

Streszczenie

Postępy w ortodoncji i protetyce stomatologicznej w dużym stopniu zależą od rozwoju nowych materiałów i konstrukcji oraz poznania złożonych procesów ich adaptacji tkankowej. Związane z tym zjawiska tarcia i korozji w dużym stopniu decydują o trwałości i jakości biomateriałów metalowych, wpływając tym samym na komfort ich użytkowania. Zagadnienia te są przedmiotem wielu badań. Większość z nich koncentruje się jednak na testach prowadzonych w płynach symulujących ślinę naturalną, których właściwości fizykochemiczne i reologiczne są dalece odmienne od ich naturalnego wzorca. Takie podejście nie daje możliwości rzetelnej oceny tarcia, zużycia i korozji testowanych biomateriałów metalowych. Właściwości tribologiczne systemu z udziałem śliny w dużym stopniu zależą od składu chemicznego, kształtującego między innymi charakterystyki reologiczne śliny. Oprócz właściwości lepkosprężystych śliny ważną rolę odgrywają procesy tworzenia biologicznych warstewek granicznych w zróżnicowanym mikrobiologicznym środowisku jamy ustnej. Obecność biofilmu na powierzchni biomateriałów metalowych może zwiększać szybkość procesów korozyjnych, w tym korozji indukowanej biologicznie.

Ważną rolę w zapobieganiu tym procesom odgrywa środowisko jamy ustnej, w tym obecność śliny i drobnoustrojów. Zaburzenia wydzielania śliny (suchość w jamie ustnej) intensyfikują procesy niszczenia biomateriałów. Stosowane są wówczas preparaty zastępcze. Brak jest jednak substytutów śliny spełniających wymogi ochronne w aspekcie tarcia, zużycia i korozji biomateriałów.

W związku z powyższym w pracy podjęto próbę opracowania własnych preparatów śliny. W ich składzie, obok mucyny i gumy ksantanowej – kształtujących zwłaszcza charakterystyki reologiczne i tribologiczne, zaproponowano wykorzystanie składników o potwierdzonych właściwościach przeciwdrobnoustrojowych. W tym celu wprowadzono analog peptydu przeciwbakteryjnego oraz nanostruktury pokryte nanocząstkami złota.

Dla przygotowanych kompozycji śliny przeprowadzono kompleksowe badania właściwości fizykochemicznych i reologicznych (w tym zwłaszcza lepkosprężystości). Otrzymane wyniki badań wykazały, że zaproponowane preparaty charakteryzują się właściwościami zbliżonymi do śliny naturalnej.

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące niszczenia tribologicznego i korozyjnego materiałów na złącza protez ruchomych i elementów aparatów ortodontycznych, z uwzględnieniem roli śliny i biofilmu. Badaniom poddano wybrane biomateriały metalowe: stal 316LV, stop Co-Cr-Mo i stop Ti-6Al-4V. Otrzymane wyniki badań tribologicznych wskazały na obniżenie oporów ruchu testowanych układów tribologicznych, zwłaszcza w środowisku kompozycji na bazie mucyny. Z kolei najniższe zużycie tribologiczne testowanych biomateriałów zanotowano w przypadku testów prowadzonych w środowisku mucyny i gumy ksantanowej. Zaobserwowano, że procesy zużycia mają złożony charakter, głównie o charakterze ściernym i adhezyjnym. Dodatkowo wykazano, że obniżenie oporów ruchu i zmniejszenie zużycia tribologicznego można uzyskać już w obecności warstewek adsorpcyjnych naniesionych na testowane powierzchnie biomateriałów metalowych. Cennym uzupełnieniem tych zagadnień były badania frettingu i fretting-korozyji, których wyniki pozwoliły na opracowanie modelu fenomenologicznego zjawisk zachodzących w tych procesach oraz ich wpływu na eksploatację biomateriałów metalowych i oddziaływanie na organizm.

Ważnym aspektem badawczym pracy była ocena możliwości wystąpienia procesu korozyji indukowanej aktywnością bakterii redukujących siarczany (SRB) na powierzchni biomateriałów metalowych. Udowodniono negatywny wpływ bakterii redukujących siarczany *Desulfotomaculum nigrificans* na powierzchnie biomateriałów metalowych, które prowadziło do powstawania wżerów korozyjnych i wzrost liczby ognisk korozyji w czasie kontaktu bakterii z testowanymi biomateriałami.

W badaniach biologicznych wykazano, że wprowadzenie do kompozycji śliny syntetycznego odpowiednika peptydu LL-37 oraz nanostruktur z nanocząstkami złota nadało preparatom aktywność przeciwdrobnoustrojową w stosunku do patogenów jamy ustnej i zmniejszyło ich adsorpcję do powierzchni elementów protetyki stomatologicznej.

Podsumowując przedstawione wyniki badań, należy stwierdzić, że opracowane kompozycje sztucznej śliny dzięki wielofunkcyjnej aktywności mogą być stosowane przez osoby noszące protezy stomatologiczne, aparaty ortodontyczne, jak również przez pacjentów z zaburzeniami wydzielania śliny. Preparaty te wymagają dalszych testów, szczególnie w kierunku ich oceny biologicznej i możliwości aplikacyjnych. Udokumentowane zainteresowanie tymi kompozycjami ze strony producentów stanowi ważki argument na potwierdzenie zasadności podjętych badań i realizacji dalszych prac.

Abstract

Corrosion and friction wear processes of selected metallic biomaterials in the environment of saliva and its substitutes

Advances in orthodontics and dental prosthetics largely depend on the development of new materials and designs as well as on learning about the complex processes of their tissue adaptation. The friction and corrosion phenomena associated with this decide the lifetime and quality of metal biomaterials to a large extent, which also affects the comfort of their use. These problems are the subject of many studies. However, most of them are focused on tests performed in fluids simulating natural saliva, with physicochemical and rheological properties that vary greatly from those of their natural standard of reference. Such an approach does not enable reliable evaluation of friction, wear and corrosion with regard to the tested metallic biomaterials. The tribological properties of a system containing saliva largely depend on the chemical composition, which shapes, among other things, saliva's rheological characteristics. Besides saliva's viscoelastic properties, processes of biological boundary layer formation play an important role in the microbiologically diverse environment of the oral cavity. The presence of biofilm on the surface of metallic biomaterials may speed up corrosion processes, including biologically induced corrosion.

The environment of the oral cavity, as well as the presence of saliva and microorganisms, play an important role in preventing these processes. Salivary secretion disorders (dry mouth) intensify the processes of biomaterials' destruction. Substitute formulas are used in such cases. However there is an absence saliva substitutes meeting protection requirements with regard to friction, wear and corrosion of biomaterials.

In relation to the above, this paper presents an attempt to develop original saliva formulas. It was proposed to use ingredients with confirmed anti-microbial properties in the composition of these formulas, besides mucin and xanthan gum - which have a particular influence on rheological and tribological characteristics. For this purpose, an antibacterial peptide analog and gold-coated nanostructures were introduced.

Comprehensive tests of physicochemical and rheological properties were performed on the prepared saliva compositions (including of viscoelasticity, in particular). Obtained test results demonstrated that the proposed formulas were characterized by properties similar to those of natural saliva.

Problems concerning tribological and corrosive destruction of materials used to make joints of mobile prosthetics and parts of orthodontic appliances are presented in this paper, with consideration of the role played by saliva and biofilm. Selected metallic biomaterials were tested: 316LV steel, Co-Cr-Mo alloy and Ti-6Al-4V alloy. Obtained results of tribological tests indicated reduction of resistance to motion of the tested tribological systems, particularly in the environment of the mucin-based composition. In turn, the lowest tribological wear among the tested biomaterials was noted in tests performed in the environment of mucin and xanthan gum. It was observed that wear processes are of a combined, predominantly abrasive and adhesive, nature. In addition, it was demonstrated that reduction of resistance to motion and of tribological wear can be already achieved in the presence of the adsorptive layers coating the surfaces of tested metallic biomaterials. Fretting and fretting-corrosion tests, the results of which made it possible to develop a phenomenological model of the phenomena occurring over the course of these processes as well as their effect on the operation of metallic biomaterials and on the body, were a valuable supplement to the problems discussed above.

An important aspect of research was to assess the potential for occurrence of the biocorrosion process induced by the activity of sulfate-reducing bacteria (SRB) on the surface of metallic biomaterials. The negative impact of *Desulfotomaculum nigrificans* sulfate-reducing bacteria on surfaces of metallic biomaterials has been demonstrated to be the cause of corrosion pitting and an elevated number of biocorrosion nuclei over the course of the bacteria's contact with the tested biomaterials.

Biological tests have demonstrated that the introduction of synthetic LL-37 peptide analog and gold-coated nanoparticles endows formulas with antimicrobial action with respect to pathogens in the oral cavity and reduces the adsorption of these pathogens to surfaces of dental prosthetics.

To summarize the presented test results, it must be stated that, thanks to their multi-functional action, the developed synthetic saliva formulas can be used by persons wearing dental prosthetics, orthodontic appliances as well as by patients with salivary secretory disorders. These formulas require further tests, particularly with regard to their biological assessment and potentials for application. The interest of manufacturers in such formulas that has already been documented is a hard argument confirming that both the studies until now and future research are justified.