

Uwarunkowania materiałowe wydolności czynnościowej całkowitych osiadających protez zębowych

Jarosław Żmudzki
Politechnika Śląska,
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Polska
Adres korespondencyjny e-mail: jaroslaw.zmudzki@polsl.pl

Streszczenie

***Cel:** Projektowanie materiałów osiadających protez zębowych natrafia na trudności wynikające z braku metody oceny uwarunkowań materiałowych wydolności czynnościowej protez. Celem poznawczym pracy było dokonanie oceny wpływu własności materiałowych protezy osiadającej, jak również naturalnego podłoża błony śluzowej na transmisję obciążeń eksploatacyjnych. Hipotezą pracy było, że na podstawie badań materiałów w symulowanych warunkach obciążeń eksploatacyjnych możliwe jest kształtowanie własności materiałów protez w kryteriach nośności tkanek.*

***Projekt/metodologia/podejście:** Oryginalne podejście do zagadnienia badań materiałów polegało na przyjęciu jako podstawy ich oceny, zjawisk przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych w trakcie podstawowych funkcji spełnianych przez protezy w jamie ustnej: funkcji żucia lub użytkowania spoczynkowego (poza funkcją rozdrabniania pokarmów), które w sposób od siebie niezależny warunkują wydolność czynnościową protezy. Warunki obciążeń eksploatacyjnych symulowano numerycznie MES w zakresie dużych przemieszczeń z uwzględnieniem odrywania lub poślizgu dolnej protezy po podłożu błony śluzowej.*

***Osiągnięcia:** Dobre odwzorowanie obciążeń eksploatacyjnych pozwoliło na uzyskanie nieosiągalnego dotychczas wysokiego poziomu zgodności rezultatów analiz numerycznych z obserwacjami klinicznymi. W zobiektywizowanych miarach dyskomfortu bólowego i obciążeń implantów ocenione zostały materiały i konstrukcje protez akrylowych twardych, jak również podścielanych materiałami o zróżnicowanej miękkości, a także stabilizowanych na dwóch lub jednym implancie za pomocą złączy zróżnicowanych pod względem materiałowym.*

Stwierdzono, że w warunkach użytkowania spoczynkowego odchyłki technologiczne są przyczyną znacznych obciążeń błony śluzowej i implantów. Miękkie materiały podścielające wykazały około 10-krotnie większą skuteczność do zmniejszania obciążeń spoczynkowych niż zmniejszania obciążeń transmitowanych podczas żucia. W warunkach obciążeń żucia materiały podścielające wpływały korzystnie na 2-3,5 krotne zmniejszenie maksymalnego nacisku, ale i jednocześnie niekorzystnie ze względu na około 3-krotne zwiększenie drogi poślizgu.

Ograniczenia badań/zastosowań: Badania wykonano w odniesieniu do niekorzystnych przypadków podłoża dolnych protez, wychodząc naprzeciw pilnej potrzebie polepszenia wydolności czynnościowej w tej grupie przypadków. Przyjmowano liniowo-sprężyste izotropowe charakterystyki materiałowe ze względu na stopień złożoności obliczeń kontaktu.

Praktyczne zastosowania: Projektowane materiałowo elastomerowe złącza nadały rozwiązaniom protez nakładowych niedostępną dotychczas jakość, polegającą na możliwości planowania i polepszania cech funkcjonalnych protez zależnie od zastanych indywidualnych warunków posadowienia. Poprzez dobór materiału złącza implantu z protezą oraz wprowadzenie funkcjonalnej gradacji sprężystości w miękkiej warstwie podścielającej protezę wykazano możliwość uzyskania rozwiązań tańszych i bezpieczniejszych niż dotychczas uznane za standard leczniczy. Złącza elastomerowe nie powodowały niebezpiecznego stanu obciążenia implantu, w tym wyciągania z kości, natomiast stabilizowały protezę aż do uzyskania kontaktu balansującego, nawet przy znacznym jego „spóźnieniu”. Uzyskano pełną kontrolę nad dystrybucją obciążeń pomiędzy implantem oraz podłożem błony śluzowej, w tym kontrolę nad strefowym rozdziałem obciążeń na obszary błony śluzowej.

Oryginalność/wartość: Sprecyzowane zostały uniwersalne zasady doboru materiałów i konstrukcji protez w wielostronnych kryteriach wydolności czynnościowej protez, co stanowi podstawę do rozwiązywania problemów projektowania dowolnego typu uzupełnień protetycznych.

Słowa kluczowe: Materiał stomatologiczny; Wydolność żucia; Obciążenie implantu; Nacisk; Dyskomfort bólowy

Cytowania tej monografii powinny być podane w następujący sposób:

J. Żmudzki, Uwarunkowania materiałowe wydolności czynnościowej całkowitych osiadających protez zębowych, *Open Access Library, Volume 4 (10) (2012) 1-176.*

Material conditionings of functional efficiency of mucous-borne complete denture

Jarosław Żmudzki

Silesian University of Technology,

ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Polska

Corresponding e-mail address: jaroslaw.zmudzki@polsl.pl

Abstract

Purpose: *The development of materials for the mucous-borne dentures encounters difficulties resulting from the lack of evaluation method for materials conditions related to the dentures mastication efficacy. The aim of this study was to evaluate the influence of the mucous-borne denture and mucous membrane foundation material properties on the transmission of loads. The assumed hypothesis is the possibility to form denture material properties in the aspect of a bio-compatible tissue load bearing capacity.*

Design/methodology/approach: *The attitude towards the studies on materials was based on their evaluation in the aspect of loads transmission phenomena that occur during basic functions played by the dentures in the oral cavity: mastication or resting exploitation (apart from the function of food comminution), which independently influences denture efficacy. The exploitation loads were simulated numerically by means of a Finite Element Method analysis in the range of large displacements that took into account detaching and sliding of the lower denture on the mucous membrane foundation.*

Findings: *The high consistency of the results of numerical analyses and clinical observations was for the first time achieved thanks to the proper representation of exploitation loads. Materials and design of hard acrylic dentures, dentures relined with materials having various softness and dentures retained on a single or on two implants by means of attachments made of various materials were evaluated by objective measures such as pain discomfort and implant's loads. It was proved that the technological inaccuracies are the reason of significant loading of the mucous membrane and implants during resting exploitation. The soft relining materials showed approximately ten times higher effectiveness in reducing resting loading than*

the loads transmitted during mastication. Relining materials also influenced reduction of the maximal load by app. 200-350% under mastication loads whereas they increased slide by app. 300%.

Research limitations/implications: *The study was conducted in relation to the unfavorable cases of the lower dentures foundation in order to address the need to increase dentures efficacy for such patients. The linear-elastic isotropic materials characteristics were assumed due to the complex contact calculations.*

Practical implications: *The designed material for elastomer attachments gave new higher quality to overdentures, based on the possibility of planning and improving dentures functional characteristics depending on the individual foundation conditions. The choice of the implant attachment material and introduction of the functional elasticity gradation in the soft layer that relines the denture proves the possibility of achieving less expensive and safer solutions than those perceived as standard till now. The elastomer attachments did not create the dangerous loading state for implants including pulling off the bone, but they stabilized the denture until the balancing contact was achieved, even if it was really "late". The achieved complete control of loads distribution between the implants and mucous membrane foundation including the control over distribution of loads between particular zones of the mucous membrane.*

Originality/value: *The universal methods of choosing dentures material and construction were defined precisely in the aspect of multiple denture efficacy criteria, which constitutes a base for solving design issues of any type of prosthetic restoration.*

Keywords: *Denture material; Mastication efficiency; Implant loading; Pressure; Pain discomfort*

Reference to this paper should be given in the following way:

J. Żmudzki, Material conditionings of functional efficiency of mucous-borne complete denture, Open Access Library, Volume 4 (10) (2012) 1-176 (in Polish).

1. Wprowadzenie

*Wypalona skorupa tworzy
Kształt glinianej misy,
Ale jej użyteczność
Jest w miejscu pustym.
(Lao Tsy „DROGA”)*

Wiesławowi Chładkowi

Proteza zębowa jest wytworem technicznym i definiowana jest jako urządzenie mechaniczne, które ma za zadanie odbudowę funkcji jamy ustnej utraconych wskutek bezzębia [1]. „Powinna być dobrodziejstwem dla pacjenta, pozwalając mu na normalną egzystencję” [1]. Generalnie efekty leczenia protetycznego ocenia się w kategorii sukcesu klinicznego, gdy proteza spełnia cechy funkcjonalne i spotyka się z akceptacją ze strony pacjenta [1-3].

W leczeniu całkowitego bezzębia najszersze zastosowanie znajdują najbardziej ekonomiczne protezy, zwane dośluzowymi lub osiadającymi [4-6], ze względu na wykorzystanie podparcia na błonie śluzowej podłoża protetycznego. Większość zasad doboru i kształtowania cech funkcjonalnych protez zostało ustalonych już w latach 1950-1960, kiedy protetykę po roku 1940 zrewolucjonizowało zastosowanie do wykonawstwa protez polimetakrylanu metylu [7]. Rozwój i doskonalenie materiałów, technologii wytwarzania [8, 9] oraz metod rejestracji kontaktów zwarciovych [10, 11] trwające nieomal wiek, niestety w niewielkim stopniu wpłynęły na zwiększenie powodzenia leczenia protezami osiadającymi. Podstawową przyczyną niepowodzeń jest niedostatek cech funkcjonalnych, określane niewydolnością czynnościową, którą definiuje się jako sumę wpływów czynników biologicznych, technicznych i materiałowych układu [1, 4, 12-14]. Niewydolność czynnościowa protez osiadających staje się przyczyną poważnych utrudnień w życiu zawodowym i osobistym. Problemy z rozdrabnianiem pokarmu (niewydolność żucia) utrudniają życie codzienne i kontakty towarzyskie, natomiast słabe utrzymanie protezy na podłożu (słaba retencja i stabilizacja) w trakcie czynności mowy czy mimiki eliminuje osoby z życia towarzyskiego i aktywności zawodowej. Często, na skutek odczuć dyskomfortu występuje całkowite niepowodzenie leczenia, za jakie należy uznać posługiwanie się protezami wyłącznie w celach estetycznych. U części pacjentów istnieją przeciwwskazania do leczenia implantologicznego ze względu na ogólny stan zdrowia [15]. Użytkownicy protez starają się przezwyciężyć ograniczenia w funkcjonowaniu jamy ustnej.

Powszechnie uciekają się do stosowania preparatów adhezyjnych, których stałe stosowanie może powodować wiele działań ubocznych [1]. Biorąc pod uwagę coraz niższy wiek i liczbę osób dotkniętych bezzębieniem należy podkreślić wagę problemu i jego wymiar społeczny [16]. Bezzębie dotyka w części krajów europejskich ponad 70 % osób starszych, na kontynencie Ameryki Płn. 25-30 % [17].

Chociaż przejawy niepożądanego oddziaływania protez i implantów na organizm znajdują się w obszarze zainteresowania nauk medycznych, to ustalenie zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy własnościami materiałowymi protez a ich cechami funkcjonalnymi znajduje się w obszarze nauk technicznych [18-29]. Ostatnio, zainteresowanie ośrodków badawczych zostało ukierunkowane na metody rekonstrukcji uzębienia z wykorzystaniem implantów i materiałów wysokiej estetyki [30-34]. Wymienione metody rekonstrukcji uzębienia stanowią dla inżynierii stomatologicznej pole do spektakularnych sukcesów, które w głównej mierze bazują na zastosowaniach komputerowej nauki o materiałach, zwłaszcza na prognozowaniu nośności naturalnego tworzywa tkanek podpierających protezy. Już samo ustalenie związków pomiędzy własnościami naturalnego tworzywa tkanek, wynikającymi z indywidualnych cech struktury czy wewnętrznych procesów biologicznych, a zdolnością do pełnienia określonych funkcji, wpisuje się w obszar inżynierii materiałowej [19, 20, 35-39]. W obszarze zainteresowania inżynierii materiałowej znajdują się własności biobójcze, które daje się polepszać poprzez domieszkowanie nanocząstkami, zwłaszcza srebra, co w przypadku materiałów pracujących w środowisku jamy ustnej ma szczególne znaczenie w ze względu florę bakteryjną i powszechne grzybice [40-47]. W głównym nurcie badań nad biomateriałami znajdują się prace obejmujące własności warstw tlenkowych uzyskiwanych na stopach tytanu [48], warstw po azotowaniu [49-51] lub domieszkowania tlenków krzemu metodą zol-żel [52] lub tlenku aluminium celem polepszania odporności korozyjnej [53, 54]. W przypadkach znacznych zaników kości wyrostków zębodołowych niezastąpione są materiały kościotwórcze [55-58], których podstawą zastosowania jest poznanie własności mechanicznych warunkujących biozgodną współpracę z tkankami [18, 59-63]. Zazwyczaj, w warunkach eksploatacji materiały stomatologiczne wraz z tkankami tworzą układy warstwowe, których funkcjonalność determinują własności połączenia pomiędzy poszczególnymi warstwami [23, 34, 64-66]. Do szczególnie narażonych na zniszczenie i zużycie należy warstwa wierzchnia [29, 67-72]. Dzięki rozwojowi metod tomografii komputerowej [30] własności mechaniczne struktur kostnych współpracujących z implantami mogą już być oceniane w skali mikroskopowej w powiązaniu z cechami mikrostruktury [73].

W przypadku wykorzystania podparcia na zębach własnych, powszechnie dostępne są metody oceny zakresu ich przemieszczeń [74]. Do interesujących osiągnięć komputerowej nauki o materiałach należy zaliczyć zastosowanie technologii laserowego selektywnego spiekania metali do produkcji implantów z gradacją modułu sprężystości na średnicy [75]. Stopniowe zmniejszanie modułu sprężystości w kierunku zewnętrznych warstw pozwala na uzyskanie bardziej fizjologicznego rozkładu naprężeń w tkance kostnej przylegającej do implantu, co determinuje cechy funkcjonalne protez.

W przypadku projektowania materiałowego najbardziej popularnych protez osiadających napotyka się na poważną przeszkodę. Brakuje dostatecznie ścisłego (fizykalnego) opisu funkcjonowania protez, który pozwalałby na ocenę efektów wprowadzania zmian materiałowych. Pożądane własności użytkowe materiałów pozostają zatem nieznanne, szczególnie w odniesieniu do zastanych osobniczych warunków pracy. Działanie protez osiadających jest związane ze znacznymi przemieszczeniami (ruchomością) protez względem podłoża, towarzyszących żuciu oraz pozostałym czynnościom jamy ustnej. W zakresie dużych przemieszczeń funkcjonują również rozwiązania dolnych protez osiadających, stabilizowanych za pomocą implantów (protezy nakładowe – overdentures – utrzymywane na dwóch implantach) [76-78]. Doświadczenia ostatnich dwóch dekad pokazały, że protezy tego typu nie wykazują pożądanej niezawodności działania. Jednak, ze względu na niskie ryzyko utraty implantów z kości żuchwy zostały uznane za standard w przypadku bezzębia żuchwy [78, 79]. Najistotniejszym elementem tego typu protezy jest sposób jej przyłączenia do implantów (złącze). Literatura tematu obfituje w próby oceny cech funkcjonalnych materiałów i protez. Jednakże, problematyka materiałowa koncentruje się głównie na obserwacjach zużycia i uszkodzeń, na podstawie których trudno sformułować ogólne wnioski dotyczące projektowania materiałowego. Badania biomechaniczne, koncentrujące się na ocenach porównawczych transmisji obciążeń okluzyjnych dla znanych i powszechnie stosowanych rozwiązań złączy, nie przyczyniają się do istotnego zwiększenia niezawodności protez i poprawy ich wydolności czynnościowej. Wyjątek stanowią prace, w których proponuje się stosowanie na złącza tworzyw silikonowych [80, 81]. Skuteczność wymienionych silikonowych złączy do zmniejszenia obciążeń implantów stabilizujących protezy była już analizowana w pracach [82, 83] na podstawie komputerowych symulacji z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES). MES jest jednym z narzędzi obliczeniowych wykorzystywanych w komputerowej nauce o materiałach, które pozwala na poznanie rozkładu wartości poszukiwanej wielkości fizycznej wewnątrz struktur

układu, kiedy stopień złożoności uniemożliwia wykonanie obliczeń analitycznych, natomiast przeprowadzenie badań pomiarowych jest utrudnione lub niemożliwe. W przypadku braku znajomości wielkości fizycznych w układzie zostaje się skazanym na badania o charakterze statystyczno-obszaryjnym, które wskazują zależności korelacyjne, ale nie zależności przyczynowo-skutkowe. MES jest w przypadku układów żywych zazwyczaj jedynym narzędziem zdobywania wiedzy niezbędnej do rozwiązywania problemów materiałowych i konstrukcyjnych [84-89]. Badania symulacyjne materiałowych uwarunkowań funkcjonowania układów żywych wymagają przyjęcia poprawnych założeń modelowych. W przypadku złożonych układów konieczne są liczne założenia upraszczające [28], bez których wykonanie eksperymentów modelowych i uzyskanie jakichkolwiek odpowiedzi byłoby często niemożliwe. Używając modelowego opisu przyrody, warto mieć na uwadze słowa Richarda Feynmana: „*Dużo bardziej interesujące jest żyć w niewiedzy, niż posiadać odpowiedzi, które mogą być błędne*”. O poprawności modeli i możliwości ich zastosowania decyduje poziom zgodności z wynikami pomiarów na modelach fizycznych, a przede wszystkim z obserwacjami klinicznymi lub danymi pomiarowymi z układów żywych, jeżeli takie są dostępne. Jak wskazują dotychczasowe doświadczenia [23-28, 35, 36, 82-89], w tym własne Autora [90-96], istnieje możliwość uzyskania dobrej zgodności wyników modelowania MES z wynikami badań laboratoryjnych i obserwacjami klinicznymi, szczególnie w przypadku prognozowania stanu naturalnego tworzywa kostnego. W przypadku protez zębowych zaznacza się konieczność rozwinięcia dotychczasowych ocen poza inżynierskie analizy ograniczone do porównań obciążeń implantów i otaczającej tkanki kostnej [97].

Podjęta tematyka badawcza wychodzi naprzeciw nierozwiązanym od lat problemom protetyki stomatologicznej oraz społecznemu zapotrzebowaniu na poprawnie funkcjonujące, i jednocześnie ekonomiczne, rozwiązania protez zębowych [4, 5, 98]. Zagadnienie projektowania własności tworzyw i w konsekwencji technologii wytwarzania dóbr powszechnego użytku wpisuje się w paradygmat inżynierii materiałowej [99]. Szczególne znaczenie zyskało projektowanie materiałowe produktów, w którym mniej istotny jest rodzaj użytego materiału, natomiast istotę stanowi jego funkcjonalność [99]. Pracę ukierunkowano na problematykę oceny i kształtowania własności materiałowych protez, mających fundamentalne znaczenie ze względu na wypełnianie funkcje użytkowe [1-5]. Oryginalne podejście polegało na uwzględnieniu w ocenie materiałów protez warunków obciążeń eksploatacyjnych, pozostających dotychczas poza poznaniem, natomiast decydujących o wydolności czynnościowej.

Celem poznawczym pracy było dokonanie oceny wpływu własności materiałowych protezy osiadającej, jak również naturalnego tworzywa podłoża błony śluzowej na zjawiska transmisji obciążeń eksploatacyjnych. Wobec sprecyzowanego celu poznawczego wysunięto hipotezę badawczą, w której założono, że możliwe jest kształtowanie własności materiałów protez w kryteriach nośności tkanek. Weryfikacji hipotezy badawczej dokonano na podstawie badań materiałowych protez w symulowanych warunkach obciążeń eksploatacyjnych. Na podstawie wyników badań sprecyzowane zostały zasady projektowania własności użytkowych materiałów i konstrukcji protez w wielostronnych kryteriach wydolności czynnościowej protez. Hipotezę badawczą weryfikowano w toku realizacji użytecznego celu pracy. Projektowane materiałowo elastomerowe złącza nadały rozwiązaniom protez nakładowych niedostępną dotychczas jakość, polegającą na możliwości planowania i polepszania cech funkcjonalnych protez zależnie od zastanych indywidualnych warunków posadowienia. Poprzez dobór materiału złączy implantów z protezą oraz wprowadzenie funkcjonalnej gradacji sprężystości w miękkiej warstwie podścielającej protezę uzyskano pełną kontrolę nad dystrybucją obciążeń pomiędzy implanty oraz podłoże błony śluzowej, w tym kontrolę nad strefowym rozdziałem obciążeń na obszary błony śluzowej. Uniwersalność metodologii oceny wydolności czynnościowej protez została sprawdzona dla wyróżnionego czynnika biomechanicznego, za który przyjęto oddziaływanie sił języka na efekt stabilizacji protezy na podłożu. Uniwersalne zasady prowadzenia eksperymentu numerycznego oraz interpretacji wyników mogą stanowić podstawę i zachętę do rozwiązywania dalszych zadań praktycznych oczekujących na inżynierów i protetyków.