenia. W przypadku zastosowania nystatyny sukces został odniesiony u 53% pacjentów, podczas gdy wśród pacjentów leczonych terapią fotodynamiczną sukcesem zakończyło się 45 % interwencji terapeutycznych.⁴¹ Inne badanie przeprowadzone przez *de Senna* i wsp. dowiodło, że terapia fotodynamiczna stosowana 2 razy tygodniowo wykazuje porównywalną skuteczność do stosowania mikonazolu trzy razy dziennie. Co więcej, u pacjentów stosujących mikonazol zmiany spowodowane stomatopatią wycofywały się wolniej.⁴² Połączenie terapii przeciwgrzybiczej z wykorzystaniem nystatyny z terapią fotodynamiczną zbadali *Afrozi* i wsp. Wyniki ich eksperymentu wykazały, że terapia skojarzona zakładająca dwukrotną aplikację PDT i codzienne nanoszenie mikonazolu powoduje szybszą redukcję liczby patogenów w porównaniu do monoterapii z użyciem nystatyny.⁶ Efektywność jednokrotnej aplikacji terapii fotodynamicznej stosowanej jako samodzielna metoda dezynfekcji jest niewystarczająca. By upewnić się co do zniszczenia wszystkich drobnoustrojów kolonizujących tworzywo akrylowe zaleca się wielokrotne powtarzanie aplikacji. Zastosowanie fotouczulacza w żelu zamiast w płynie poprawia skuteczność PDT, podobnie jak większa moc użytego źródła światła.^{2,43,44} Użycie alternatywnych fotouczulaczy, np.: ryboflawiny

of the disinfecting properties of alcohol with photodynamic therapy significantly improves the effectiveness of disinfection compared to using a water-based photosensitizer solution.⁸ Translating the results of laboratory research into clinical practice can be challenging because various strains of Gram-negative bacteria are resistant to disinfectants. Further clinical studies are necessary to confirm the effectiveness of this method.

Soaking in electrolyzed water

Electrolyzed water is an affordable, eco-friendly, and effective method of disinfection. It is produced using tap water and table salt. It gained popularity in the 1950s as a useful tool in agriculture and the food industry and has been used in medicine since the 1960s. Recently, it has also been introduced into dental procedures.^{47,48} Some countries like China and the USA, permit medical applications of electrolyzed water, unlike the European Union, where such use is not legally sanctioned.⁴⁹ Electrolyzed water is generated by the electrolysis of an aqueous solution of sodium chloride. The electrolysis process takes place in an electrolyzer, which is a chamber filled with an aqueous electrolyte solution with immersed electrodes. Connecting current to the system initiates an electrochemical reaction. Negatively charged ions travel to the anode and react with each other to produce molecules of oxygen, chlorine, hydrochloric, and chloric acid. On the anode side, the water has an acidic pH. Positive charges move to the cathode, causing hydrogen and sodium hydroxide molecules to be released. On the cathode side, the water has an alkaline pH. Such differences in the pH of solutions can be achieved thanks to the presence of a semi-permeable membrane between the electrodes.^{10,48,50} Without the membrane, solutions of different pH levels mix and create neutral water. Using hydrochloric acid as an electrolyte without a membrane produces

(Vit. B2) pozwala na bardzo skuteczne unieszkodliwienie grzybów *C. albicans*.⁴⁵ Jednak w badaniu *Alhenaki* i wsp. żaden z użytych fotouczulaczy nie dorównywał chlorheksydynie pod względem efektywności. Poszczególne fotouczulacze wykazują maksimum swojej aktywności wobec poszczególnych gatunków bakterii, podczas gdy chlorheksydyna działa szerokospektralnie.¹ Jednakże *Vlahova* i wsp. stosując fotouczulacz na bazie galu doprowadzili do pełnej dezynfekcji ponad 80 % próbek tworzywa akrylowego. Ich zdaniem terapia fotodynamiczna z zastosowaniem tego fotouczulacza jest ekwiwalentem namaczania protezy w 0,5% podchlorynie sodu.³⁵ Aktywność przeciwbakteryjna jest znacząca wobec drobnoustrojów w stanie planktonicznym, jednakże bakterie zorganizowane w biofilm są dużo bardziej odporne na wiele środków dezynfekcyjnych, w tym terapię fotodynamiczną.^{1,2,43,44} Problem ten starano się rozwiązać poprzez połączenie działania ultradźwięków z terapią fotodynamiczną.⁴⁶ Opatentowane urządzenie pod nazwą „Ultrasonic Photodynamic Inactivation Device” składa się z koszyczka umieszczonego w metalowej wannie wypełnionej roztworem fotouczulacza. Wewnątrz urządzenia znajduje się 28 diod w kolorze czerwonym. Przedmiot poddawany dezynfekcji umieszczany jest w koszyczku, po czym po zamknięciu pokrywy urządzenie jest uruchamiane.⁸ Urządzenie może wykorzystywać roztwór wodny lub alkoholowy fotouczulacza. Połączenie dezynfekujących właściwości alkoholu z właściwościami terapii fotodynamicznej zdecydowanie poprawia skuteczność dezynfekcji w porównaniu do zastosowania wodnego roztworu fotouczulacza.⁸ Problematyczne jest przełożenie wyników badań laboratoryjnych na praktykę kliniczną, gdyż w praktyce istnieje wiele szczepów gram-ujemnych bakterii, które są odporne na środki dezynfekcyjne. By potwierdzić skuteczność tej metody konieczne są kolejne badania kliniczne.

slightly acidic electrolyzed water.^{48,51} These variations find application in skin and mucous membrane disinfection. The antibacterial effect depends on the concentration of chloric(I) acid (HOCl) and redox potential. Chloric(I) acid can exist in ionized or non-ionized forms. According to Brønsted's theory of acids and bases, a weak acid, such as chloric(I) acid, dissociates in an alkaline medium, while in an acidic medium, it remains in a non-ionized form.⁵² This acid has maximum activity against microorganisms in non-ionized form. The ionic form OCl⁻, due to its negative charge, repels from the negatively charged cell membrane and is destructive only to surface proteins.⁴⁹ Due to its small size, non-ionized chloric(I) acid penetrates the bacterial cell and leads to chlorination or oxidation of key proteins that are components of metabolic pathways important for survival.^{10,49,50,53} The non-ionized form is 80 times more active than the ionized form.⁵² Electrolyzed water, due to its high redox potential and chlorine compounds, effectively destroys viruses through the degradation of proteins and nucleic acids. Toxins can be destroyed in a similar mechanism.⁵⁰ The effectiveness of electrolyzed water in disinfection depends on water hardness, its movement, and electrolyte concentration. Hard water has more minerals, and thus greater electrical conductivity – higher concentrations of chlorine compounds can be generated in it.^{54,55} The movement of water and its mixing deteriorate the properties of the solution. As a result of the movement, ions with opposite charges combine and the electrochemical reaction producing chloric(I) acid occurs with less efficiency. The oxidation-reduction potential of such water is lower.⁵⁴ The problem with using this agent is that it decreases its effectiveness in contact with proteins and organic substances. Therefore, before disinfecting the prosthesis, it should be cleaned of macroscopic contamination.⁵⁶

The greatest advantage of electrolyzed

Namaczanie w wodzie elektrolizowanej

Woda elektrolizowana jest tanią, ekologiczną i skuteczną metodą dezynfekcji. Do jej uzyskania wykorzystuje się wodę kranową i sól kuchenną. W latach 50-tych została rozpowszechniona jako środek użyteczny w rolnictwie i przemyśle spożywczym, a od lat 60-tych stosowana jest w medycynie. Od niedawna jest także wdrażana do procedur stomatologicznych.^{47,48} Współcześnie prawodawstwo coraz liczniejszych państw, m.in.: Chin czy USA dopuszcza medyczne użycie wody elektrolizowanej, w przeciwieństwie do prawodawstwa Unii Europejskiej, w której takie zastosowanie nie jest usankcjonowane prawnie.⁴⁹ Woda elektrolizowana powstaje w wyniku elektrolizy roztworu wodnego chlorku sodu. Proces elektrolizy przebiega w elektrolizerze, który jest komorą wypełnioną wodnym roztworem elektrolitu z zanurzonymi elektrodami. Podłączenie prądu do układu powoduje inicjację reakcji elektrochemicznej. Do anody wędrują jony naładowane ujemnie, które reagując ze sobą dają cząsteczki tlenu, chloru, kwasu chlorowodorowego i chlorowego. Po stronie anody woda ma kwasowe pH. Do katody przemieszczają się ładunki dodatnie, przez co dochodzi do wydzielania się cząsteczek wodoru i wodorotlenku sodu, po stronie katody woda ma pH zasadowe. Takie zróżnicowanie w odczynie roztworów można uzyskać dzięki obecności błony półprzepuszczalnej pomiędzy elektrodami.^{10,48,50} Przy braku błony, roztwory o różnym pH mieszają się ze sobą i powstaje woda neutralna. Zastosowanie w roli elektrolitu kwasu chlorowodorowego przy braku błony półprzepuszczalnej daje lekko kwaśną wodę elektrolizowaną.^{48,51} Przytoczone wyżej rodzaje wody znajdują zastosowanie w dezynfekcji skóry i błon śluzowych. Efekt przeciwbakteryjny zależy w głównej mierze od stężenia kwasu chlorowego (I) (HOCl) i potencjału oksydoredukcyjnego. Kwas chlorowy (I) może występować w formie zjonizowanej lub niezjonizowanej. Zgodnie z

water is its low toxicity and wide spectrum of action. Chloric(I) acid is naturally produced in human cells by a myeloperoxidase enzyme.⁵⁷ Producing electrolyzed water is easy, inexpensive and environmentally friendly. The apparatus for generating electrolyzed water has such a simple structure that it can even be made at home.¹⁰ Production of one batch of disinfectant takes only 8 minutes and can be carried out repeatedly during the day.^{10,51} Electrolyzed water does not alter the taste or smell of disinfected items.⁴⁸ This agent does not require any disposal, because after use it does not differ chemically from an aqueous solution of table salt.^{49,56} The main drawback of electrolyzed water is possible toxicity resulting from the content of chloric(I) acid, especially when it occurs in high concentrations. It is also not a fixed asset; it should be used immediately after production. Storage in a sealed container extends its effective use to 40 days, or up to 65 days when cooled.¹⁰ Due to its redox potential, it can lead to damage to synthetic resins and metal corrosion.^{53,58,59} Compared to other available disinfectants, the changes in acrylic structure caused by soaking in electrified water are minimal.^{47,56} Electrolyzed water can be widely used in dentistry, from the water substitute in the dental unit circulation to the surface disinfectant. It effectively kills oral bacteria and reduces the population of *C. albicans* present on the surface of acrylic material.⁶⁰ However, electrolyzed water is less effective than cleaning agents in terms of removing biofilms composed of *Candida*.⁴⁷ The study by *Jnanadev* et al. showed that soaking for 5 minutes in a solution of acidic electrolyzed water destroys all microorganisms. However, with a shorter soaking time, electrolyzed water is slightly inferior to 2% glutaraldehyde in terms of effectiveness.¹⁰ *Nagamatsu* et al. reached slightly different results. In their opinion, a 5-minute soaking does not guarantee disinfection of acrylic material; only 10 minutes

teorią kwasów i zasad Brønsteda, słaby kwas jakim jest kwas chlorowy (I) ulega dysocjacji w środowisku zasadowym, natomiast w kwaśnym pozostaje w formie niezjonizowanej.⁵² Kwas ten wykazuje maksymalną aktywność wobec drobnoustrojów w formie niezjonizowanej. Forma jonowa OCl^- z powodu ujemnego ładunku odpycha się od ujemnie naładowanej błony komórkowej i działa destrukcyjnie tylko wobec białek powierzchniowych.⁴⁹ Niezjonizowany kwas chlorowy (I), ze względu na niewielkie rozmiary penetruje do wnętrza komórki bakteryjnej, gdzie doprowadza do chlorowania lub oksydacji kluczowych protein, będących składnikami ważnych dla przeżycia szlaków metabolicznych.^{10,49,50,53} Aktywność formy niezjonizowanej jest 80-krotnie większa niż formy zjonizowanej.⁵² Woda elektrolizowana poprzez swój wysoki potencjał oksydoredukcyjny i zawartość związków chloru z powodzeniem niszczy też wirusy, poprzez degradację białek i kwasów nukleonowych. W analogicznym mechanizmie mogą być niszczone toksyny.⁵⁰ Aktywność przeciwdrobnoustrojowa wody elektrolizowanej zależy też od twardości wody, jej ruchu i koncentracji elektrolitu. Woda twarda posiada więcej minerałów, a co za tym idzie większe przewodnictwo elektryczne i większe stężenia związków chloru udaje się w niej wygenerować.^{54,55} Ruch wody, jej mieszanie pogarsza właściwości roztworu. W wyniku ruchu jony o przeciwnych ładunkach łączą się ze sobą i reakcja elektrochemiczna dająca kwas chlorowy (I) zachodzi z mniejszą efektywnością. Potencjał oksydoredukcyjny takiej wody jest mniejszy.⁵⁴ Problemem w stosowaniu tego środka jest spadek skuteczności w kontakcie z białkami i substancjami organicznymi. Przed odkażaniem protezy powinna być ona zatem oczyszczona z makroskopowych zanieczyszczeń.⁵⁶

Największą zaletą wody elektrolizowanej jest niska toksyczność i szerokie spektrum działania. Kwas chlorowy(I) jest naturalnie

of soaking, preferably combined with the use of ultrasound, ensures a lack of microorganisms.⁵⁶ The study by Song et al. also shows that the presented disinfection method does not have a destructive effect on the acrylic material. Electrolyzed water does not cause statistically significant changes compared to soaking in tap water.⁴⁷ The changes are present when using cleaning agents in the form of tablets, which are preferred by the younger generation. The hardness measured on the Vickers scale decreases significantly after using denture-cleaning tablets.^{61,62} Colour stability in electrolyzed water and when using cleaning tablets is slightly lower than in the case of soaking in pure water. In cytotoxicity tests, electrolyzed water does not show statistically significant differences compared to pure water, unlike cleaning tablets. Moreover, a denture cleaned with electrolyzed water is less susceptible to recolonization compared to a denture cleaned with tablets, which is due to changes in the surface structure when tablets are used. Thus, weaker antibacterial properties are compensated in this case by minimal destruction of the material and a less severe risk of recolonization.⁴⁷

Conclusion

Maintaining optimal hygiene by patients using removable dental prostheses is a crucial activity that enables the long-term use of prosthetic appliances without inducing inflammation in the mucous membrane of prosthetic foundation. The most significant problem with using cleaning agents such as cleaning tablets or popular disinfectant solutions is the induction of changes in the physical properties of acrylic materials with prolonged use. Proposed methods should not only be effective against microorganisms but also safe for prosthetic appliances. The use of microwaves is a promising method for

wytwarzany w komórkach ludzkich przez enzym mieloperoksydazę.⁵⁷ Uzyskiwanie jej jest łatwe, tanie i ekologiczne. Aparat służący do produkcji wody elektrolizowanej ma tak prostą budowę, że może być nawet wykonany w warunkach domowych.¹⁰ Produkcja jednej partii środka dezynfekcyjnego trwa zaledwie 8 minut i może być wykonywana wielokrotnie w ciągu dnia.^{10,51} Woda elektrolizowana nie zmienia smaku i zapachu dezynfekowanych przedmiotów.⁴⁸ Środek ten nie wymaga też żadnej utylizacji, gdyż po zużyciu nie różni się chemicznie od roztworu wodnego soli kuchennej.^{49,56} Zasadniczą wadą wody elektrolizowanej jest możliwa toksyczność wynikająca z zawartości kwasu chlorowego (I), szczególnie gdy występuje on w dużych stężeniach. Nie jest to też środek trwały, powinna być ona wykorzystana zaraz po wyprodukowaniu. Szczelne zamknięcie przedłuża możliwość efektywnego stosowania wody elektrolizowanej do 40 dni, a schłodzenie do 65 dni.¹⁰ Z uwagi na potencjał oksydoredukcyjny może doprowadzać do uszkodzenia żywic syntetycznych i korozji metali.^{53,58,59} W porównaniu do innych dostępnych środków dezynfekcyjnych zmiany w strukturze akryli spowodowane namaczaniem w wodzie elektrolizowanej są minimalne.^{47,56} Woda elektrolizowana może mieć szerokie zastosowanie w stomatologii, od zamiennika wody w obiegu unitu stomatologicznego, do środka dezynfekującego powierzchnie. Woda elektrolizowana skutecznie zabija bakterie bytujące w jamie ustnej i zmniejsza populację gatunku *C. albicans*, bytującego na powierzchni tworzywa akrylowego.⁶⁰ Woda elektrolizowana wykazuje jednak niższą skuteczność w porównaniu do środków czyszczących pod względem usuwania biofilmów złożonych z grzybów rodzaju *Candida*.⁴⁷ Badanie Jnanadev i wsp. wykazało, że namaczanie przez 5 minut w roztworze kwaśnej wody elektrolizowanej powoduje zniszczenie wszystkich drobnoustrojów. Przy krótszym czasie namaczania woda

disinfecting a prosthetic restoration, offering a straightforward procedure that patients can perform on their own, of wide accessibility and at low costs. The widespread use of microwave disinfection can significantly reduce the incidence of cross infections in hospitals or nursing homes. In dental laboratories, microwave disinfection can be a rapid tool for interrupting infection pathways. At home, this method can effectively reduce the microbial load on prosthetic appliances, protecting against local and systemic diseases. Photodynamic therapy, despite its limited effectiveness, is an interesting tool that can be used as an adjunct to traditional disinfection methods. The low risk of resistance occurrence and ease of application speak in favour of using it in clinical practice. The drawback is the requirement for specialized and expensive equipment. Although not particularly effective on its own, when combined with alcohol, ultrasonics or antifungal antibiotics, photodynamic therapy can effectively reduce microbial counts. Electrolyzed water has slightly weaker antimicrobial properties compared to commercially available disinfectants. However, it has the advantage of both minimal impact on acrylic materials and an economic aspect of its use. Therefore, electrolyzed water is an excellent disinfectant for removable prosthesis users, particularly in less affluent communities. The presented disinfection methods are currently used as experimental ones. However, conducting further material and microbiological research to confirm the effectiveness and safety of these methods will undoubtedly solidify their position as hygiene methods for cleaning prosthetic devices and will reduce the incidence of treatment complications, such as prosthetic stomatopathies.

elektrolizowana ustępuje jednak nieznacznie pod względem skuteczności 2% glutaraldehydowi.¹⁰ Nieco odmienne wyniki przedstawił zespół *Nagamatsu* i wsp. Ich zdaniem 5-minutowe namaczanie nie gwarantuje dezynfekcji tworzywa akrylowego; dopiero 10-minutowe namaczanie, najlepiej połączone z zastosowaniem ultradźwięków, skutkuje wyeliminowaniem mikroorganizmów.⁵⁶ Badanie *Song* i wsp. wskazuje też, że przedstawiony sposób dezynfekcji nie ma destrukcyjnego wpływu na tworzywo akrylowe. Woda elektrolizowana nie powoduje istotnych statystycznie zmian w porównaniu do namaczania w wodzie kranowej.⁴⁷ Zmiany są za to obecne przy stosowaniu preferowanych przez młodsze pokolenie środków czyszczących w postaci tabletek. Twardość mierzona skalą Vickersa istotnie spada po stosowaniu tabletek do czyszczenia protez.^{61,62} Stabilność koloru w wodzie elektrolizowanej i przy stosowaniu tabletek do czyszczenia jest nieco mniejsza niż w przypadku namaczania w czystej wodzie. W badaniach cytotoksyczności woda elektrolizowana nie wykazuje istotnych statystycznie różnic w porównaniu do zwykłej wody, w przeciwieństwie do tabletek czyszczących. Ponadto proteza czyszczona wodą elektrolizowaną jest mniej podatna na rekolonizację w porównaniu do protezy czyszczonej tabletkami, co jest spowodowane zmianami w strukturze powierzchni przy stosowaniu tabletek. Zatem słabsze właściwości antybakteryjne są w tym przypadku kompensowane minimalnym zniszczeniem tworzywa i mniej nasilonym ryzykiem rekolonizacji.⁴⁷

Podsumowanie

Utrzymanie optymalnej higieny przez pacjentów użytkujących ruchome uzupełnienia protetyczne jest kluczową czynnością umożliwiającą długoczasowe użytkowanie uzupełnień bez indukowania stanów zapalnych błony śluzowej podłoża protetycznego. Największym

problemem stosowania środków czyszczących, takich jak tabletki czyszczące czy popularne płyny dezynfekcyjne jest fakt indukcji zmian we właściwościach fizycznych tworzywa akrylowego przy długotrwałym stosowaniu. Proponowane środki powinny być nie tylko skuteczne przeciwko mikroorganizmom, ale też bezpieczne dla uzupełnień protetycznych. Zastosowanie mikrofal jest obiecującą metodą dezynfekcji uzupełnień protetycznych, oferującą szeroką dostępność i niskie koszty oraz prostą procedurę, którą pacjent może wykonać samodzielnie. Rozpowszechnienie dezynfekcji mikrofalowej może zmniejszyć znacznie częstość występowania zakażeń krzyżowych w szpitalach czy domach opieki. W pracowniach protetycznych zastosowanie dezynfekcji mikrofalowej może być bardzo szybkim narzędziem do przecięcia dróg infekcji. W warunkach domowych metoda ta może być z powodzeniem wykorzystywana w redukcji miana drobnoustrojów bytujących na uzupełnieniu protetycznym, co chroni przed chorobami miejscowymi i ogólnoustrojowymi. Terapia fotodynamiczna pomimo swojej niewielkiej skuteczności, jest interesującym narzędziem, które można wykorzystać, jako dodatek do klasycznych metod dezynfekcji. Małe ryzyko wystąpienia oporności i łatwość

aplikacji przemawiają za wykorzystywaniem jej w postępowaniu klinicznym. Problematyczny jest jednak fakt, że wymaga specjalistycznego, drogiego sprzętu. Samodzielnie stosowana nie wykazuje wprawdzie odpowiedniej aktywności przeciwdrobnoustrojowej, lecz skojarzona z alkoholem, ultradźwiękami czy antybiotykami przeciwgrzybiczymi skutecznie redukuje miano drobnoustrojów. Woda elektrolizowana w porównaniu do komercyjnie dostępnych środków dezynfekcyjnych charakteryzuje się nieco słabszymi właściwościami przeciwdrobnoustrojowymi. Na jej korzyść przemawia jednak minimalny wpływ na tworzywo akrylowe i ekonomiczny aspekt jej użycia. Woda elektrolizowana jest zatem dobrym środkiem dezynfekcyjnym dla użytkowników protez ruchomych, szczególnie w mało zamieszanych społecznościach. Zaprezentowane metody dezynfekcji są obecnie stosowane jedynie jako metody eksperymentalne. Jednakże przeprowadzenie kolejnych badań materiałowych i mikrobiologicznych, które potwierdzą skuteczność i bezpieczeństwo tych metod, z pewnością ugruntuje ich pozycję jako metod higienizacyjnych uzupełnień protetycznych i zmniejszy częstość występowania takich stanów chorobowych jak stomatopatie protetyczne.

References / Piśmiennictwo

1. *Alhenaki AM, Alqarawi FK, Tanveer SA, Alshahrani FA, Alshahrani A, AlHamdan EM, Alzahrani KM, Aldahiyan N, Naseem M, Vohra F, Abduljabbar T*: Disinfection of acrylic denture resin polymer with Rose Bengal, Methylene blue and Porphyrin derivative in photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2021; 35: 102362.
2. *de Figueiredo Freitas LS, Rossoni RD, Jorge AOC, Junqueira JC*: Repeated applications of photodynamic therapy on *Candida glabrata* biofilms formed in acrylic resin polymerized. *Lasers Med Sci* 2017; 32(3): 549-555.
3. *Mierzwińska-Nastalska E*: Guidelines for the care and maintenance of complete dentures. *Prosthodontics* 2011; 61(4): 293-303.
4. *Brondani MA, Samim F, Feng H*: A conventional microwave oven for denture cleaning: a critical review. *Gerodontology* 2012; 29(2): e6-15.
5. *da Costa RMB, Poluha RL, De la Torre Canales G, Junior JFS, Conti PCR, Neppelenbroek*

- KH, Porto VC*: The effectiveness of microwave disinfection in treating Candida-associated denture stomatitis: a systematic review and metaanalysis. *Clin Oral Investig* 2020; 24(11): 3821-3832.
6. *Afrozzi B, Zomorodian K, Lavaee F, Zare Shahrabadi Z, Mardani M*: Comparison of the efficacy of indocyanine green-mediated photodynamic therapy and nystatin therapy in treatment of denture stomatitis. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2019; 27: 193-197.
 7. *Obrąpalski P, Wieczorek A*: Methods of preventing biofilm deposition on removable dentures – literature review. *Prosthodontics* 2021; 71(3): 279-288.
 8. *Silva DF, Toledo Neto JL, Machado MF, Bochnia JR, Garcez AS, Foggiato AA*: Effect of photodynamic therapy potentiated by ultrasonic chamber on decontamination of acrylic and titanium surfaces. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2019; 27: 345-353.
 9. *Walczak M, Walawska A, Wróbel-Bednarz K*: Combined pharmacological and prosthetic treatment of a patient presenting denture induced stomatitis complicated by fungal infection – case report. *Prosthodontics* 2016; 66(5): 334-344.
 10. *Jnanadev KR, Satish Babu CL, Shilpa Shetty S, Surendra Kumar GP, Sheetal HS*: Disinfecting the acrylic resin plate using electrolyzed acid water and 2% glutaraldehyde: a comparative microbiological study. *J Indian Prosthodont Soc* 2011; 11(1): 36-44.
 11. *Suma K, Leoney A, Seyed AA*: Denture disinfectants used in prosthodontics – a review. *International Journal of Contemporary Medical Research* 2018; 5: C15-C18.
 12. *Vollmer M*: Physics of the microwave oven. *Physics Education* 2003; 39(1): 74-81.
 13. *Vasudev H, Singh G, Bansal A, Vardhan S, Thakur L*: Microwave heating and its applications in surface engineering: a review. *Materials Research Express* 2019; 6(10).
 14. *Karibasappa GN, Sujatha DV, Singh DR, Prithiani DP, Rajeshwari D*: Microwave A Novel Wave in Dentistry. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)* 2013; 12(3): PP 01-05.
 15. *Rohrer MD, Bulard RA*: Microwave sterilization. *J Am Dent Assoc* 1985; 110(2): 194-198.
 16. *Mojarad N, Khalili Z, Aalaei S*: A comparison of the efficacy of mechanical, chemical, and microwave radiation methods in disinfecting complete dentures. *Dent Res J (Isfahan)* 2017; 14(2): 131-136.
 17. *Papadiochou S, Polyzois G*: Hygiene practices in removable prosthodontics: A systematic review. *Int J Dent Hyg* 2018; 16(2): 179-201.
 18. *Neppelenbroek KH, Pavarina AC, Palomari Spolidorio DM, Sgavioli Massucato EM, Spolidorio LC, Vergani CE*: Effectiveness of microwave disinfection of complete dentures on the treatment of Candida-related denture stomatitis. *J Oral Rehabil* 2008; 35(11): 836-846.
 19. *Ribeiro DG, Pavarina AC, Dovigo LN, Palomari Spolidorio DM, Giampaolo ET, Vergani CE*: Denture disinfection by microwave irradiation: a randomized clinical study. *J Dent* 2009; 37(9): 666-672.
 20. *Dixon DL, Breeding LC, Faler TA*: Microwave disinfection of denture base materials colonized with *Candida albicans*. *J Prosthet Dent* 1999; 81(2): 207-214.
 21. *Santos Sousa TM, Rodrigues de Farias O, Dantas Batista AU, Souto de Medeiros E, Santiago BM, Cavalcanti YW*: Effectiveness of denture microwave disinfection for treatment of denture stomatitis: A systematic review and meta-analysis. *Int J Dent Hyg* 2021; 19(1): 62-77.
 22. *Klironomos T, Katsimpali A, Polyzois G*: The Effect of Microwave Disinfection on Denture Base Polymers, Liners and Teeth: A Basic Overview. *Acta Stomatol Croat* 2015; 49(3): 242-253.

23. *Silva MM, Mima EG, Colombo AL, Sanita PV, Jorge JH, Massucato EM, Vergani CE*: Comparison of denture microwave disinfection and conventional antifungal therapy in the treatment of denture stomatitis: a randomized clinical study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012; 114(4): 469-479.
24. *Altieri KT, Sanita PV, Machado AL, Giampaolo ET, Pavarina AC, Vergani CE*: Effectiveness of two disinfectant solutions and microwave irradiation in disinfecting complete dentures contaminated with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Am Dent Assoc* 2012; 143(3): 270-277.
25. *Sanita PV, Vergani CE, Giampaolo ET, Pavarina AC, Machado AL*: Growth of *Candida* species on complete dentures: effect of microwave disinfection. *Mycoses* 2009; 52(2): 154-160.
26. *Basso MFM, Giampaolo ET, Vergani CE, Pavarina AC, Machado AL, Jorge JH*: Occlusal Pressure Analysis of Complete Dentures after Microwave Disinfection: A Clinical Study. *J Prosthodont* 2017; 26(7): 606-610.
27. *Zhang LW, Fu JY, Hua H, Yan ZM*: Efficacy and safety of miconazole for oral candidiasis: a systematic review and meta-analysis. *Oral Dis* 2016; 22(3): 185-195.
28. *Emami E, Kabawat M, Rompre PH, Feine JS*: Linking evidence to treatment for denture stomatitis: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Dent* 2014; 42(2): 99-106.
29. *Moffa E, Ribeiro R, Izumida F, Lima S, Diniz R, Gonçalves L, Siqueira W, Jorge J, Giampaolo E*: Color Stability of Reline Resin after Microwave Disinfection and Immersion in Drinks for Different Periods. *J Inter Oral Health* 2016; 8: 63-70.
30. *Kabra R, Rodrigues SJ, Pai U, Shenoy R, Shetty TB, Hegde P, Mahesh M, Saldanha S*: Evaluation of chemical disinfection and microwave irradiation on denture base materials: An in vitro study. *Indian J Dent Res* 2020; 31(2): 282-290.
31. *Polychronakis N, Polyzois G, Lagouvardos P, Andreopoulos A, Ngo HC*: Long-term microwaving of denture base materials: effects on dimensional, color and translucency stability. *J Appl Oral Sci* 2018; 26: e20170536.
32. *Selecman AM, Brodine BA*: Poly (methyl-methacrylate) Microwave Processing: A Technique Paper. *J Prosthodont* 2020; 29(1): 94-96.
33. *Polychronakis N, Yannikakis S, Zissis A*: The Effect of Repeated Microwaving Disinfection on the Dimensional Stability of Acrylic Dentures. *Acta Stomatol Croat* 2014; 48(4): 279-284.
34. *Kwiatkowski S, Knap B, Przystupski D, Saczko J, Kedzierska E, Knap-Czop K, Kotlinska J, Michel O, Kotowski K, Kulbacka J*: Photodynamic therapy – mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother* 2018; 106: 1098-1107.
35. *Vlahova AP, Kisov CK, Popova EV, Haydushka IA, Mantareva VN*: A new method for photodynamic disinfection of prosthetic constructions and impressions in prosthetic dentistry. *Folia Med (Plovdiv)* 2012; 54(1): 51-57.
36. *Pražmo EJ, Mielczarek AB*: Photodynamic therapy in the treatment of denture stomatitis. *Prosthodontics* 2017; 67(4): 355-363.
37. *Allison RR, Sibata CH*: Oncologic photodynamic therapy photosensitizers: a clinical review. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2010; 7(2): 61-75.
38. *Stajer A, Kajari S, Gajdacs M, Musah-Eroje A, Barath Z*: Utility of Photodynamic Therapy in Dentistry: Current Concepts. *Dent J (Basel)* 2020; 8(2).
39. *Pražmo EJ, Kwasny M, Lapinski M, Mielczarek A*: Photodynamic Therapy As a Promising Method Used in the Treatment of Oral Diseases. *Adv Clin Exp Med* 2016; 25(4): 799-807.

40. *Roomaney IA, Holmes HK, Engel MM*: Treatment of oral fungal infections using photodynamic therapy: Systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Dent Res* 2021; 7(3): 354-364.
41. *Mima EG, Vergani CE, Machado AL, Massucato EM, Colombo AL, Bagnato VS, Pavarina AC*: Comparison of Photodynamic Therapy versus conventional antifungal therapy for the treatment of denture stomatitis: a randomized clinical trial. *Clin Microbiol Infect* 2012; 18(10): E380-388.
42. *de Senna AM, Vieira MMF, Machado-de-Sena RM, Bertolin AO, Nunez SC, Ribeiro MS*: Photodynamic inactivation of *Candida* spp. on denture stomatitis. A clinical trial involving palatal mucosa and prosthesis disinfection. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2018; 22: 212-216.
43. *Garcia BA, Panariello BHD, de Freitas Pontes KM, Duarte S*: Regimen and different surfaces interfere with photodynamic therapy on *Candida albicans* biofilms. *J Microbiol Methods* 2020; 178: 106080.
44. *de Freitas-Pontes KM, Gomes CE, de Carvalho BM, Saboia Rde S, Garcia BA*: Photosensitization of in vitro biofilms formed on denture base resin. *J Prosthet Dent* 2014; 112(3): 632-637.
45. *Alshehri AH*: Mechanical and antimicrobial effects of riboflavin-mediated photosensitization of in vitro *C. albicans* formed on polymethyl methacrylate resin. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2021; 36: 102488.
46. *Alves F, Ayala ETP, Pratavieira S*: Sonophotodynamic Inactivation: The power of light and ultrasound in the battle against microorganisms. *J Photochem and Photobiol* 2021; 7.
47. *Song YG, Lee SH*: Efficacy of newly developed denture cleaning device on physical properties of denture material and *Candida* biofilm. *J Dent Sci* 2019; 14(3): 248-254.
48. *Shiroodi SG, Ovissipour M*: Electrolyzed Water Application in Fresh Produce Sanitation. In: *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables* 2018; 67-89.
49. *Yan P, Daliri EB, Oh DH*: New Clinical Applications of Electrolyzed Water: A Review. *Microorganisms* 2021; 9(1).
50. *Huang Y-R, Hung Y-C, Hsu S-Y, Huang Y-W, Hwang D-F*: Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control* 2008; 19(4): 329-345.
51. *Rahman SM, Ding T, Oh DH*: Effectiveness of low concentration electrolyzed water to inactivate foodborne pathogens under different environmental conditions. *Int J Food Microbiol* 2010; 139(3): 147-153.
52. *da Cruz Nizer WS, Inkovskiy V, Overhage J*: Surviving Reactive Chlorine Stress: Responses of Gram-Negative Bacteria to Hypochlorous Acid. *Microorganisms* 2020; 8(8).
53. *Block MS, Rowan BG*: Hypochlorous Acid: A Review. *J Oral Maxillofac Surg* 2020; 78(9): 1461-1466.
54. *Hsu S-Y*: Effects of flow rate, temperature and salt concentration on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water. *J Food Engineering* 2005; 66(2): 171-176.
55. *Kim HJ, Tango CN, Chelliah R, Oh DH*: Sanitization Efficacy of Slightly Acidic Electrolyzed Water against pure cultures of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* spores, in Comparison with Different Water Hardness. *Sci Rep* 2019; 9(1): 4348.
56. *Nagamatsu Y, Tajima K, Kakigawa H, Kozono Y*: Application of electrolyzed acid water to sterilization of denture base part 1. Examination of sterilization effects on resin plate. *Dent Mater J* 2001; 20(2): 148-155.
57. *Odobasic D, Kitching AR, Holdsworth SR*: Neutrophil-Mediated Regulation of Innate and Adaptive Immunity: The Role of Myeloperoxidase. *J Immunol Res* 2016;

- 2016; 2349817.
58. *McReynolds D*: The Novel Use of Electrochemically Activated pH Neutral Hypochlorous Acid Solutions as Biodecontaminants for Removable PMMA Dental Prostheses, Trinity College Dublin, School of Dental Sciences. Oral Biosciences 2018.
59. *Graça A, Santo D, Quintas C, Nunes C*: Growth of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria spp.*, and their inactivation using ultraviolet energy and electrolyzed water, on 'Rocha' fresh-cut pears. Food Control 2017; 77: 41-49.
60. *Lee SH, Choi BK*: Antibacterial effect of electrolyzed water on oral bacteria. J Microbiol 2006; 44(4): 417-422.
61. *Pawela J, Szczesio-Włodarczyk A, Kula ZM*: Effect of denture cleansers on the properties of acrylic base material. Prosthodontics 2020; 70(4): 375-381.
62. *Taraszkiewicz-Sulik K, Laszewska A, Górska K, Magnuszewski Ł*: Survey-based assessment of removable denture hygiene. Prosthodontics 2016; 66(2): 126-135.

Zaakceptowano do druku: 23.03.2024 r.

Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binińskiego 6.

© Zarząd Główny PTS 2024.