

„Zastosowanie obróbki laserowej do modyfikacji powierzchni tytanowych implantów słuchowych”

Według raportu Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) problemy ze słuchem są najpowszechniej występującą sensoryczną niepełnosprawnością na świecie. Jedną z metod poprawy uszkodzonego słuchu jest rekonstrukcja łańcucha kosteczek słuchowych, poprzez np. zastosowanie pasywnych implantów słuchowych. Ich celem jest przeniesienie fali dźwiękowej z błony bębenkowej do ucha wewnętrznego człowieka. Komercyjne pasywne implanty słuchowe wykonywane są m.in. z tytanu, który charakteryzuje się niskim współczynnikiem tłumienia drgań. Jednak istotnym problemem tego typu implantów jest słabe połączenie implant/kość w obszarze kontaktu z kosteczką słuchową, co często powoduje konieczność operacji rewizyjnej i znacząco zwiększa dyskomfort pacjenta oraz generuje koszty. Poprawa połączenia implant/kość powinna zachodzić głównie w wybranych obszarach protezy, co wskazuje na konieczność stosowania miejscowych obróbek powierzchniowych. Dodatkowymi ograniczeniami, w kwestii modyfikacji powierzchni pasywnych implantów słuchowych, jest ich niewielki wymiar (ok. 6 mm) jak również fakt, że ich powierzchnia cechuje się pewną chropowatością wynikającą z procesu technologicznego.

Topografia powierzchni jest jednym z czynników determinujących odpowiedź komórkową. Najnowsze prace wskazują, że tworzenie wielomodalnych topografii powierzchni na implantach kostnych sprzyja adhezji komórek, gdyż odwzorowuje się w ten sposób ich naturalne środowisko, czyli kość, której zarówno budowa jak i powierzchnia charakteryzują się wielomodalną strukturą. Inne prace wskazują natomiast to, że wyraźnie ukierunkowana, periodyczna topografia powierzchni implantów powoduje wydłużenie komórki i promuje ich różnicowanie do osteoblastów. W pracy przyjęto, że połączenie obu tych cech na powierzchni pasywnych implantów słuchowych będzie możliwe poprzez zastosowanie bezpośredniej laserowej litografii interferencyjnej DLIL (ang. *Direct Laser Interference Lithography*) i korzystnie wpłynie na stabilizację połączenia implant/kość. Metoda DLIL opiera się na zjawisku interferencji wiązek promieniowania laserowego i umożliwia modyfikacje powierzchni nawet o wstępnej chropowatości, którą to charakteryzują się komercyjne tytanowe pasywne implanty słuchowe. Dzięki zastosowaniu obróbki metodą DLIL na powierzchni uzyskano wielomodalne, periodycznie powtarzające się prążki i wyspy. Potwierdzono, że pozwala ona na modyfikację powierzchni po kulowaniu i trawieniu oraz uzyskanie wielomodalnego rozkładu chropowatości powierzchni, cechującego się trzema skalami chropowatości: mikro- (po kulowaniu), submikro- i nanometryczną.

Jednym z głównych osiągnięć badawczych niniejszej pracy była modyfikacja rzeczywistego pasywnego tytanowego implantu słuchowego, skutkująca poprawą adhezji komórek kostnych w ściśle określonych miejscach protezy. Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że metoda DLIL umożliwia uzyskanie periodycznych, wielomodalnych struktur precyzyjnie na elementach chwytnych tytanowych implantów. Modyfikacja rzeczywistego implantu słuchowego została poprzedzona licznymi badaniami, które dotyczyły analizy interakcji wiązki lasera z podłożem tytanowym.

Zakres badań prowadzonych w ramach pracy doktorskiej obejmował wytworzenie próbek – w pierwszej kolejności odwzorowanie chropowatości powierzchni komercyjnych implantów słuchowych, a następnie modyfikację metodą DLIL. Geometria wytworzonych

struktur była także przedmiotem optymalizacji w ramach pracy doktorskiej. Zmodyfikowane powierzchnie zostały poddane szczegółowej analizie, która obejmowała: obserwacje morfologii powierzchni i pomiary chropowatości, kąta zwilżania, energii powierzchniowej, badanie składu chemicznego, fazowego i grubości warstw tlenkowych oraz obserwacje mikrostrukturalne z uwzględnieniem zmian zachodzących w warstwie wierzchniej materiału. Analizie poddane zostały także takie właściwości jak odporność na korozję w środowisku biologicznym, odpowiedź komórkowa, jak również właściwości mechaniczne. Dodatkowym aspektem badań przeprowadzonych w niniejszej pracy była szczegółowa analiza zmian struktury tlenkowej w skali atomowej w zależności od sposobu naświetlania próbki. Stwierdzono, że miejscowe nagrzewanie powierzchni, towarzyszące procesowi obróbki laserowej wpływa na zmiany stechiometrii tlenków i właściwości fizykochemiczne. Uzyskano potwierdzenie możliwości kontroli zachowań komórkowych w hodowli *in vitro*, poprzez periodyczne i wielomodalne kształtowanie powierzchni Ti grade 2. Istotnym wynikiem otrzymanym w ramach przeprowadzonych badań było wykazanie, że komórki kostne kierunkują się wzdłuż wzoru uzyskanego na powierzchni po modyfikacji DLIL, a ich wzrost jest bardziej jednorodny. Dodatkowo, otrzymano wynik potwierdzający poprawę adhezji komórek MG63 na obrobionej laserowo powierzchni w stosunku do stanu po kulowaniu i trawieniu. Ujawniono, że korzystny efekt poprawy odpowiedzi biologicznej i odporności na korozję związany jest głównie z periodyczną topografią, jej wielomodalnym rozkładem chropowatości, hydrofilowym i wyraźnie zasadowym charakterem powierzchni oraz budową i stabilnością warstw tlenkowych po obróbce DLIL.

Prace zrealizowane w ramach rozprawy doktorskiej miały znaczenie dla określenia interakcji wiązki lasera z powierzchnią Ti grade 2 oraz w skorelowaniu wpływu promieniowania laserowego z uzyskanymi właściwościami powierzchni. Zdobyta wiedza jest istotna nie tylko z punktu widzenia implantologii słuchowej, ale także może przyczynić się do świadomego wykorzystania modyfikacji laserowej w zastosowaniach biomedycznych.

Promotor

Prof. dr hab. inż. Halina Garbacz

Doktorant

mgr inż. Donata Kuczyńska-Zemła