

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH I FIZYKOCHEMICZNYCH ŚLINY LUDZKIEJ I JEJ SUBSTYTUTÓW

EDYTA ANDRYSEWICZ*, JOANNA MYSTKOWSKA*,
JAN R. DĄBROWSKI, ELŻBIETA KRAWCZYK-DEMBICKA

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,
KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I BIOMEDYCZNEJ,
UL. WIEJSKA 45C, 15-351 BIAŁYSTOK
* E-MAIL: EDICHEM@O2.PL; J.MYSTKOWSKA@PB.EDU.PL

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań in vitro wybranych właściwości fizykochemicznych i tribologicznych śliny ludzkiej, własnych preparatów i handlowych substytutów śliny dostępnych na polskim rynku. Oceniano wartość pH, lepkość dynamiczną oraz współczynnik tarcia i zużycie objętościowe pary tribologicznej (szkliwo-ceramika korundowa) testowanej w środowisku ślin. Otrzymane wyniki badań wykazały różnice pomiędzy testowanymi preparatami w zakresie przeprowadzonych badań. Najlepszym z własnych preparatów, pod kątem właściwości tribologicznych, był roztwór mucyn typ III w buforowanym roztworze soli fizjologicznej.

Słowa kluczowe: ślina ludzka, substytut śliny, lepkość, współczynnik tarcia, zużycie

[Inżynieria Biomateriałów 118 (2013) 23-29]

Wprowadzenie

Zaburzenia czynności gruczołów ślinowych mogą powodować hiposalivację (zmniejszenie wydzielania śliny) lub kserostomię (suchość jamy ustnej), a nawet oba te schorzenia jednocześnie [1]. U pacjentów z tego typu dolegliwościami obserwuje się np. trudności w przyjmowaniu i połykaniu pokarmów, problemy z mową (konieczność ciągłego popijania wody), szybko postępującą próchnicę okrężną, skłonność do owrzodzeń błony śluzowej i wtórnych zakażeń bakteryjno-grzybiczych, suchość i zmiany zabarwienia błony śluzowej, atrofię brodawek, uczucie pragnienia, pieczenie śluzówki policzków, warg i języka, nieprawidłowe działanie bodźców smakowych, chrypkę, ból gardła i nieprzyjemny zapach z ust, zmianę składu i właściwości śliny czy zanik regeneracji uszkodzonych tkanek miękkich [1,2].

Niestety coraz częściej lekarze obserwują u pacjentów zaburzenia pracy gruczołów ślinowych, które wpływają na ilość wydzielanej śliny. Istnieje wiele czynników, które mogą prowadzić do przewlekłej suchości w ustach [1-10]. Wśród nich należy wymienić: długoterminowe stosowanie leków (np. o działaniu: moczopędnym, przeciwdepresyjnym, przeciwhistaminowym, neuroleptycznym), choroby ogólne (np. zaburzenia funkcji tarczycy, cukrzyca, sarkoidoza, stany psychodenne (lękowe, depresja endogenna), anemia mikrocytarna i deficyt Fe, awitaminozy (witaminy B2, B6), AIDS, guzy kąta mostowo-mózdkowego, odwodnienie (ludzie starsi), kolagenozy, grzybica jamy ustnej, choroby alergiczne) oraz radioterapię guzów głowy i szyi, a także czynniki miejscowe (palenie tytoniu, użytkowanie protez zębowych, oddychanie przez usta).

INVESTIGATIONS OF TRIBOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF HUMAN SALIVA AND ITS SUBSTITUTES

EDYTA ANDRYSEWICZ*, JOANNA MYSTKOWSKA*,
JAN R. DĄBROWSKI, ELŻBIETA KRAWCZYK-DEMBICKA

BIAŁYSTOK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,
DEPARTMENT OF MATERIAL AND BIOMEDICAL ENGINEERING,
WIEJSKA 45C, 15-351 BIAŁYSTOK
* E-MAIL: EDICHEM@O2.PL; J.MYSTKOWSKA@PB.EDU.PL

Abstract

In this work, the results of in vitro studies of selected physical, chemical, and tribological properties of human saliva, self-made preparations, and commercial saliva substitutes available on the Polish market, have been presented. The pH value, absolute viscosity, as well as the friction coefficient and volumetric wear of the tribological pair tested in the environments of saliva and saliva substitutes were evaluated. The obtained results of studies showed differences between the tested preparations in the scope of the evaluated parameters. The best among the self-made preparations, in terms of tribological properties, was a type III mucin solution in a buffered saline solution.

Keywords: human saliva, saliva substitute, viscosity, friction coefficient, wear

[Engineering of Biomaterials 118 (2013) 23-29]

Introduction

Disorders of salivary gland functions may cause hyposalivation (a reduction of saliva secretion) or xerostomia (dryness of the oral cavity), or even both of these disorders at the same time [1]. In patients with this type of affection, the following symptoms can be observed: e.g. difficulty in ingestion and swallowing of food, problems with speech (necessity of constant drinking of water), highly progressing circumferential caries, a tendency for ulceration of the mucous membrane and secondary bacterial and fungal infections, dryness and discoloration of the mucous membrane, papillary atrophy, a sensation of thirst, stinging of the mucous membrane on the cheeks, lips, and tongue, abnormal response to taste stimuli, hoarseness, sore throat, and halitosis, a change in the composition and properties of saliva, or dwindling regeneration of damaged soft tissue [1,2].

Unfortunately, more and more often, doctors are observing salivary gland dysfunctions that affect the amount of secreted saliva in patients. There are many factors that can lead to chronic dryness of the mouth [1-10]. Among these factors, the following should be distinguished: long-term use of medication (e.g. with diuretic, anti-depressive, anti-histamine, or anti-psychotic effects), general diseases (e.g. thyroid dysfunction, diabetes, sarcoidosis, psychogenic states (anxiety, endogenous depression), microcytary anemia, and iron deficiency, avitaminosis (vitamins B2, B6), AIDS, cerebellopontine angle tumors, dehydration (older patients), collagenosis, oral mycosis, allergic diseases, and radiotherapy of cranial and cervical tumors, as well as local factors (tobacco use, use of dental prostheses, mouth breathing).

W wielu ośrodkach naukowych poszukuje się skuteczniejszego sposobu leczenia zaburzeń czynności gruczołów ślinowych. Ślina jest ważnym płynem ustrojowym, składającym się z ponad 99% wody oraz niewielkiej ilości składników organicznych i nieorganicznych (około 1%). Ślina dzięki swoim właściwościom spełnia bardzo wiele ważnych funkcji w organizmie ludzkim [10,13-20]. Należą do nich m.in.: funkcja trawienna, funkcja ochronna (przeciwbakteryjna, przeciwwirusowa, przeciwgrzybiczna, antyoksydacyjna); funkcja wydalnicza, funkcja buforowa, funkcja demineralizacyjna, funkcja odżywcza, funkcja przewodzenia, czy ułatwianie wymawiania zgłosek. Ślina bierze również udział w regulowaniu gospodarki wodnej całego organizmu, nawilża znajdujące się w jamie ustnej tkanki miękkie, umożliwia szybkie wchłanianie przez błony śluzowe do krwi pewnych substancji chemicznych (piramidon, nitrogliceryna), uczestniczy w procesie poczucia smaku (woda, gustin). Wszystkie z wymienionych funkcji śliny mają istotny wpływ na użytkowanie protez zębowych. Badania Östlunda i Kawazoe zaprezentowane w pracy [9] wykazały zależność między właściwościami użytkowymi protez stomatologicznych, a jakością i ilością śliny ludzkiej.

Wśród rozlicznych funkcji, jakie pełni ślina w środowisku jamy ustnej, niezwykle ważny jest jej wpływ na procesy tarcia i zużycia kontaktujących się powierzchni zębów, wypełnień stomatologicznych oraz elementów protetyki stomatologicznej [21,22]. Proces zużywania elementów układu stomatognatycznego jest zjawiskiem niekorzystnym, gdyż może powodować zaburzenia w funkcjonowaniu stawów skroniowo-zuchwowych. Zmniejszona ilość śliny w jamie ustnej wpływa na wzrost intensywności zużycia szkliwa oraz materiałów stomatologicznych i protetycznych [22].

Leczenie zaburzeń wydzielania śliny może być miejscowe (stosowanie wazeliny, gliceryny, substytutów śliny) lub ogólnoustrojowe (stymulujące wydzielanie śliny - stosowanie leków: pilokarpina, cewimelina, betanechol, aminofostina) [2]. Prowadzone są też badania w kierunku poszukiwania substytutów naturalnej śliny. Preparaty te powinny zawierać takie składniki, które będą korzystnie wpływały m.in. na charakterystyki tribologiczne układu stomatognatycznego.

Na rynku farmaceutycznym oferowane są obecnie substytuty w postaci roztworów, aerozoli, żeli lub tabletek rozpuszczających. Preparaty te swoim składem chemicznym zbliżone są do składu ludzkiej śliny. Producenci, przy opracowywaniu nowych preparatów, koncentrują się głównie na takich ich właściwościach, które odpowiadają za: zniesienie uczucia suchości w ustach, zapewnienie wysokiej higieny i świeżości jamy ustnej, działanie bakteriobójcze, ochrona tkanek miękkich i zębów czy uzupełnianie brakujących składników obecnych w naturalnej ślinie. Niestety preparaty te wciąż daleko odbiegają od oryginału, szczególnie, jeżeli chodzi o właściwości tribologiczne.

Celem pracy była ocena w warunkach *in vitro* wybranych właściwości fizykochemicznych i tribologicznych śliny naturalnej, własnych oraz handlowych substytutów śliny dostępnych na rynku polskim.

Materiały i metody badań

Badaniom poddano niestymulowaną ślinę mieszaną pobraną od pacjentów metodą wypluwania oraz własne i handlowe substytuty śliny. Skład własnych kompozycji opracowano w Katedrze Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej Politechniki Białostockiej. Dobór składników substytutów śliny opierał się na ich szerokim zastosowaniu w przemyśle farmaceutycznym (pasty do zębów, płyny do płukania ust, itp.) [20]. W skład pierwszego preparatu weszły trzy pirofosforany i guma ksantanowa.

An effective method of treatment of salivary gland dysfunctions is being sought for in many scientific centers. Saliva is an important bodily fluid, consisting of more than 99% water and a small amount of organic and inorganic ingredients (about 1%). Thanks to its properties, saliva fulfils many very important functions in the human body [10,13-20]. These are, among others: digestive function, protective function (anti-bacterial, anti-viral, antifungal, anti-oxidative); excretory function, buffering function, demineralizing function, nutritive function, conductive function, and facilitation of syllable pronunciation. Saliva also takes part in the body's water balance, moisturizes the soft tissue found in the oral cavity, enables rapid absorption of certain chemical substances (aminopyrine, nitroglycerin) into the blood through mucous membranes, and is also involved in the process of sensing taste (water, gustin). All of the functions of saliva listed above have a significant influence on the use of dental prostheses. Studies conducted by Östlund and Kawazoe present in work [9] showed a dependency between the utilitarian properties of dental prostheses and the quality and quantity of human saliva.

Among the manifold functions that saliva fulfils in the environment of the oral cavity, its influence on tribological and wear properties of contacting surfaces of teeth, dental fillings, and dental prosthetics elements are extraordinarily important [21,22]. The process of wearing of elements of the stomatognathic system is a disadvantageous phenomenon, because it may cause dysfunctions in the functioning of temporomandibular joints. The reduced amount of saliva in the oral cavity has an effect on the increase of the intensity of wear of enamel and dental and prosthetic materials [22].

Treatment of saliva secretion dysfunction can be [2] local (use of Vaseline, glycerin, saliva substitutes) or systemic (stimulation of saliva secretion – use of medication: pilocarpine, cevimeline, bethanecol, amifostine). Studies are also being conducted in the direction of searching for natural saliva substitutes. Such preparations should contain such ingredients that will have an advantageous influence on tribological properties of the stomatognathic system.

As of now, substitutes in the form of solutions, aerosols, gels, or dissolving pills are available on the pharmaceutical market. The chemical compositions of these preparations are similar to the composition of human saliva. When developing new preparations, manufacturers mainly focus on properties that are responsible for: alleviating the sensation of dryness in the mouth, ensuring good hygiene and freshness of the oral cavity, anti-bacterial action, protection of soft tissue and teeth, and supplementation of the missing ingredients that are present in natural saliva. Unfortunately, these preparations are still far from the original, especially in terms of tribological properties.

The purpose of this work was to evaluate selected physicochemical and tribological properties of human saliva, self-made preparations, and commercial saliva substitutes available on the Polish market under *in vitro* conditions.

Materials and methods

Unstimulated mixed saliva acquired from patients using a spitting method and self-made and commercial saliva substitutes were subjected to tests. The compositions of self-made preparations were developed at the Department of Materials and Biomedical Engineering of the Białystok Technical University. The selection of the ingredients of the saliva substitutes was based on the wide application of these ingredients in the pharmaceutical industry (toothpastes, mouthwashes, etc.) [20]. Three pyrophosphates and xanthan gum entered into the composition of the first preparation.

TABELA 1. Własne preparaty śliny.
TABLE 1. Self-made saliva substitutes.

L.p. No.	Roztwór Solution	Skład Composition
1.	Roztwór A Solution A	tetrasodu pirofosforan uwodniony (Sigma-Aldrich) + diwodorofosforan disodu (Sigma-Aldrich) + tetrapotasu pirofosforan (Sigma-Aldrich) + guma ksantanowa (Sigma-Aldrich) w PBS (buforowany roztwór soli fizjologicznej o pH = 7,0); tetra-sodium pyrophosphate hydrated (Sigma-Aldrich) + Di-sodium dihydrogen phosphate (Sigma-Aldrich) + tetra-potassium pyrophosphate (Sigma-Aldrich) + Xanthan gum (Sigma-Aldrich) in PBS (phosphate buffered saline) of pH = 7.0;
2.	Roztwór B Solution B	roztwór mucyn typu II (Sigma-Aldrich) w PBS of pH = 7,0 solution of type II mucins (Sigma-Aldrich) in PBS of pH = 7.0
3.	Roztwór C Solution C	roztwór mucyn typu III (Sigma-Aldrich) w PBS of pH = 7,0 solution of type III mucins (Sigma-Aldrich) in PBS of pH = 7.0
4.	Ludzka ślina Human saliva	ludzka ślina human saliva

TABELA 2. Handlowe substytuty śliny.
TABLE 2. Commercial saliva substitutes.

L.p. No.	Nazwa (producent) Name (manufacturer)	Wybrane składniki Selected ingredients
1.	Biotène Mouthwash (Laclede)	enzymy (laktoperoksydaza, oksydaza glukozy, lizozym), hydroksyetyloceluloza, ksylitol, wapń enzymes (lactoperoxidase, glucose oxidase, lysozyme), hydroxyethylcellulose, xylitol, calcium
2.	BioXtra – żel / BioXtra – Gel (Bio-X Healthcare)	bioaktywne enzymy, ksylitol, minerały, aloes, wapń, substancje nawilżające bioactive enzymes, xylitol, minerals, aloe, calcium, moisturizers
3.	BioXtra - płyn do płukania jamy ustnej BioXtra - mouthwash (Bio-X Healthcare)	bioaktywne enzymy, ksylitol, minerały, aloes, wapń, substancje nawilżające, fluor, olejki esencjonalne bioactive enzymes, xylitol, minerals, aloe, calcium, moisturizers, fluoride, essential oils
4.	Mucinox (Medac GmbH Sp. z o.o.)	sorbitol, ksylitol, wyciąg z Yerba Santa, kwas cytrynowy, naturalny aromat cytrynowy, kwas askorbinowy, benzoesan sodowy, wodorotlenek sodowy i regulator kwasowości sorbitol, xylitol, Yerba Santa extract, citric acid, natural lemon aroma, ascorbic acid, sodium benzoate, sodium hydroxide, and an acidity regulator
5.	Saliva rex (PATER Laboratory)	sól sodowa karboksymetylocelulozy, ksylitol, fluorek sodowy, jony wapnia, sok aloesowy sodium salt of carboxymethylcellulose, xylitol, sodium fluoride, calcium ions, aloe juice
6.	Vivo-dental (PATER Laboratory)	enzymy (laktoperoksydaza, oksydaza glukozowa, lizozym i laktoferyna) enzymes (lactoperoxidase, glucose oxidase, lysozyme, and lactoferrin)

W skład drugiego i trzeciego preparatu weszły naturalne mucyny zwierzęce, odpowiednio typ II i typ III. Wszystkie roztwory przygotowano na bazie roztworu PBS (buforowany roztwór soli fizjologicznej), zgodnie z TABELĄ 1.

W celu osiągnięcia powtarzalnych warunków badań ślinę naturalną pobierano według wcześniej opracowanej metodyki [23].

Spośród bardzo wielu ogólnie dostępnych na rynku farmaceutycznym preparatów do badań wybrano produkty przedstawione w TABELI 2.

W pracy przebadano pH, właściwości tribologiczne i reologiczne śliny naturalnej i jej substytutów.

Do oceny pH zastosowano analizator potencjometryczny firmy Orion.

Testy tribologiczne zostały przeprowadzone przy użyciu tribometru, z zastosowaniem geometrii pomiarowej typu trzpień-tarcza, którego widok przedstawia RYS. 1. Parę tribologiczną stanowił trzpień, wykonany ze szkliwa zęba zakończony ściętym stożkiem o kącie nachylenia tworzącej 20° i powierzchni ściętej wynoszącej około 1 mm² oraz tarcza o średnicy 25,4 mm i chropowatości R_a = 0,64, wykonana z ceramiki korundowej, przygotowana przez Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie. Środkiem smarnym była ślina ludzka i jej substytuty.

Natural mucins of animal origin were the ingredients of the second and third preparations – type II and type III, respectively. All solutions were prepared using a PBS base (buffered saline solution) according to TABLE 1.

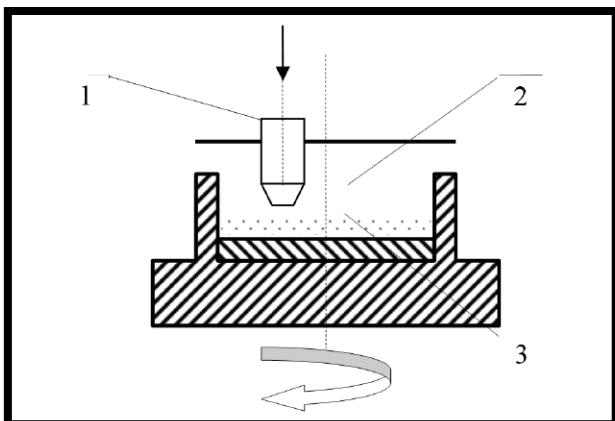
In order to achieve repeatable test conditions, natural saliva was acquired according to a pre-developed methodology [23].

Among the wide range of preparations generally available on the pharmaceutical market, the products presented in TABLE 2 were selected for tests.

The pH, tribological and rheological properties of natural saliva and its substitutes were studied in this work.

A potentiometric analyzer from the Orion Company was used to measure pH.

Tribological tests were conducted using a friction simulator, type pin-on-disc tester (FIG. 1). The friction pair consisted of a pin made from tooth enamel with a truncated cone ending with a slant height inclination angle of 20° and a truncated surface of approx. 1 mm² as well as a disc with a diameter of 25.4 mm and a coarseness of R_a = 0.64 made from corundum ceramics, prepared by the Institute of Ceramics and Building Materials in Warsaw. Human saliva and its substitutes were used as lubricants.



RYS. 1. Widok węzła tarcia: 1,3 - próbka, przeciwpróbka, 2 - środek smarny [25].

FIG. 1. A view of diagram of the friction node: 1,3 - sample and countersample, 2 - lubricant [25].

Do przygotowania trzpieni w postaci szkliva wykorzystano świeże, zdrowe zęby, które zostały usunięte pacjentom w wieku 18-35 lat, ze wskazań ortodontycznych. Przyjmuje się, że właściwości tribologiczne twardych tkanek w tym przedziale wiekowym praktycznie się nie zmieniają [24]. Wybór formy i geometrii próbek szkliva dobrany został w oparciu o metodykę badań tego typu materiałów, zaproponowaną w pracy [22]. Próbkę przechowywano maksymalnie dwa tygodnie w temperaturze około 5°C w roztworze Hanksa.

Na podstawie badań wstępnych oraz doniesień literaturowych [22] przyjęto następujące parametry badań tribologicznych: prędkość tarcia $v = 0,1$ m/s; promień tarcia $r = 8$ [mm]; prędkość obrotowa przeciwpróbki (tarczy) $n = 120$ obr/min; średnica powierzchni czołowej próbki $\varphi = 1$ mm; nacisk jednostkowy w strefie tarcia: 20 MPa; czas tarcia pojedynczej próby $t = 3$ h (180 min); objętość środka smarowego $V = 5$ cm³.

W celu wyznaczenia zużycia objętościowego przed i po zakończeniu badań tribologicznych mierzono średnice wierzchołków próbek za pomocą mikroskopu uniwersalnego Carl Zeiss Jena 2116.

Lepkość dynamiczną wyznaczono za pomocą lepkościomierza Brookfielda z zastosowaniem układu pomiarowego typu stożek-płytkę. Badania wykonano w temperaturze 37°C.

Wyniki i dyskusja

W TABELI 3 przedstawiono wartości pH badanych preparatów śliny, natomiast na RYS. 2-7 zaprezentowano charakterystyki zmian lepkości dynamicznej przy różnych prędkościach ścinania oraz charakterystyki tribologiczne. Końcowe wyniki wszystkich badań są wartością średnią z trzech prób przeprowadzonych w tych samych warunkach pomiarowych.

Z TABELI 3 można wywnioskować, że średnie wartości pH nie dla wszystkich preparatów mieszczą się w przedziałach uznawanych za prawidłowe dla śliny ludzkiej. Najniższą wartość pH posiadały preparaty: Biotène Moutwash i Mucinox (odpowiednio pH = 4,8 i pH = 5,4). Nieco wyższe wartości pH wykazały preparaty Vivo-dental i Saliva rex (odpowiednio pH = 6,4 i pH = 6,9). Najwyższe wartości pH wśród handlowych preparatów wykazały produkty BioXtra (pH = 7,2). Preparaty o niskich wartościach tego parametru mogą być stosowane tylko przez osoby nie posiadające własnego uzębienia, gdyż niskie wartości pH sprzyjają rozwojowi próchnicy. Wartość pH śliny ludzkiej u zdrowego człowieka wynosi w granicach pH = 6,8-7,2. Wartość pH wszystkich trzech własnych kompozycji (pH = 7,0) mieści się w przedziale pH śliny naturalnej, uznawanego przez lekarzy za prawidłowy.

Fresh and healthy teeth extracted from patients ages 18-35 due to orthodontic indications were used to prepare enamel pins. It is accepted that the tribological properties of hard tissue in this age interval are practically unchanging [24]. The selection of the form and geometry of enamel samples was made on the basis of the test methodology for this type of materials proposed in [22]. Samples were stored for a maximum time of two weeks at a temperature of approx. 5°C in Hank's solution.

On the basis of preliminary studies and literature data [22], the following parameters of tribological tests were accepted: friction rate $v = 0.1$ m/s; friction radius $r = 8$ mm; rotational speed of the countersample (disc) $n = 120$ rpm; diameter of the sample face surface $\varphi = 1$ mm; pressure applied to the sample - 20 MPa; friction time of a single test $t = 3$ h (10800 s); volume of lubricant $V = 5$ cm³.

Before and after friction tests were conducted, the diameters of sample tips were measured using a Carl Zeiss Jena 2116 universal microscope for the purpose of determining the volumetric wear.

Absolute viscosity was determined using a Brookfield viscosimeter with the application of a cone-disk type measuring system. Studies were conducted at a temperature of 37°C.

Results and discussion

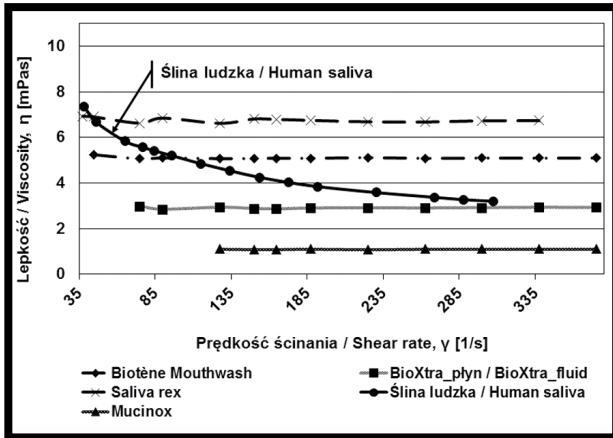
TABLE 3 presents the pH values of tested saliva preparations, and FIGs. 2-7 show curves of changes of viscosity for different shear rates and friction curves. Results presented in this work are the mean value of three measurements obtained at the same research conditions.

It can be concluded from the results in TABLE 3, that the average pH values do not necessarily fall within the ranges recognized as correct for human saliva for all of the preparations. The Biotène Moutwash and Mucinox preparations had the lowest pH values (pH = 4.8 and pH = 5.4, respectively). The Vivo-dental and Saliva rex preparations had somewhat higher pH values (pH = 6.4 and pH = 6.9, respectively). BioXtra products had the highest pH values among the commercial preparations (pH = 7.2). Preparations with low pH values can be used by persons without their own set of teeth, because low pH values favor the development of tooth decay. The pH value of human saliva in a healthy human is within the range of pH = 6.8-7.2. The pH value of all three of the self-made compositions (pH = 7.0) is within the pH range of natural saliva recognized by doctors as correct.

TABELA 3. Zestawienie wartości pH dla śliny naturalnej i jej substytutów.

TABLE 3. pH values of human saliva and its substitutes.

L.p. No	Badana substancja Tested substance	pH
1.	Saliva rex	6.9
2.	Vivo-dental	6.4
4.	Mucinox	5.4
5.	BioXtra - płyn do płukania jamy ustnej BioXtra - mouthwash	7.2
6.	BioXtra – żel / BioXtra – gel	7.2
7.	Biotène Mouthwash	4.8
8.	Ślina ludzka	6.8-7.2
9.	Roztwór A	7.0
10.	Roztwór B	7.0
11.	Roztwór C	7.0



RYS. 2. Lepkość śliny ludzkiej i jej handlowych substytutów.
FIG. 2. Viscosity of human saliva and its commercial substitutes.

Kolejny etap badań objął badania reologiczne. Na RYS. 2 przedstawiono wartość lepkości dynamicznej η (mPas) w funkcji prędkości ścinania γ [1/s] dla śliny ludzkiej i preparatów handlowych.

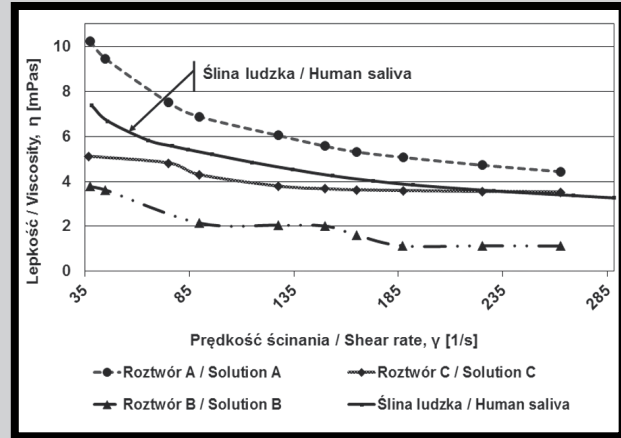
Jak wynika z RYS. 2 najniższą wartość lepkości dynamicznej uzyskano dla preparatu Mucinox (~1 mPas), a najwyższą wartość dla preparatu Saliva rex (~7 mPas). Preparaty Biotène Mouthwash i BioXtra charakteryzują lepkości znajdujące się w przedziale 1-7 mPas.

Z kolei analiza lepkości własnych preparatów ślin wykazała (RYS. 3), że najniższą lepkość ma roztwór na bazie mucyn typ II w roztworze PBS, a najwyższą lepkość roztwór pirofosforanów z dodatkiem gumy ksantanowej. Roztwór mucyn typ III w PBS charakteryzuje lepkość najbardziej zbliżona do lepkości śliny ludzkiej.

Analiza RYS. 2 i 3 uwidacznia, że wszystkie handlowe preparaty śliny wykazały właściwości cieczy newtonowskiej, natomiast ślina ludzka i własne kompozycje ślin – właściwości cieczy nienuetonowskiej. Lepkość badanych roztworów jest bardzo zróżnicowana i zależy przede wszystkim od ich składu chemicznego.

Drugim zasadniczym elementem pracy są badania tribologiczne. Na RYS. 4 przedstawiono zmiany wartości współczynnika tarcia w czasie. Z badań tych wynika, że najwyższe współczynniki tarcia wśród testowanych handlowych substytutów śliny wykazały preparaty Mucinox i BioXtra (~0,30). Najniższy zaś – Biotène Mouthwash (~0,21). Preparat Vivo-dental wykazał najniższy współczynnik tarcia wśród testowanych preparatów (~0,15) po 3 godzinach tarcia. Substytut ten charakteryzował wysoki współczynnik tarcia (~0,25) na początku procesu tarcia, który w miarę postępu procesu tarcia obniżył się do (~0,15). Ta ostatnia wartość odpowiadała jednocześnie wartości współczynnika tarcia w środowisku naturalnej śliny ludzkiej.

Na RYS. 5 przedstawiono wartości zużycia objętościowego pary tarciowej szklivo-ceramiką korundowa, poddanej procesom tarcia w środowisku śliny naturalnej i jej handlowych substytutów. W tym przypadku najniższe zużycie objętościowe pary tarciowej (~0,011 mm³) uzyskano dla procesu tarcia prowadzonego w środowisku śliny naturalnej. Najwyższe zużycie pary tarciowej uzyskano dla przypadku tarcia w środowisku preparatu Mucinox (~0,58 mm³). Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że dla pary tarciowej szklivo-ceramiką korundowa wszystkie handlowe substytuty śliny w porównaniu z ludzką śliną wykazały gorsze właściwości tribologiczne (wyższy współczynnik tarcia i wyższe zużycie liniowe).



RYS. 3. Lepkość śliny ludzkiej oraz własnych kompozycji substytutów śliny ludzkiej.
FIG. 3. Viscosity of human saliva and self-made compositions of human saliva substitutes.

The next stage of tests included rheological tests. FIG. 2 shows the value of absolute viscosity η (mPas) as a function of shear rate γ [1/s] for human saliva and four commercial preparations. It was not possible to determine the viscosity of all commercial substitutes due to the fact that their viscosity was outside the measuring range of available spindles of the device used for testing.

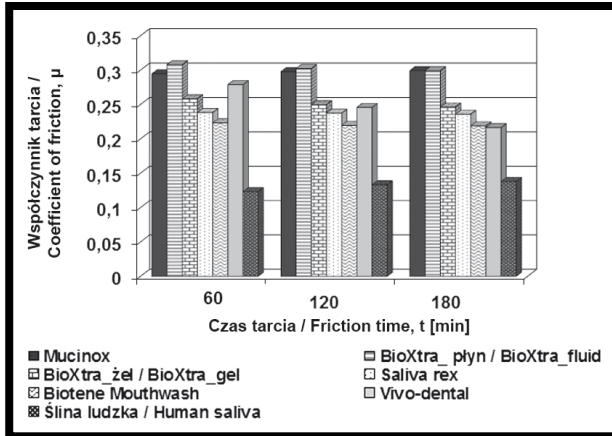
As results from FIG. 2, the lowest absolute viscosity value was obtained for the Mucinox preparation (~1 mPas) and the highest for the Saliva rex preparation (~7 mPas). The Biotène Mouthwash and BioXtra preparations are characterized by viscosities within the range of 1-7 mPas.

In turn, analysis of the viscosity of self-made saliva substitutes showed (FIG. 3) that the mucin type II-based solution in PBS, has the lowest viscosity, and the pyrophosphate solution with the addition of xanthan gum has the highest viscosity. The mucin solution, type III in PBS, is characterized by a viscosity that is the most similar to the viscosity of human saliva.

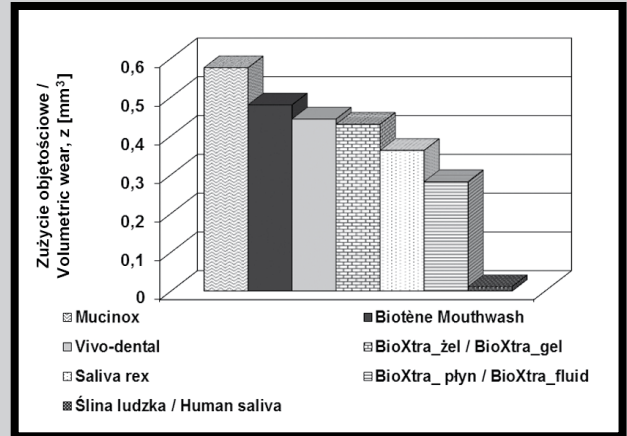
Analysis of FIGs. 2 and 3 makes it clear, that all commercial saliva preparations exhibited the properties of a Newtonian fluid; however human saliva and self-made saliva compositions had Non-Newtonian fluid properties. The viscosity of the studied solutions is varied and dependent, above all, on their chemical composition.

The second essential element of the work was tribological testing. FIG. 4 presents changes of the friction coefficient over time. It results from these studies, that Mucinox and BioXtra exhibited the highest friction coefficients (~0.30) among the tested commercial saliva substitutes. The lowest value of friction coefficient was observed for Biotène Mouthwash solution (~0.21). The Vivo-dental substitute exhibited the lowest friction coefficient (~0.15) among tested commercial saliva substitutes at 3 hours of friction. This preparation was characterized by a high friction coefficient (~0.25) at the beginning of the friction process, which was reduced to (~0.15) as the friction process continued. The latter value corresponds to the friction coefficient value in the environment of human saliva.

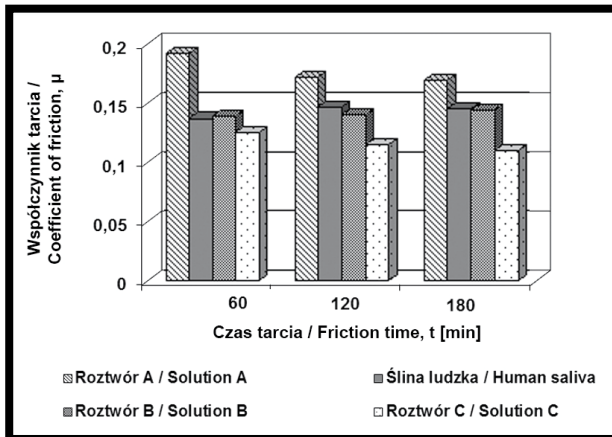
FIG. 5 shows the values of volumetric wear of the enamel-ceramic friction pair subjected to friction processes in the environment of natural saliva and its commercial substitutes. In this case, the lowest volumetric wear of the friction pair (~0.011 mm³) was achieved for the friction process conducted in the environment of natural saliva. The highest wear of the friction pair was achieved in the case of friction in the environment of Mucinox preparations (~0.58 mm³).



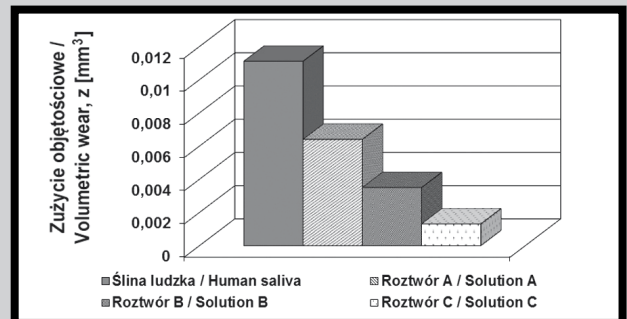
RYS. 4. Współczynnik tarcia w czasie dla pary tribologicznej szklivo-ceramika korundowa w środowisku handlowych substytutów śliny.
FIG. 4. Friction coefficient over time for the enamel-corundum ceramics friction pair in the environment of commercial saliva substitutes.



RYS. 5. Zużycie objętościowe po 180 minutach dla pary tribologicznej szklivo-ceramika korundowa w środowisku handlowych substytutów śliny.
FIG. 5. Volumetric wear after 180 minutes of friction for the enamel-corundum ceramics friction pair in the environment of commercial saliva substitutes.



RYS. 6. Współczynnik tarcia w czasie dla pary tribologicznej szklivo-ceramika korundowa w środowisku substytutów śliny.
FIG. 6. Friction coefficient over time for the enamel-corundum ceramics friction pair in the environment of saliva substitutes.



RYS. 7. Zużycie liniowe po 180 minutach tarcia dla pary tribologicznej szklivo-ceramika korundowa w środowisku trzech substytutów śliny.
FIG. 7. Volumetric wear after 180 minutes of friction for the enamel-corundum ceramics friction pair in the environment of three saliva substitutes.

Przeprowadzono także badania tribologiczne w środowisku własnych preparatów sztucznej śliny. Jak wynika z RYS. 6, najniższy współczynnik tarcia (~0,12) wykazał roztwór mucyn typ III w PBS, a najwyższy współczynnik tarcia (~0,17) otrzymano dla roztworu pirofosforanów z dodatkiem gumy ksantanowej.

Na RYS. 7 przedstawiono wyniki pomiaru zużycia objętościowego pary tarciowej szklivo-ceramika korundowa testowanych w środowisku własnych substytutów śliny. Wyniki tych badań są dość zaskakujące, bowiem po 3 godzinach tarcia, najwyższą wartość zużycia (~0,011 mm³) zanotowano dla śliny ludzkiej, a najniższą dla roztworu mucyn typ III w roztworze PBS (~0,0013 mm³). Wyjaśnienie tych obserwacji wymaga dodatkowych badań wykraczających poza zakres tej pracy.

Wnioski

Ocena pH oraz badania właściwości reologicznych i tribologicznych dla własnych i handlowych substytutów śliny uwiaryściły różnice ich właściwości użytkowych pomiędzy sobą i w porównaniu do śliny naturalnej.

On the basis of analysis of test results, it was stated, that for the enamel-corundum ceramics friction pair, all commercial saliva substitutes exhibited worse tribological properties (higher friction coefficient and higher linear wear) in comparison with human saliva.

Friction tests were also conducted in the environment of self-made artificial saliva preparations. As results from FIG. 6, the lowest friction coefficient (~0.11) was exhibited by the type III mucin solution in PBS, and the highest friction coefficient (~0.17) was obtained for the pyrophosphate solution with the addition of xanthan gum.

FIG. 7 presents the results of volumetric wear measurements of the enamel-corundum ceramics friction pair tested in the environment of self-made saliva substitutes. In this case, after 3 hours of friction, the greatest wear value (~0.011 mm³) was recorded for human saliva and the lowest for the type III mucin solution in PBS (~0.0013 mm³). Future investigations are needed in order to explain this phenomenon.

Conclusions

Studies of the physicochemical and tribological properties of own-prepared and commercial saliva substitutes made the differences of utilitarian properties between them and in comparison with natural saliva apparent.

Przeprowadzone badania oraz analiza literaturowa pozwoliły na opracowanie własnych substytutów śliny. Odpowiednio dobrane składniki zapewniają korzystne pH roztworów oraz korzystne charakterystyki tribologiczne i reologiczne.

Przeprowadzone badania potwierdzają konieczność prowadzenia dalszych testów badawczych w kierunku poszukiwania nowych preparatów ślin o lepszych właściwościach niż obecnie dostępnych produktów handlowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Substytut śliny zawierający mucynę typ III w roztworze PBS wykazał najlepsze właściwości tribologiczne (najniższy współczynnik tarcia i najniższe zużycie liniowe pary tarciowej szkliwo-ceramika korundowa).

2. Najniższe wartości lepkości dynamicznej, w przypadku preparatów handlowych zaobserwowano dla płynu Mucinox, a najwyższe dla płynu Saliva rex.

3. Najwyższe wartości lepkości dynamicznej, w przypadku preparatów własnych zaobserwowano dla roztworu pirofosforanów z dodatkiem gumy ksantanowej, a najniższe dla roztworu mucyn typ II, przygotowanych roztworze PBS.

4. Badania pH testowanych handlowych i własnych preparatów śliny wykazały, że jego wartości odpowiadają pH śliny naturalnej:

- w przypadku płynów handlowych – tylko dla Saliva rex i Bioextra,

- w przypadku płynów własnych – dla wszystkich testowanych układów.

Podziękowanie

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy numer N N507 592938.

The conducted studies and analysis of the literature made it possible to develop self-made saliva substitutes. The appropriately selected ingredients provide a beneficial pH of solutions and beneficial tribological and rheological characteristics.

The conducted studies confirm the necessity of further research being carried out in the direction of searching for new saliva preparations with better properties than the currently available commercial products.

On the basis of the results of the performed research, the following general conclusions can be made:

1. The saliva substitute containing type III mucin in PBS exhibited the best tribological properties (the lowest friction coefficient and the lowest linear wear of the enamel-corundum ceramics friction pair).

2. The lowest values of absolute viscosity in the case of commercial preparations were observed for the Mucinox fluid and the highest were observed for the Saliva rex fluid.

3. The highest values of absolute viscosity in the case of self-made preparations were observed for the pyrophosphate solution with the addition of xanthan gum and the lowest were observed for the type II mucin solution in PBS.

4. pH measurements of the tested commercial and self-made saliva preparations showed that the pH values of these preparations correspond to the pH of natural saliva:

- in the case of commercial fluids – only for Saliva rex and Bioextra,

- in the case of self-made fluids – for all tested solutions.

Acknowledgement

This scientific work is financed from research funds for the years 2010-2013 as a research project N N507 592938.

Piśmiennictwo

- [1] Fejerskov O., E. Kidd pod red. Kaczmarek U.: Próchnica zębów – choroba próchnicowa i postępowanie kliniczne, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2006.
- [2] Kamysz W., Okrój M., Łukasiak J., Kędzia A.: Histałiny- białka ślinowe bogate w histydynę. Nowa Stomatologia 27(1) (2004) 43-45.
- [3] Cichocki T., Litwin A.J., Mirecka J.: Kompendium histologii, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.
- [4] Iwankiewicz S.: Choroby gruczołów ślinowych, <http://www.wydawnictwoapteka.pl/>
- [5] Pawlik A.: Stres a jama ustna, <http://www.pracaizdrowie.com.pl>
- [6] Leppert W., Kozikowska J., Łuczak J., Głowacka A., Malinger S.: Objawy ze strony układu pokarmowego u chorych z zaawansowaną chorobą nowotworową. Nowa Medycyna 1 (2000) 18-39.
- [7] Paszyńska E.: Wybrane czynniki wpływające na wydzielanie i skład śliny. Dental Forum 1 (2005) 86-90.
- [8] Ciężka E., Surdacka A.: Rola śliny w procesie stresu oksydacyjnego - przegląd piśmiennictwa. Dental Forum 1 (2007) 53-57.
- [9] Pichór A., Doboszyńska A.: Suchość jamy ustnej - niedoceniany problem kliniczny. Medycyna Paliatywna w Praktyce 2 (2008) 26-28.
- [10] Lachowicz L., Turska E.: Biochemia jamy ustnej. Wyd. Lekarskie PZWL 2008.
- [11] Spiechowicz E.: Protetyka stomatologiczna. PZWL, Warszawa 2010.
- [12] Nieuw Amerongen A.V., Veerman E.C.I.: Saliva - the defender of the oral cavity. Oral Diseases 8 (2002) 12-22.
- [13] Dodds M.W.J., Johnson D.A., Yeh C.K.: Health benefits of saliva: a review. J. Dent. 33 (2005) 223-233.
- [14] Rantonen P.: Salivary flow and composition in healthy and diseased adults. University of Helsinki, Helsinki 2003.

References

- [15] Brosky M.E.: The role of saliva in oral health: Strategies for prevention and management of xerostomia. J. Support. Oncol. 5, 5 (2007) 215-225.
- [16] Jankowska A.K., Waszkiel D., Kowalczyk A.: Ślina jako główny składnik ekosystemu jamy ustnej, Część I. Mechanizm wydzielania i funkcje. Wiadomości Lekarskie 60 (2007) 148-154.
- [17] Jankowska A.K., Waszkiel D., Kobus A., Zwierz K.: Ślina jako główny składnik ekosystemu jamy ustnej, Część II. Mechanizmy odpornościowe. Wiadomości Lekarskie 60 (2007) 253-257.
- [18] Król K., Grocholewicz K.: Wybrane białka śliny jako biomarkery miejscowych i ogólnych procesów chorobowych. Przegląd piśmiennictwa. Pomorska Akademia Medyczna 53, I (2007) 78-82.
- [19] Szymczyk-Wasiluk T.: Biochemia. Kurs praktyczny, Dział Wydawnictw Akademii Medycznej, Warszawa 2001.
- [20] Kaczmarek U.: Suchość jamy ustnej - etiologia, częstość występowania i rozpoznanie - na podstawie piśmiennictwa, Czasopismo Stomatologiczne LX (2007) 20-31.
- [21] Sajewicz E.: Effect of saliva viscosity on tribological behaviour of tooth enamel. Tribology International 42, II (2009) 327-332.
- [22] Sajewicz E.: Tribologiczne aspekty funkcjonowania narządu zębowego człowieka. Wyd. PB, Białystok 2007.
- [23] Andrysewicz E., Dąbrowski J.R., Leonow G.: Aspekty metodyczne badań reologicznych śliny. Twój Prz. Stomatol., Z. temat. (2008) 10-15.
- [24] Zheng J., Zhou Z.R.: Effect of age on the friction and wear behaviors of human teeth. Tribology Int 39 (2006) 266-273.
- [25] Andrysewicz E., Mystkowska J., Kolmas J., Jałbrzykowski M., Olchowik R., Dąbrowski J.R.: Influence of artificial saliva compositions on tribological characteristics of Ti-6Al-4V implant alloy. Acta of Bioengineering and Biomechanics 14, 4 (2012) 71-79.