

Gliwice, 10-12-2023

prof. dr hab. inż. Robert Michnik
Katedra Biomechatroniki
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Biomedycznej
ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze
e-mail: *Robert.Michnik@polsl.pl*

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Justyny Skubich

pt.: „Analiza obciążeń działających w układzie szkieletowo-mięśniowym u osób z mózgowym porażeniem dziecięcym”

1 Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo o sygnaturze WM-IIB.4130.1.23 Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej prof. dr hab. inż. Jolanty Pauk, w którym zostałem poinformowany, że Rada Naukowa Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Justyny Skubich pt. „Analiza obciążeń działających w układzie szkieletowo-mięśniowym u osób z mózgowym porażeniem dziecięcym”.

2 Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt.: „Analiza obciążeń działających w układzie szkieletowo-mięśniowym u osób z mózgowym porażeniem dziecięcym” autorstwa Pani mgr inż. Justyny Skubich. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z 9 rozdziałów głównych, bibliografii oraz 2 załączników. Całość pracy liczy 291 stron i do jej napisania wykorzystano 206 pozycji literaturowych powiązanych ściśle z tematyką prowadzonych przez doktorantkę badań. Rozprawa uzupełniona została wykazem skrótów, oznaczeń i symboli tabel. Integralną częścią rozprawy jest jej streszczenie w języku polskim i angielskim.

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej koncentruje się na wykorzystaniu modelowania matematycznego do symulacji funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego

pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym. Podjęcie tej tematyki badań wpisuje się w aktualny nurt badań biomechanicznych związanych z poszukiwaniem nieinwazyjnych metod pozwalających na identyfikację obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego. W odniesieniu do badań modelowych specyficznej grupy pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym, realizacja pracy wiązała się z opracowaniem propozycji spersonalizowanego modelu matematycznego dedykowanego dla badanej grupy oraz przeprowadzeniem szeregu symulacji pozwalających na analizę wrażliwości i walidację opracowanego modelu.

3 Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w typowym dla prac naukowych podziale na pięć głównych części: wprowadzenie do tematyki prowadzonych badań, prezentacji celu badań, opisu badań własnych, prezentacji i omówieniu wyników badań oraz podsumowania końcowego. W czterech pierwszych rozdziałach doktorantka zaprezentowała obszerny przegląd literatury obejmujący: charakterystykę mózgowego porażenia dziecięcego (*rozdział 1*), doświadczalne i modelowe metody wyznaczania sił generowanych na powierzchniach stawów kończyn dolnych (*rozdział 2*), modele wykorzystywane do symulacji funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego (*rozdział 3*) oraz modele narządu ruchu pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym (*rozdział 4*). Każdy z wyżej wymienionych rozdziałów zakończony jest podsumowaniem, w którym autorka zawarła istotne przesłanki będące podstawą podjęcia badań prezentowanych w rozprawie doktorskiej.

Na podstawie wniosków z przeprowadzonych badań literaturowych doktorantka sformułowała:

- główny cel pracy: opracowanie metodyki modelowania i wspomaganiej komputerowo analizy układu ruchu człowieka, umożliwiającej uwzględnienie patologicznych zmian występujących w mózgowym porażeniu dziecięcym,
- dodatkowy cel pracy: zastosowanie opracowanej metodyki do wyznaczenia obciążeń działających w stawach biodrowym i kolanowym pacjenta z mózgowym porażeniem dziecięcym,
- hipotezę badawczą: modelowanie i wspomaganie komputerowo biomechaniczna analiza układu ruchu, dzięki uwzględnieniu w modelu patologicznych zmian charakterystycznych dla analizowanego schorzenia, pozwala na bardziej realistyczną ocenę obciążeń działających w układzie ruchu osób z mózgowym porażeniem dziecięcym.

Rozdział 5 rozprawy doktorskiej oprócz prezentacji celów i hipotezy badawczej zawiera koncepcję i metodykę badań własnych, którą szczegółowo i obszernie opisano w rozdziale 6 *Metodyka badań*. W rozdziale tym przedstawiono:

- charakterystykę grup badawczych (grupa kontrolna - osoby zdrowe, grupa docelowa – pacjenci z MPD),

- metodykę wyznaczania wielkości kinematycznych, kinetycznych i aktywności mięśni podczas badań chodu obu grup badawczych,
- metodykę badań funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego z wykorzystaniem standardowego modelu dostępnego w środowisku AnyBody Modeling System,
- model układu mięśniowo-szkieletowego pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym będący modyfikacją modelu standardowego w zakresie: zmiany parametrów strukturalnych mięśni, modyfikacji sposobu aktywowania mięśni, modyfikacji parametrów pasywnych mięśni, modyfikacji geometrii segmentów kostnych,
- zestawienie wariantów symulacji numerycznych z wykorzystaniem modelu standardowego i jego modyfikacji.

W rozdziale 7 przedstawiono wyniki przeprowadzonych wariantów symulacji dla grupy kontrolnej (99 zdrowych młodych osób) oraz grupy docelowej (11 pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym). Symulacje dla obu grup przeprowadzono z wykorzystaniem zarówno modelu standardowego jak również jego modyfikacji. Wyniki badań dla każdej grupy badanych przeprowadzone dla różnych wariantów symulacji przedstawiono w czterech osobnych podrozdziałach. Każdy z podrozdziałów zawiera szereg zestawień wyników badań w postaci licznych wykresów i zakończony jest analizą otrzymanych wyników badań zamieszczonych w podrozdziałach *Podsumowanie*.

Konkluzje wynikające z przedstawionych w rozdziale 7 wyników skłoniły autorkę pracy do sformułowania metodyki indywidualnego modelowania układu ruchu pacjenta z MPDz, którą zaprezentowano w rozdziale 8. Spersonalizowane podejście do modelowania układu ruchu pacjentów z MPDz obejmuje: modelowanie układu szkieletowego na podstawie obrazów medycznych pozyskanych z tomografii komputerowej oraz wyznaczenie parametrów modelu wybranych mięśni również na podstawie obrazów z tomografii komputerowej. W rozdziale tym przedstawiono wyniki symulacji numerycznych dla pacjenta z MPDz uzyskane z wykorzystaniem spersonalizowanego modelu. Wyniki te poddano analizie porównawczej z wynikami symulacji z modelu standardowego.

Rozdział 9 rozprawy doktorskiej zawiera podsumowanie i wnioski końcowe z przeprowadzonych badań.

4 Najważniejsze osiągnięcia pracy

Do najważniejszych, oryginalnych osiągnięć badawczych przedstawionej pracy doktorskiej należy zaliczyć:

1. Utworzenie kolekcji danych wejściowych do symulacji numerycznych funkcjonowania układu mięśniowego poprzez przeprowadzenie badań

- doświadczalnych chodu dla 99 osób zdrowych (grupa kontrolna) oraz 11 pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym.
2. Opracowanie metodyki tworzenia spersonalizowanych modeli układu mięśniowo-szkieletowego na podstawie obrazów medycznych (tomografii komputerowej) w szczególności:
 - a. budowę modelu numerycznego miednicy i kości udowej oraz implementacji tych modeli w środowisku AnyBody Modeling System,
 - b. wyznaczenie na podstawie danych tomograficznych parametrów mięśni wykorzystywanych w modelu siły mięśniowej,
 3. Przeprowadzenie szeregu wielowariantowych symulacji numerycznych funkcjonowania narządu ruchu podczas chodu osób zdrowych i pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym.
 4. Przeprowadzenie obszernych analiz porównawczych (w głównej mierze ilościowych) wyników symulacji numerycznych uzyskanych dla różnych modyfikacji modelu układu mięśniowo-szkieletowego.
 5. Sformułowanie ogólnych wytycznych związanych z personalizacją modeli matematycznych stosowanych w identyfikacji sił mięśniowych pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym.
 6. Bardzo pozytywnie oceniam fakt, że część wyników badań prezentowanych w rozprawie, zgodnie z danymi zamieszczonymi w załączniku 2, została opublikowana w renomowanych czasopismach naukowych.

5 Uwagi krytyczne i dyskusja materiału naukowego

Recenzowaną pracę oceniam pozytywnie, zarówno pod względem merytorycznym jak i edycyjnym. W kilku miejscach pracy pojawiły się drobne usterki edycyjne, nieścisłości lub nieprecyzyjne sformułowania. Uwagi szczegółowe zamieszczam poniżej.

1. W rozprawie doktorskiej zaprezentowano szereg wyników wielowariantowych symulacji funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego podczas chodu osób zdrowych oraz pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym. Znaczna ich część miała na celu wykazanie wpływu różnych parametrów modelu narządu ruchu na wyniki symulacji. Biorąc pod uwagę fakt, że badania wrażliwości tego typu modeli mają dobrą dokumentację w postaci licznych artykułów naukowych bez uszczerbku dla rozprawy część wyników badań można było pominąć. W szczególności uwaga ta dotyczy rozdziałów 7.2, 7.4.
2. Analiza wyników badań prezentowanych w rozdziałach 7 i 8 opiera się w głównej mierze na analizie jakościowej. Uważam, że doktorantka nie wykorzystwała w pełni potencjału wyników wielowariantowych symulacji, które mogły być podstawą

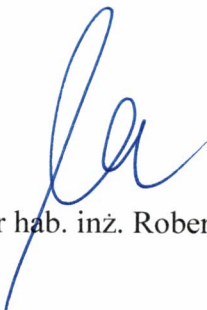
przeprowadzenia ilościowej analizy wpływu poszczególnych modyfikacji modelu na wyniki badań. Ponadto duża liczba wyników symulacji dawała szerokie pole do przeprowadzenia analiz statystycznych.

3. Zastrzeżenia mam do sposobu weryfikacji opracowanej metodyki badań – wprowadzonych modyfikacji modelu układu mięśniowo-szkieletowego. Weryfikacja ta została przeprowadzona poprzez jakościową ocenę zgodności wyników symulacji (okresów aktywności mięśnia) z aktywnością wyznaczoną w badaniu sEMG. Dodatkowo z opisów wyników symulacji zamieszczonych w rozdziałach 7 i 8 wynika, że okresy aktywności mięśni były szacowane na podstawie przebiegów sił mięśniowych. Zdecydowanie lepszym sposobem weryfikacji opracowanej metodyki badań byłaby ilościowa ocena zgodności przebiegów otrzymanych z badań doświadczalnych (pomiarów sEMG) i aktywności mięśni wyznaczanych z symulacji w środowisku AnyBody System Modeling.
4. Jedną z zastosowanych modyfikacji w spersonalizowanym modelu układu mięśniowo-szkieletowego była modyfikacja sposobu aktywacji mięśnia (opisana na str. 115). Uważam, że dużym niedopatrzeniem jest brak weryfikacji tego modelu, mimo tego, że zgromadzone dane z badań doświadczalnych (wyniki pomiarów sEMG) oraz wyniki symulacji (chwilowe długości mięśni, prędkość skracania mięśni, aktywność mięśni) dawały możliwość weryfikacji tego modelu. Warto zwrócić uwagę na to, że zgodnie z wynikami symulacji prezentowanymi w rozdziale 7, zastosowanie modyfikacji modelu w postaci zmiany sposobu aktywacji mięśnia powodowała znaczny wzrost wyznaczanych sił mięśniowych w fazie wymachowej. W przypadku niektórych mięśni siły generowane przez nie w fazie wymachowej były większe niż w fazie podporowej (Rys. 7.11).
5. Uwzględniając uwagę dotyczącą niepełnej weryfikacji metodyki badań zawartą w pkt. 3 i 4 uważam, że postawiona hipoteza badawcza nie została w pełni potwierdzona.
6. Mankamentem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dosyć uboga dyskusja naukowa uzyskanych wyników symulacji. Prezentowane wyniki są obszernie omawiane i analizowane, jednakże rzadko są konfrontowane z wynikami badań innych autorów.
7. Doceniam potencjał przeprowadzonych przez doktorantkę badań, jednak pewien niedosyt pozostawia fakt braku wskazania kierunków dalszych badań i przede wszystkim możliwości praktycznego wykorzystania proponowanej metodyki badań.

6 Wnioski końcowe

Podsumowując należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa zawiera cenne aspekty poznawcze w szeroko rozumianej dyscyplinie inżynieria biomedyczna. Prace badawcze przedstawione w rozprawie zostały zrealizowane na wysokim poziomie naukowym. Wyniki badań uzupełniają dotychczasową wiedzę w zakresie metod prowadzenia badań modelowych pozwalających na symulacje funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego, w szczególności identyfikację sił mięśniowych i reakcji w stawach. Niewątpliwym osiągnięciem recenzowanej rozprawy jest opracowanie i częściowa walidacja autorskiego modelu układu mięśniowo-szkieletowego pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym z możliwością personalizacji parametrów modelu układu szkieletowego oraz mięśniowego. Tym samym badania prezentowane w rozprawie doktorskiej wpisują się w obszar badań reprezentowanych przez dyscyplinę inżynieria biomedyczna.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia wymagane Ustawą warunki, to jest art.13 ust.1 *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. Justyny Skubich do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w szczególności do publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.



prof. dr hab. inż. Robert Michnik