

Metale i ich stopy, głównie tytan, pozostają najczęściej stosowaną grupą materiałową dla implantów długoterminowych, w tym endoprotez stawu biodrowego lub kolanowego czy implantów stomatologicznych. Stopy tytanu o strukturze typu  $\beta$  mają bardziej zbliżone do kości właściwości mechaniczne niż najczęściej stosowane obecnie w implantologii stopy tytanu z aluminium i wanadem i to na nie warto zwrócić szczególną uwagę.

Niestety, mimo starań, problem licznych reimplantacji nadal pozostaje nierozwiązany, a przyczynami zabiegów rewizyjnych są przede wszystkim obłuzowanie implantu, infekcje bakteryjne i zwichnięcia endoprotez. Obłuzowanie implantu może być spowodowane dużą różnicą pomiędzy wysokimi właściwościami mechanicznymi implantu a stosunkowo niskimi właściwościami mechanicznymi kości, co może prowadzić do wystąpienia efektu ekranowania (*eng. shielding effect*), którego objawem jest zmniejszenie gęstości kości na skutek niewłaściwego obciążenia i zaburzenia przebudowy kości. W prowadzonych aktualnie badaniach naukowych dąży się do opracowania nowych stopów tytanu o obniżonych właściwościach mechanicznych, w tym stopów z dodatkiem cyrkonu, niobu i tantalum, które są stabilizatorami fazy  $\beta$  odpowiadającej za obniżenie właściwości mechanicznych, w tym głównie modułu Younga. Do obłuzowania implantu może dojść również z powodu zbyt wolnej integracji uszkodzonej tkanki kostnej z implantem.

Rozwiązaniem problemu infekcji bakteryjnych wydaje się być modyfikacja powierzchni implantów z wykorzystaniem nanocząstek metali o udowodnionych właściwościach antybakteryjnych, np. srebra, złota, miedzi czy cynku. W badaniach naukowych udowodniono jednak, że nadmierne stężenie tych pierwiastków może działać cytotoksycznie na żywe komórki. Dlatego ważnym pozostaje zachowanie odpowiedniej równowagi pomiędzy uzyskaniem właściwości antybakteryjnych modyfikacji, przy zachowaniu jej braku cytotoksyczności. Kolejnym problemem jest uwalnianie substancji antybakteryjnej z powierzchni implantu tylko w pierwszym okresie po implantacji, co nie zapewnia długotrwałej osłony antybakteryjnej. Wyzwaniem współczesnej nauki pozostaje więc opracowanie takiej hybrydowej modyfikacji powierzchni zaawansowanych stopów tytanu, która bezpośrednio po implantacji zapewniałaby odpowiednie warunki do pierwotnej stabilizacji poprzez zmniejszenie stanu zapalnego występującego w wyniku uszkodzenia kości, przy jednoczesnym zachowaniu bioaktywności i zapewnieniu długotrwałej ochrony antybakteryjnej bez efektu cytotoksycznego.

Przedstawione problemy stały się motywacją do opracowania proponowanego projektu. Projekt przewiduje wytworzenie na stopie tytanu typu  $\beta$  (Ti35Nb7Zr5Ta) o zbliżonych do kości właściwościach mechanicznych, w początkowej fazie, ze zmiennymi parametrami mikro-lukowego utleniania powłok z jonami cynku i wapnia, a następnie osadzenie, na tak zmodyfikowanej powierzchni, metodą elektroforetyczną powłok na bazie chitozanu z dodatkiem nanohydroksyapatytu i nanocząstek cynku. Odpowiedni dobór parametrów mikro-lukowego utleniania pozwoli na wbudowanie określonej ilości jonów cynkowych wewnątrz ceramicznej, porowatej matrycy powłoki, co zapewni długotrwałe właściwości antybakteryjne i zwiększy adhezję powłoki osadzonej na bazie chitozanu. Powłoka na bazie chitozanu z dodatkiem nanohydroksyapatytu i nanocząstek cynku zapewni odpowiednią bioaktywność i, z uwagi na niestabilność chitozanu jedynie w przypadku obniżonego pH, zapewni osłonę antybakteryjną tylko w przypadku występowania stanu zapalnego i zakażenia bakteryjnego. W ostatnim etapie tak wytworzona hybrydowa modyfikacja zostanie sfunkcjonalizowana z wykorzystaniem osocza wysokopłytkowego, zapewniającego szybsze gojenie się uszkodzonej kości i przyspieszenie proliferacji osteoblastów.

Otrzymane modyfikacje poddane zostaną pełnej charakterystyce obejmującej badania struktury (XRD), morfologii i składu chemicznego (SEM+EDS, XPS i TEM), topografii powierzchni (AFM), właściwości nanomechanicznych i adhezji z wykorzystaniem techniki nanoindentacji i testu nanozarysowania (w tym badania *in-situ* w SEM), odporności korozyjnej w rozworze symulującym ludzkie płyny ustrojowe (OCP, EIS), testy degradacyjne oraz szybkości uwalniania jonów (MP-AES), badanie zwilżalności i energii powierzchniowej, odpowiedzi mikrobiologicznej (względem bakterii Gram+, Gram- oraz grzybów). Wykonane zostaną również testy biologiczne mające na celu określenie wpływu modyfikacji na odpowiedź *in-vitro* względem ludzkich osteoblastów oraz komórek macierzystych pochodzące ze szpiku kostnego obejmującej m.in. testy żywotności komórek, określenie aktywności enzymu fosfatazy zasadowej i mineralizacji komórek, określenie potencjału energetycznego i potencjału oksydoredukcyjnego, oznaczenie wewnątrzkomórkowego wapnia oraz cynku.

Wpływ wyników projektu na rozwój dyscyplin naukowych, takich jak inżynieria materiałowa i inżynieria biomedyczna, jest niepodważalny. Dodatkowo projekt przyniesie korzyści również naukom medycznym – w obszarze implantologii. Uzyskana w ramach projektu nowa wiedza o wzajemnych oddziaływaniach czynników materiałowych i biologicznych będzie niewątpliwie przydatna w dalszych badaniach podstawowych i w późniejszych rozważaniach będą miały znaczący wpływ na społeczeństwo, bowiem pozwolą w przyszłości na projektowanie nowej klasy implantów długotrwałych o wysokiej bioaktywności i długotrwałej osłonie antybakteryjnej do zastosowań w ortopedii czy stomatologii.