

Dr hab. inż. Jolanta Pauk
Profesor Politechniki Białostockiej
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Biomedycznej
Wiejska 45C, 15-351 Białystok
e-mail: j.pauk@pb.edu.pl, tel. 510 034 086

Białystok, 26.11.2020

Recenzja

***rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Łysoń-Ukłańskiej
„Metoda projektowania nowej zindywidualizowanej ortozy stawu skokowego”***

Recenzję opracowano na podstawie pisma Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Gerarda Cybulskiego z dnia 08.10.2020 r. Praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem dr. hab. inż. Moniki Kwacz, prof. Politechniki Warszawskiej i dr inż. Szymona Cygana (pełniącego w tym przewodzie doktorskim rolę promotora pomocniczego).

1. Problem naukowy przedstawiony i rozwiązany w rozprawie

Praca dotyczy opracowania nowej, zindywidualizowanej ortozy stawu skokowego do zastosowań w praktyce klinicznej, zapewniającej większą skuteczność stabilizacji stawu w porównaniu do komercyjnych rozwiązań. Aby osiągnąć ten cel Doktorantka przeprowadza badania pięciu wybranych stabilizatorów stawu skokowego. W eksperymencie badawczym, z wykorzystaniem optoelektronicznego systemu pomiarowego, uczestniczą osoby zdrowe oraz pacjenci z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego. Uzyskane podczas eksperymentu bierne dane kinematyczne i kinetyczne stanowią podstawę symulacji komputerowej, mającej na celu ocenę wpływu stabilizatorów na wydłużenie więzadeł stawu skokowego. Doktorantka identyfikuje ograniczenia dostępnych na rynku stabilizatorów i proponuje własną koncepcję zindywidualizowanego stabilizatora stawu skokowego, jest to

wyzwanie ambitne społecznie. Zaproponowana w pracy koncepcja ortezy, zweryfikowana eksperymentalnie, może przyczynić się do poprawy leczenia osób z urazami skrętnymi stawu skokowego.

Wybór tematu pracy uważam za interesujący i niezwykle aktualny. Nie ulega wątpliwości, że ortezy stawu skokowego znajdują zastosowanie w rehabilitacji po skręceniach i złamaniach stawu skokowego, zwłaszcza po urazach ścięgna Achillesa oraz przy zmianach zwyrodnieniowych. Nie tylko stabilizują i unieruchamiają, lecz także zabezpieczają staw skokowy przed ewentualnymi urazami. W ortotyce, pomimo stosowania coraz nowocześniejszych materiałów i udoskonalania metod, dominuje warsztatowa produkcja i gipsowe miary pacjenta. W ostatnich latach zauważa się jednak dążenie do zindywidualizowanego podejścia i zastosowania komputerowego wspomaganie wytwarzania optymalnej postaci konstrukcyjnej ortezy poprzez zastosowanie technologii szybkiego prototypowania lub obrabiarek klasy CNC. Takie postępowanie ma przyczynić się do skuteczniejszego i szybszego procesu leczenia. Recenzowana rozprawa wpisuje się w wymienione trendy.

2. Struktura rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca składa się z 129 stron, w tym pięciu rozdziałów, które poprzedza streszczenie, spis treści oraz przedmiot i cel rozprawy, a całość wieńczy spis literatury. Układ pracy jest poprawny pod względem logicznym. Rozprawa jest napisana starannie, zawiera odwołania do tabel i rysunków oraz odpowiednią liczbę źródeł bibliograficznych - 107 pozycji, co stanowi dowód na odpowiednią wiedzę teoretyczną i dobrą orientację w zakresie zagadnień będących przedmiotem rozprawy doktorskiej.

Rozdział pierwszy (13 stron) poświęcony jest analizie stanu wiedzy z zakresu anatomii, biomechaniki stopy i stawu skokowego, metod leczenia urazów skrętnych stawu skokowego, ze zwróceniem uwagi na szczególną rolę zaopatrzenia ortopedycznego. Warto podkreślić, że rynek wyrobów medycznych oferuje wiele rodzajów stabilizatorów stawu skokowego, ich bardziej szczegółowy przegląd w rozdziale pierwszym pracy jest bardzo pożądany. Doktorantka wskazuje argumenty przemawiające za wyborem tematu rozprawy, ale przedmiot i cel formułuje nie na końcu tego rozdziału, lecz na pierwszych stronach rozprawy.

Rozdział drugi (30 stron) dotyczy opisu narzędzi oraz zebranego materiału badawczego. Przedstawiono w nim badania eksperymentalne z użyciem pięciu wybranych stabilizatorów zewnętrznych stawu skokowego o różnej konstrukcji. Nie są do końca zrozumiałe przesłanki,

którymi kierowała się Doktorantka przy wyborze stabilizatorów. W rozdziale tym rozwiązuje kilka problemów, spośród których należy wymienić: modyfikację modelu MoCap w programie AnyBody Modeling System i adaptację do badań własnych, a także przystosowanie stabilizatorów do możliwości przeprowadzenia eksperymentu pomiarowego. Badania eksperymentalne przeprowadza z udziałem osób zdrowych (N=20) oraz pacjentów z niestabilnym prawym stawem skokowym (N=20) z zastosowaniem optoelektronicznego systemu pomiarowego. Parametry kinematyczne i kinetyczne stanowią dane wejściowe do badań symulacyjnych, umożliwiając ocenę wpływu stabilizatorów stawu skokowego na wydłużenie więzadeł. W związku z identyfikacją ograniczeń istniejących na rynku stabilizatorów, Doktorantka podejmuje się opracowania, wytworzenia i przetestowania zindywidualizowanej ortezy stawu skokowego. Dobór ortezy wspomagany skanowaniem 3D daje szansę wyniesienia procesu produkcji na całkiem inny poziom. W toku projektowania, zaproponowanym przez Doktorantkę, zabrakło procesu optymalizacji, który pozwoliłby optymalnie dopasować sztywność/sprężystość stabilizatora, a tym samym uniknąć dodatkowych modyfikacji konstrukcji.

Rozdział trzeci (28 stron) dotyczy badań eksperymentalnych i symulacyjnych wybranych stabilizatorów komercyjnych stawu skokowego oraz nowej zindywidualizowanej ortezy i stanowi on najistotniejszą część rozprawy doktorskiej. Wyniki przeprowadzonych testów dowodzą przewagi proponowanej koncepcji w zestawieniu z ortezami dostępnymi na rynku.

Osiągnięcia prowadzonych badań mgr inż. Łysoń-Ukłańska podsumowuje w rozdziale *Dyskusja i analiza wyników* (35 stron). Warto podkreślić, że Doktorantka zdaje sobie sprawę z niedoskonałości zaproponowanego rozwiązania i wskazuje kierunki dalszego rozwoju ortezy.

Całość rozprawy wieńczy podsumowanie, w którym zawarto konkluzje rozważań oraz ciekawe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Szkoda, że podobnego zakończenia lub krótkiego podsumowania zabrakło na końcu każdego rozdziału, co podniosłoby atrakcyjność i odbiór pracy oraz pozwoliło na wyakcentowanie najważniejszych spostrzeżeń wynikających z poczynionych rozważań w każdym z rozdziałów.

Wrażenie ogólne po przeczytaniu rozprawy jest bardzo dobre. Praca została napisana starannie, z użyciem poprawnej polszczyzny.

3. Ocena ogólna

Doktorantka podejmuje zagadnienie, które jest interesujące poznawczo, a jednocześnie ważne z aplikacyjnego punktu widzenia. Idealnie dopasowana geometria wyrobu medycznego do anatomii człowieka, spełniająca określoną funkcję, jest jednym z ważniejszych aspektów we współczesnej medycynie a spersonalizowane podejście jest przyszłością medycyny i zapewnia znacznie lepsze efekty terapeutyczne. Konstrukcja takich wyrobów wykorzystuje najnowsze osiągnięcia technologiczne do przywracania lub rozwijania utraconych funkcji pacjenta. Rozwiązania inżynierskie w postaci skanera 3D oraz obliczenia numeryczne pozwalają uprościć tradycyjny sposób pobierania form kończyny dolnej oparty na żmudnych pracach rzemieślniczych, zwiększając efektywność oraz skracając czas trwania terapii, a tym samym przyspieszając uzyskanie poprawy jakości życia. Dotychczas przeprowadzone badania potwierdzają potrzebę stosowania nowoczesnych metod w konstrukcji stabilizatorów. Zaproponowana w pracy koncepcja stabilizatora, poddana badaniu na liczniejszej grupie pacjentów, ma szansę na zainteresowanie ze strony środowiska medycznego.

Dużą zaletą rozprawy jest jej całościowy charakter: zawiera ona część teoretyczną, doświadczalną i badania symulacyjne. W części teoretycznej Doktorantka korzysta ze znanych z literatury modeli ciała człowieka, stanowiących podstawę wyznaczenia parametrów chodu. W części doświadczalnej przeprowadza badania z udziałem pacjentów. Znaczącym i dobrze udokumentowanym osiągnięciem Doktorantki jest przeprowadzenie badań symulacyjnych w odniesieniu do sześciu stabilizatorów stawu skokowego.

Podsumowując, do oryginalnych elementów rozprawy zaliczam:

1. Opracowanie metodyki badań eksperymentalnych i symulacyjnych.
2. Ocenę wybranych komercyjnych stabilizatorów stawu skokowego.
3. Opracowanie założeń nowego stabilizatora stawu skokowego.
4. Ocenę zaproponowanej koncepcji stabilizatora stawu skokowego w zestawieniu z wybranymi stabilizatorami komercyjnymi.

Rozprawa rzetelnie dokumentuje szeroko zakrojone i przeprowadzone badania, które mają w głównej części charakter badań symulacyjnych. Doktorantka wykazała się umiejętnością interpretacji wyników symulacji w połączeniu z biomechaniką i anatomią człowieka. W trakcie realizacji eksperymentów w laboratorium chodu musiała opracować odpowiedni protokół pomiarowy we współpracy z rehabilitantami. Świadczy to

o umiejętności współpracy w zespołach interdyscyplinarnych. Do opracowania wyników zastosowała metody analizy statystycznej.

4. Uwagi krytyczne

1. Przegląd stabilizatorów w rozdziale 1 ograniczono jedynie do kilku istniejących rozwiązań. Mam nadzieję, że kwestia braku pogłębionej analizy stanu wiedzy w zakresie istniejących rozwiązań stabilizatorów znajdzie uzasadnienie w trakcie obrony pracy.
2. Prawidłowe rozmieszczenie znaczników na ciele pacjenta decyduje o dokładności uzyskiwanych wyników pomiarowych z systemów optoelektronicznych. Czy przeprowadzono pogłębione badania w zakresie błędów pomiarowych uzyskiwanych podczas umieszczania znaczników bezpośrednio na stopie i na stabilizatorze?
3. Jakimi szczegółowymi założeniami kierowała się Doktorantka podczas wyboru komercyjnych stabilizatorów do badań?
4. Nie dostarczono przekonujących dowodów, wskazujących na potrzebę opracowania nowej ortozy stawu skokowego, w oparciu o badania rynku.
5. W pracy brakuje szczegółowych wymagań technicznych nowego stabilizatora stawu skokowego.
6. Wskazane byłoby przeprowadzenie obliczeń numerycznych, przy użyciu metody elementów skończonych (MES), co umożliwiłoby przeprowadzenie wielowariantowej analizy wpływu zmian postaci konstrukcyjnej na zachowanie założonych wymagań i dostosowanie cech konstrukcyjnych produktu do wymagań wynikających ze szczególnych dysfunkcji pacjenta. Analiza wytrzymałościowa byłaby również pomocna w ocenie skuteczności nowego stabilizatora.
7. Doktorantka zestawiała własną koncepcję rozwiązania z komercyjnymi stabilizatorami stawu skokowego na podstawie parametrów chodu. Stabilizatory komercyjne przebadano na odpowiednio licznej grupie pacjentów, a własną koncepcję przetestowano jedynie na jednej osobie. Ta kwestia wymaga wyjaśnienia.
8. Jakimi cechami nowości charakteryzuje się koncepcja stabilizatora zaproponowana przez Doktorantkę w zestawieniu z przebadanymi w pracy stabilizatorami komercyjnymi?
9. Sposób modyfikacji modelu MoCap jest bardzo ważnym punktem pracy, jednakże pliki LigMes.any powinny być zawarte w załączniku. Stanowią one swoistego rodzaju

instrukcję opracowania lub modyfikacji istniejących modeli i należą do prac rutynowych.

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Barbary Łysoń-Ukłańskiej nt. *Metoda projektowania nowej zindywidualizowanej ortezy stawu skokowego* została sumiennie przygotowana i zredagowana. Doktorantka poprawnie sformułowała problem naukowy i zaproponowała własną koncepcję stabilizatora stawu skokowego, która jest bardziej efektywna niż stabilizatory komercyjne. Zaproponowane rozwiązanie, mimo kilku krytycznych uwag, jest cenne i stanowi punkt wyjścia do dalszych prac nad skutecznymi stabilizatorami stawu skokowego.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona rozprawa mgr inż. Barbary Łysoń-Ukłańskiej odpowiada warunkom stawianym rozprawom doktorskim przewidzianym Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 2018, poz. 1668, art.186, 187). Wniosuję zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Barbary Łysoń-Ukłańskiej do publicznej obrony.

