Prof. dr hab. inż. **Arkadiusz Mężyk**
Katedra Mechaniki Stosowanej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

Gliwice, 17.09.2012r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Edyty Kawlewskiej,**
zatytułowanej
„Opracowanie metody inżynierskiego wspomagania korekcji deformacji czaszki dziecka"

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Wprowadzenie nowoczesnych metod leczenia oraz rozwój metod inżynierskiego wspomagania technik medycznych stwarzają możliwości ciągłej poprawy jakości leczenia oraz zmniejszenia ryzyka powikłań wśród pacjentów podczas zabiegów leczniczych. Jest to szczególnie istotny problem w przypadku operacji neurochirurgicznych, w których powikłania wiążą się z poważnym zagrożeniem zdrowia pacjenta. Wspomaganie inżynierskie planowania zabiegów w oparciu o wyniki zaawansowanych badań diagnostycznych, jak np. tomografia komputerowa lub rezonans magnetyczny, stanowi nowoczesne narzędzie, które umożliwia lekarzowi określenie optymalnej metodyki postępowania, a także przewidywanie i wizualizację efektów leczenia. Systemy wspomagania komputerowego wykorzystują głównie wyniki symulacji numerycznych wykonywanych z wykorzystaniem metod komputerowych mechaniki.

W literaturze trudno znaleźć jakiekolwiek opisy kompleksowych systemów inżynierskiego wspomagania zabiegów. Opisywane są głównie przykłady planowania zabiegów wspomaganego komputerowo, odniesionych do pojedynczych pacjentów. Wobec tego w pełni uzasadnione było podjęcie przez Doktorantkę pracy badawczej dotyczącej opracowania spójnej metodyki postępowania we wszystkich etapach przygotowania zabiegu, począwszy od diagnostyki poprzez wirtualne planowanie zabiegu oraz symulacje numeryczne, które umożliwiają dobór optymalnego wariantu operacji. Autorka skoncentrowała się na zabiegach korygujących kraniosynostozę czyli deformację czaszki wynikającą z przedwczesnego zarośnięcia jednego lub kilku szwów czaszkowych.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż rozprawa doktorska została zrealizowana w ścisłej współpracy z lekarzem neurochirurgiem Górnośląskiego Centrum Zdrowia Dziecka w Katowicach, a rezultaty pracy są wdrażane podczas bieżącego leczenia pacjentów. Praca ma zatem charakter aplikacyjny i dotyczy aktualnej problematyki w aspekcie naukowym, zakres

BIURO DZIEKANA
RMT 2012 -09- 17
L. dz. 664/D/006/11/12

tematyczny mieści się w dyscyplinie naukowej mechanika, specjalność biomechanika inżynierska.

2. Ogólna charakterystyka i ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Rozprawa ma charakter interdyscyplinarny mieszczący się w obszarze biomechaniki z elementami klinicznymi. Zawarta jest na 129 stronach i obejmuje: wstęp do pracy, 9 rozdziałów, dyskusję wyników, podsumowanie oraz spis literatury.

Pierwsza część pracy obejmuje 3 rozdziały, w których przedstawione są ogólne rozważania dotyczące problematyki rozprawy. We wstępie Doktorantka omówiła przesłanki podjęcia tematyki badawczej oraz wskazała na potrzebę interdyscyplinarnej współpracy lekarzy i inżynierów. Podkreśliła także dotychczasowy dorobek zespołu biomechaników Katedry Mechaniki Stosowanej (obecnie Katedry Biomechatroniki Wydziału Inżynierii Biomedycznej) w zakresie planowania zabiegów neurochirurgicznych we współpracy z lekarzem dr n. med. Dawidem Laryszem.

W rozdziałach drugim i trzecim autorka przedstawiła medyczne aspekty omawianego zagadnienia kraniosynostozy, a także szeroko opisała problem planowania zabiegów, cytując kilkadziesiąt pozycji piśmiennictwa, głównie zagranicznego. Doktorantka jasno i zwięźle wyciągnęła wnioski z przeglądu literaturowego, wykazując się wysokim poziomem wiedzy w zakresie przedmiotu rozprawy.

Z przeprowadzonego przeglądu literatury wyniknęła potrzeba przeprowadzenia dodatkowych badań własnych, co było podstawą sformułowania zawartego w rozdziale czwartym celu rozprawy. Celem pracy było opracowanie metody inżynierskiego wspomagania korekcji deformacji czaszki dziecka ze zdiagnozowaną kraniosynostozą.

Rozdział piąty rozprawy otwiera właściwą część pracy, zawierającą opis przeprowadzonych badań oraz analizę wyników. W rozdziale tym Doktorantka przedstawiła szeroką analizę statystyczną wyników pomiarów morfometrycznych czaszek 138 niemowląt w wieku do pierwszego roku życia, o prawidłowej budowie główki oraz dodatkowo wyniki pacjentów z kraniosynostozą. Obszerną bazę wymiarów, zawierającą 167 odległości oraz 13 kątów obliczonych w oparciu o 42 punkty anatomiczne czaszki Autorka poddała testom statystycznym, w celu wyodrębnienia determinantów kształtu głowy. W pierwszej kolejności przeprowadzona została analiza wariancji metodą Welcha, z której wynika zróżnicowanie wzorców wymiarów główek dzieci zdrowych i chorych, co jest szczególnie istotne w kontekście określania deformacji czaszki. W kolejnym etapie przeprowadzona została analiza czynnikowa w celu redukcji bazy danych kraniometrycznych do 10 czynników, które opisują prawie 80% wariancji zmienności czaszek pomiędzy grupą dzieci zdrowych i chorych. Ciekawym spostrzeżeniem wynikającym z analizy czynnikowej jest wyodrębnienie czynnika 2, w którym zawartych jest 14 istotnych wymiarów czaszki, których zmienność nie

jest związana z wiekiem dziecka, lecz z innymi uwarunkowaniami. Dodatkowo klasyfikatorami siódmym i dziesiątym są kąty czaszkowe. W ostatnim etapie analizy statystycznej Autorka przeprowadziła analizę krzywych ROC, celem oceny wartości predykcyjnej i klasyfikacyjnej wyznaczonych wcześniej czynników. W oparciu o przedstawione wyniki analiz Autorka wykazała, że w czasie wzrostu głowy zdeformowanej pewne wymiary i kąty czaszkowe ulegają zmianom, które przy prawidłowym rozwoju nie są widoczne. Stanowi to wyraźny dowód, że należy zastosować możliwie wcześnie leczenie deformacji głowy, aby uniknąć nieodwracalnych zniekształceń, a w konsekwencji zaburzeń neurofizjologicznych związanych z patologicznymi uciskami zdeformowanej czaszki na poszczególne płaty mózgowia.

W rozdziale szóstym przedstawione zostały opracowane przez Autorkę indeksy czaszkowe determinujące kształt głowy u niemowląt. Poszczególne wskaźniki stanowią bezwymiarowe relacje pomiędzy wybranymi wymiarami czaszki i służą do oceny stopnia zaawansowania deformacji. Wskaźniki opracowano dla dwóch najczęściej występujących typów kraniosynostozy, czyli łódkogłowia i trójkątnogłowia. Wartości indeksów dzieci chorych porównano do wyznaczonych wcześniej wartości normatywnych w grupach wiekowych. Ważnym spostrzeżeniem było, że różnice pomiędzy wartościami są najbardziej widoczne u niemowląt po 6 miesiącu życia, co wskazuje na dynamiczny nieprawidłowy rozwój głowy, zatem istotna jest wczesna diagnoza i leczenie schorzenia.

W rozdziale siódmym Doktorantka przedstawiła analizę grubości kości czaszki u niemowląt, a także zaprezentowała wyniki badań eksperymentalnych siły cięcia kości czaszki z użyciem nożyczek, symulujących narzędzie endoskopowe. Doktorantka w swoich badaniach wykazała, że oprócz wieku pacjenta równie ważnym parametrem klasyfikującym go do zabiegu małoinwazyjnego jest grubość kości czaszki, która nie zawsze jest powiązana z wiekiem. Na przykładzie dwóch 3-miesięcznych pacjentów Autorka zaprezentowała różnice w grubości kości, wynikające przede wszystkim z występującej deformacji i zaburzonego rozwoju głowy. Z kolei w przeprowadzonym eksperymencie dotyczącym badania siły cięcia Autorka obliczyła przybliżoną grubość kości, dla której możliwe jest przeprowadzenie zabiegu endoskopowego, co stanowi ułatwienie przy klasyfikacji pacjentów do określonego leczenia.

Rozdział ósmy zawiera opis oraz schemat procedury wspomagania inżynierskiego w planowaniu korekcji kształtu czaszki, który opracowany został przez Doktorantkę. Wyniki badań morfologicznych oraz analizy statystycznej zawarte są jako dane wejściowe potrzebne do przeprowadzenia postępowania. Kolejne etapy dotyczą planowania osteotomii w środowisku oprogramowania inżynierskiego, oceny efektów leczenia oraz symulacji numerycznych i doboru optymalnego wariantu korekcji, które przedstawione są w dalszych rozdziałach.

W rozdziale dziewiątym Autorka przedstawiła zastosowanie opracowanej procedury planowania korekcji u wybranych pacjentów z trigonocephalią i scaphocephalią. Dla każdego

przypadku opisane zostały poszczególne etapy od diagnozy, poprzez sformułowanie trójwymiarowego modelu geometrycznego czaszki, analizę grubości, wyznaczenie wartości wskaźników czaszkowych, przedoperacyjną ocenę kształtu czaszki i wreszcie wirtualny zabieg korygujący zaplanowany w środowisku Mimics-Materialise. Przedstawione zostały przykłady planowania operacji prowadzonych w sposób klasyczny oraz endoskopowy, a także planowanie pełnej rekonstrukcji sklepienia czaszki.

Rozdział dziesiąty pracy zawiera wyniki symulacji numerycznych dla opracowanych wariantów korekcji deformacji czaszki. Warianty były zróżnicowane pod względem liczby nacięć lub ich długości, a w przypadku trójkątnogłowia wykonano także cieniowanie zgrubienia na szwie czołowym. Symulacje umożliwiły nie tylko ocenę efektów leczenia, ale także swoistą analizę ryzyka uszkodzeń podczas cięcia i formowania kości. Jest to istotne w przypadku planowania zabiegów małoinwazyjnych, gdyż jakiekolwiek pęknięcie kości uniemożliwia kontynuację operacji. Etapy przygotowania modeli, warunki brzegowe oraz wyniki symulacji przedstawione zostały w sposób przejrzysty, w oparciu o podstawowy schemat procedury wspomagania. W ostatnim podrozdziale Autorka przedstawiła ocenę kształtu głowy dwóch pacjentów na podstawie ich zdjęć tomograficznych, wykonanych w 12 miesiącu życia, czyli ok. 6 miesięcy po operacji. Na podstawie analizy porównawczej wyników pacjentów Autorka stwierdziła prawidłową tendencję wzrostu główki po przeprowadzonej operacji. Wskaźniki czaszkowe pacjentów mieściły się w opracowanej normie, co wskazuje na poprawność wykonanego planowania operacji oraz samego zabiegu.

W końcowej części pracy Doktorantka przeprowadziła dyskusję uzyskanych wyników, porównując je do wyników zaczerpniętych z literatury. Analizując poszczególne etapy swoich badań wykazała, że celowym było przeprowadzenie zarówno analizy statystycznej wymiarów morfologicznych czaszek jak i opracowanie kompleksowej procedury inżynierskiego wspomagania korekcji deformacji czaszki u dzieci, gdyż jak dotąd te problemy nie zostały w podobny sposób opisane w literaturze. Wnioski dotyczące wyników badań autorki są prawidłowo sformułowane i zgodne z celem rozprawy. W podsumowaniu Autorka usystematyzowała wykonane w ramach pracy zadania, ale również wskazała na konieczność prowadzenia dalszych badań głównie w kierunku opracowania baz danych kraniometrycznych dla dzieci dwu i trzyletnich, wyznaczenia charakterystyk materiałowych kości czaszki oraz sformułowania procedury planowania korekcji plagiocephalii – kolejnego rodzaju kraniosynostozy, w którym oprócz sklepienia czaszki konieczna jest również rekonstrukcja podstawy czaszki i twarzoczaszki.

3. Uwagi merytoryczne

Merytoryczną wartość pracy oceniam wysoko. Doktorantka na podstawie analizy publikowanych wyników prac sformułowała cel rozprawy, który został następnie zrealizowany poprzez wykonanie obszernego zakresu badań własnych. Głównym walorem

pracy jest możliwość wykorzystania osiągniętych wyników w praktyce klinicznej, co poprawi efektywność leczenia chirurgicznego kraniosynostozy, polepszy jakość leczenia oraz zwiększy bezpieczeństwo pacjentów w czasie operacji. Poszczególne części rozprawy, sposób przedstawienia wyników oraz zaproponowana przez Doktorantkę oryginalna, kompleksowa procedura inżynierskiego planowania operacji świadczą o bardzo dobrej znajomości poruszanego tematu. Doktorantka w sposób klarowny i czytelny przedstawiła przeprowadzone analizy oraz wyniki i wnioski wypływające z poszczególnych etapów pracy. Obszerna baza wymiarów czaszkowych oraz wielokryterialna analiza statystyczna stanowią niewątpliwą wartość niniejszej rozprawy. Przedstawiona dyskusja wyników oraz wnioski zapewniają o właściwym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia analiz oraz umiejętności krytycznego spojrzenia na uzyskane wyniki.

Oprócz drobnych błędów stylistycznych, nasuwają się jednak następujące uwagi:

1. Opracowane indeksy czaszkowe w rozdziale szóstym są w pewien sposób powiązane z przeprowadzoną w rozdziale piątym analizą statystyczną, jednak nie zostało to jasno określone w pracy. Ponadto czy nie należałoby przy ocenie kształtu uwzględniać czynników, które wyznaczone zostały w analizie krzywych ROC, zamiast wybranych przez Autorkę wskaźników?
2. Podczas porównywania wartości indeksów u pacjentów z wartościami normatywnymi niekiedy występują bardzo małe różnice rzędu kilku setnych. Czy zatem można wnioskować, że tak mała różnica jest istotna np. przy planowaniu korekcji bądź w ocenie efektów leczenia?
3. W eksperymencie dotyczącym badania siły cięcia kości czaszki, opisanym w rozdziale siódmym Autorka stosuje bardzo duże uogólnienia dotyczące zarówno geometrii narzędzia, jak też własności materiału kości. Przyjęta wartość wytrzymałości na ścinanie odnosi się do pojedynczego badania przeprowadzonego dla 3-miesięcznego pacjenta. Obliczona wartość siły cięcia jest jedynie wartością przybliżoną. Czy zatem wyniki przeprowadzonych obliczeń stanowią wystarczającą, wiarygodną podstawę do wysnuwania dalszych wniosków, zwłaszcza w kontekście klasyfikacji pacjenta do rodzaju operacji?
4. Do analizy wytrzymałościowej przyjęto stałe wartości własności materiałowych kości. Nie uwzględniono podziału struktury kości na zbitą i gąbczastą. Materiał przyjęto jako izotropowy, podczas gdy kości raczej opisuje się jako ośrodek anizotropowy lub ortotropowy.
5. W przypadku wirtualnego planowania zabiegów korygujących oraz symulacji numerycznych wariantów korekcji nie uwzględniono występowania mózgu oraz innych tkanek. Czy zatem modele nie są zbyt wyidealizowane?

Uwagi powyższe nie umniejszają oceny merytoryczne i zostaną zapewne skomentowane w trakcie publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

4. Ocena końcowa

Podsumowując analizę rozprawy i opisanych badań własnych należy stwierdzić, że mgr inż. Edyta Kawlewska podjęła tematykę badań bardzo istotną dla współczesnej neurochirurgii, a jednocześnie o odpowiedniej wartości naukowej. Doktorantka wykazała umiejętność samodzielnej pracy naukowej, korzystania z piśmiennictwa, logicznego i zwięzłego formułowania wyników swoich badań i spostrzeżeń. Przedłożona do oceny rozprawa doktorska zatytułowana *„Opracowanie metody inżynierskiego wspomagania korekcji deformacji czaszki dziecka"* mieści się w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie mechanika i spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. Na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Edyty Kawlewskiej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Arkadiusz Mężyk