

Tomasz Łodygowski
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań

Poznań, 18 czerwca 2009

Opinia na temat rozprawy doktorskiej pana **mgr inż. Bartosza NOWAKA**,
pt.: ***Modelowanie dynamiki układu kość-implant. Badania numeryczne
i eksperymentalne.***

1. Uwagi ogólne i treść pracy

Recenzowana rozprawa liczy 159 stron. Składa się z dziesięciu rozdziałów oraz zawiera trzy Dodatki i zestawienie bibliografii (łącznie 126 pozycji). Autor podejmuje problem modelowania układu kość-wszczep stawu biodrowego w szczególności w aspekcie dynamiki. Swe rozważania modelowe weryfikuje badaniami numerycznymi i uproszczonym eksperymentem. Modelowanie dynamiki tego układu biomechanicznego ma w konsekwencji służyć monitorowaniu jakości połączenia kości z implantem w stanach pooperacyjnych oraz w dalszej perspektywie czasowej użytkowania. Podejmowany temat jest próbą znalezienia alternatywnych sposobów tego diagnozowania, bez zagrożeń powodowanych przez klasyczne prześwietlenia promieniami Roentgena.

We Wstępie Autor sformułował cel pracy, którym jest opracowanie skutecznej techniki monitorowania stanu połączenia układu kość-implant polegającej na metodzie drganiowej. Celem jest również ocena realizowalności proponowanej metody, konieczność ustalenia warunków diagnostycznych jak również możliwość wykorzystania w przyszłości nowych technik monitorowania polegających na instalowaniu bezprzewodowych układów sensorycznych.

W Rozdziale 2 Autor w skrócie przedstawił cel i zakres rozprawy. Ważnym jest podkreślenie, że obiektami badań będą układy zastępcze i dla nich prowadzone będzie porównanie wyników obliczeń numerycznych z badaniami eksperymentalnymi. W rozdziale tym Autor przedstawił układ rozprawy.

Dalej, w kolejnym rozdziale Autor skoncentrował swoją uwagę na badaniach literaturowych, głównie dotyczących diagnostyki układu kostnego, komplikacji wynikających z alloplastyki stawu biodrowego. Zawarł też informacje o stosowanych technikach ultradźwiękowych do badań parametrów kości długich.

W kolejnym rozdziale czwartym, Autor omówił budowę, patologie i wybrane zagadnienia endoprotezoplastyki stawu biodrowego. Zawarł w nim wiele usystematyzowanych informacji anatomicznych przydatnych w przyszłości do budowy modelu numerycznego (ustalenia warunków brzegowych czy obciążeń).

W Rozdziale 5 Autor przeszedł do zagadnień mechanicznych. Podjął zagadnienie modelu i metody symulacji dynamiki układu kość-implant. Przytoczył znane podstawy modelowania zagadnień liniowych w opisie metody elementów skończonych w wersji przemieszczeniowej. Opisał teoretyczne podstawy analizy modalnej oraz procedurę Lanczosa rozwiązywania zagadnienia własnego.

W Rozdziale 6 uwaga jest skoncentrowana na badaniu numerycznym układów zastępczych. Przyjęto w nim, że połączenie kość-implant reprezentowane jest przez układ zbudowany z elementów tulejowo-prętowych. Kość udowa zastępowana jest prętem z otworem, trzpień implantu zastąpiony jest prętem o zbliżonej do implantu średnicy, zaś cement warstwy mocującej zastąpiono tuleją. Główne wymiary odpowiadają w przybliżeniu rzeczywistej geometrii opisywanego układu biomechanicznego. W badaniach numerycznych przeprowadzanych w środowisku obliczeniowym programu ABAQUS, rozważono dwie konfiguracje materiałów tworzących układ. Wykorzystano aluminium, które reprezentowało materiał kostny, poliacetal zastępował właściwości cementu kostnego a mosiądz reprezentował materiał implantu. W drugim przypadku poliacetal zastępował dwie warstwy materiału kości i cementu a mosiądz, jak w pierwszym przypadku, reprezentował implant. Taki wybór układu zastępczego podyktowany był również chęcią zweryfikowania wyników badań numerycznych w eksperymencie laboratoryjnym przeprowadzonym z użyciem tych właśnie materiałów. W celu ustalenia parametrów dyskretyzacji (typu elementów, gęstości siatki, ustalenia liczby punktów całkowania itp.) prowadzących do osiągnięcia właściwej dokładności wyników, symulacje MES porównano ze znanymi rozwiązaniami analitycznymi. Autor przedstawił schemat algorytmu obliczeń, który oblicza częstości i wektory własne, odpowiedź dynamiczną modelu na pobudzenie harmoniczne, oraz na podstawie FFT charakterystykę widmową. Przedstawiono wyniki analiz dokładności szacowania częstości drgań oraz przykładowe wyniki częstości drgań dla różnych wartości parametru degradacji cementu kostnego (ubytek procentowy połączenia kości z implantem). Wykonano również studium parametryczne wpływu wybranych parametrów na dynamikę zastępczych połączeń implantu z kością.

Przedmiotem kolejnego, siódmego rozdziału są badania eksperymentalne układów zastępczych przy zastosowaniu dwóch typów wymuszeń: impulsowego i harmonicznego. Opisano przedmioty badań, budowę stanowisk badawczych, sprzęt i sposób wykonywania pomiarów oraz przykładowe wyniki badań.

Rozdział 8 dotyczy badań układów anatomicznych. Zastosowano prawdziwą geometrię kości udowej. Zestawiono przykładowe wyniki obliczeń i badań parametrycznych. Parametry części kostnych przyjęto na podstawie literatury i zastosowano model konstytutywny liniowy izotropowy.

W Rozdziale 9 przeprowadzono dyskusję wyników badań i porównanie eksperymentów z symulacjami komputerowymi. Wykazano dobrą zgodność ilościową, która stanowi podstawę nadziei na możliwość zastosowania drgań do diagnozy jakości połączeń implantów z kośćmi.

Rozdział 10 jest swego rodzaju podsumowaniem osiągniętych wyników i prezentacją wniosków. Obok drobnych wniosków wynikających z przeprowadzanych studiów parametrycznych, najważniejsze są te, które uzasadniają przydatność zastosowania metod wibroakustycznych do diagnozowania stanu połączenia implantu. Opierają się one na obserwacji zmian w widmie drgań układów. W przypadku narastania uszkodzeń połączenia występują obniżenia częstości własnych i rezonansowych.

Pracę uzupełniają trzy dodatki, w których omówiono szczegółowo wyniki badań numerycznych układów zastępczych z dyskusją kolejnych częstości drgań własnych dla różnych parametrów degradacji połączeń kości i implantu; przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, widm amplitudowych dla pobudzenia impulsowego przy

