

dr hab. inż. Tomasz Klekiel, prof. UZ
Instytut Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej
Wydział Nauk Inżynieryjno - Technicznych
Uniwersytet Zielonogórski
ul. Licealna 9
65-417 Zielona Góra

Zielona Góra, 28.05.2025

Recenzja

rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Hanny Zadoń

pt. „MODEL MATEMATYCZNY PROGNOZOWANIA KONSEKWENCJI ZDROWOTNYCH W
OBREMBIE UKŁADU SZKIELETOWO-MIĘŚNIOWEGO W WYNIKU SEDENTARNEGO STYLU ŻYCIA”

Wprowadzenie

Rozprawa doktorska mgr inż. **Hanny Zadoń** poświęcona jest istotnemu zagadnieniu modelowania przebiegu procesu zmian w układzie mięśniowo-szkieletowym wyniku różnic w aktywności fizycznej.

Praca powstała pod kierunkiem Pana Profesora dr hab. inż. Roberta Michnika. Promotorem pomocniczym jest Pani dr inż. Katarzyna Nowakowska-Lipiec.

Praca składa się z 6 rozdziałów i zawiera wstęp, opis sedentarnego stylu życia na funkcjonowanie narządu ruchu, badania modelowe konsekwencji sedentarnego stylu życia na funkcjonowanie narządu ruchu człowieka oraz podsumowanie i wnioski. Praca liczy 201 stron, Nie zawiera spisu tabel i rysunków. Bibliografia zawiera imponującą liczbę 314 pozycji.

Rozprawę należy zaliczyć do dyscypliny naukowej inżynieria Biomedyczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Zakres rozprawy

We wstępie Autorka przedstawia podstawowe definicje związane z klasyfikacją stylu życia wskazując na przyjęte w dalszej części pracy kryteria. Zawarto szczegółową analizę kryteriów przyjmowanych przez licznych autorów. Przeanalizowano metody pomiarowe wykorzystywane do pomiaru aktywności fizycznej, wskazując na skuteczność metody polegającej na określeniu liczby kroków. Przeprowadzono szczegółową ocenę dostępnych

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Rada Dyscypliny Inżynierii Biomedycznej

wpłynęło dnia 05.06.2025

nr 128 zał. /

badan związanych określeniem granicznej liczby kroków świadczącej o aktywnym lub sedentarnym trybie funkcjonowania potwierdzając, że odzwierciedlają one rzeczywistą aktywność fizyczną w ciągu doby i jednocześnie mogą stanowić kryterium w procesie grupowania osób ze względu na poziom aktywności.

We wstępie opisano także konsekwencje zdrowotne siedzącego trybu życia w tym brak kondycji, choroby układu wieńcowo-naczyniowego, zwyrodnienia, dysfunkcje układu szkieletowo-mięśniowego czy także wykazano możliwość występowania dolegliwości związanych z niektórymi chorobami psychicznymi, uzasadniając tym samym istotność badań stanowiących przedmiot niniejszej rozprawy.

Szczególne miejsce we wstępie zajmuje podrozdział dotyczący przeglądu literaturowego longitudinalnych badań analizujących wpływ sedentarnego stylu życia na zdrowie, gdzie poruszono problem otyłości czy chorób sercowo-naczyniowych. Wskazano na subiektywne kryteria badaczy dotyczące określenia stopnia aktywności i tym samym przedstawiono zestawienie ukazujące trendy w określaniu tych kryteriów jak i poddano analizie jakość analizowanych badań pod kątem przydatności przy ustaleniu kryteriów określania stopnia aktywności przy grupowaniu osób.

Kolejnym elementem pracy jest sformułowany cel i zakres. Celem rozprawy doktorskiej było " prognozowanie konsekwencji zdrowotnych sedentarnego stylu życia w obrębie układu mięśniowo-szkieletowego na podstawie wyników badań modelowych oraz longitudinalnych badań doświadczalnych narządu ruchu."

Zakres prac przewidzianych do realizacji w ocenianej rozprawie dotyczył odpowiedzi na 3 pytania „jak styl życia wpływa na funkcjonowanie narządu ruchu człowieka?”, „czy i w jaki sposób prowadzona przez człowieka aktywność fizyczna wpływa na wzorec pozycji siedzącej?”, „jak bardzo niebezpieczne dla układu szkieletowo-mięśniowego człowieka jest prowadzenie siedzącego trybu życia?”. Realizacja celu pracy została szczegółowo zaplanowana przewidując badania literaturowe, doświadczalne i modelowe. Na potrzeby realizacji niniejszej rozprawy zaproponowano szczegółowy schemat metodyki badań, który z pewnością usystematyzował działania podczas realizacji i osiągnięcia celów pracy.

Rozdział 3 zawiera opis badań doświadczalnych dotyczących oceny wpływu sedentarnego stylu życia na funkcjonowanie narządu ruchu, przeprowadzonych przez Autorkę rozprawy. Na 52 stronach opisano szczegółowo przeprowadzone badania dotyczące sylwetki, zdolności utrzymywania równowagi, parametrów czasowo-przestrzennych, poziomu gęstości kości, zdolności siłowych i badań USG mięśni. Szczegółowo scharakteryzowano badawcze grupy osób oraz przeprowadzono analizę statystyczną wybranych grup badawczych sporządzonej na podstawie wywiadów i ankiet. Wykazano prawidłowość podziału na grupy badawcze. Dokonano ilościowej oceny wykonywanej liczby kroków w ciągu dnia w zależności od pory roku, dni tygodnia czy ze względu na płeć. Przeanalizowano czynniki wpływające na dzienny poziom aktywności fizycznej i porównano je z doniesieniami literaturowymi. Wykazano zależność aktywności od pory roku i innych czynników, których istotność i charakter, pogrupowano jako czynniki indywidualne, środowiskowe, psychologiczne związane ze stylem życia i świadomością zdrowotną. Przeanalizowano relacje pomiędzy masą ciała a sedentarnym stylem życia wykazując empirycznie brak związku między prowadzonym stylem życia a składem ciała, i ujemną korelację pomiędzy aktywnością a masą ciała o ok 62% badanych osób.

Analizie poddano także związek pomiędzy postawą a sedentarnym stylem życia. Zastosowano nowoczesną aparaturę do badania postawy ciała skupiając się głównie na parametrach opisujących geometrię kręgosłupa i położenie miednicy. Wykazano, że styl życia może wpływać na zmianę postawy ciała uwidaczniając istotne różnice występujące pomiędzy postawami stojącej i siedzącej. Badania zrealizowane w okresie ok. 1 roku wykazały istotne zmiany w tyłopochyleniu miednicy prowadzących bezpośrednio do zaburzeń postawy ciała. Wykazano że siedzący tryb życia wpływa na postawę ciała postulując że aby odwrócić ten proces należy zintensyfikować aktywność fizyczną w odpowiednio długim czasie.

Badania stabilograficzne dostarczyły istotnych informacji o położeniu ciała w przestrzeni w tym o położeniu środka ciężkości względem podpór, jego prędkości i kierunku przemieszczania. Analiza położenia środka ciężkości dostarczyła informacji o jakości funkcjonowania układu nerwowego w procesie stabilizacji ciała. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że okres jednego roku nie jest wystarczającym czasem do zaistnienia zmian istotnie zaburzających funkcje proprioceptywne układu ruchu.

Badania przedstawione w dysertacji obejmowały także funkcje lokomocyjne. Założeniem do przeprowadzenia tej części badań było założenie że sedentarny styl życia może prowadzić do istotnych zmian wzorca chodu. Wykazano brak wpływu sedentarnego stylu życia na podstawowe parametry czasowo-przestrzenne chodu u osób młodych. U osób starszych wiekowo, zauważono mniejszą prędkość i mniejszą częstotliwość związaną z aktywnością fizyczną.

Analiza gęstości kości u badanych osób wykazała że gęstość kości nie zależy bezpośrednio od stylu życia a więc liczby kroków. Badania przeprowadzono w wielu punktach kontrolnych dając istotny statystycznie materiał do szczegółowych analiz. Badano także siłę ścisku dłoni nie wykazując istotnej statystycznie korelacji pomiędzy siłą mięśnia a stylem życia. Przeprowadzone w pracy badania wielkości mięśni nie pozwoliły uznać danych o wielkości brzośca mięśnia jak wiarygodny wskaźnik rozróżniający styl życia.

Na zakończenie rozdziału 3 dokonano szczegółowego podsumowania wyników koncentrując się na przyczynach pojawiania się różnic w pomiarach, analizy wpływu takich czynników jak wiek, płeć, proces starzenia, czy wskaźnik BMI.

Rozdział 4 nawiązuje bezpośrednio do tytułu pracy i zawiera opracowanie modelu wpływu konsekwencji sedentarnego stylu życia na funkcjonowanie narządu ruchu człowieka. Opisano metody modelowania stosowane w analizie układu ruchu człowieka przyjmując schemat procesu identyfikacji modelu. Przedstawiono proces identyfikacji obciążeń z wykorzystaniem środowiska AnyBody Modeling System analizując dostępne modele matematyczne narządu ruchu człowieka. W pracy zidentyfikowano model narządu ruchu i przeanalizowano wpływ pozycji siedzącej na funkcjonowanie układu mięśniowo-szkieletowego. Badania obliczeniowe wykazały różnice w wartościach sił wybranych

reakcji w poszczególnych segmentach w odcinku lędźwiowym kręgosłupa a także sił mięśniowych wybranych mięśni prostownika grzbietu i mięśni brzucha.

Podjęto problem opracowania modelu opisującego wpływ masy ciała na obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego. Na podstawie obszernej bazy danych obejmujące lata 2005-2015 dokonano oszacowania wartości wskaźnika BMI, co doprowadziło do uzyskania modelu predykcyjnego pozwalającego na przewidywanie wzrostu wskaźnika BMI w kolejnych okresach. Przeanalizowano obciążenia występujące w układzie mięśniowo-szkieletowym modeli dla wzrastającego wskaźnika BMI ciała, wykazując bezpośrednią korelację pomiędzy tymi zmiennymi. Przeanalizowano przypadki w których może dochodzić do przeciążenia struktur mięśniowych, wykazując możliwości pojawiania się schorzeń typowych, występujących u osób praktykujących sedentarny tryb życia.

Przeprowadzono szczegółową analizę wpływu zmian podstawy ciała wynikającej z sedentarnego trybu życia na funkcjonowanie układu mięśniowo-szkieletowego. Przeprowadzono symulacje zmian obciążeń układu szkieletowo-mięśniowego na podstawie danych doświadczalnych. Wykazano zwiększone obciążenia występujące w segmencie L5-S1 kręgosłupa oraz zwiększone obciążenie struktur stawu skokowego. Dokonano również analizy obciążeń stawu kolanowego i biodrowego.

Przeanalizowano wpływ aktywności fizycznej na funkcjonowanie układu mięśniowo-szkieletowego poprzez analizę obciążeń ciała podczas chodu. Przeprowadzone symulacje wykazały istotność aktywności fizycznej w zmniejszaniu przeciążeń występujących w stawach.

W podsumowaniu przeprowadzono z powodzeniem dowód na osiągnięcie celu pracy.

Oryginalność pracy

W rozprawie doktorskiej podjęto ciekawy naukowo oraz badawczo problem modelowania zachowania się układu mięśniowo-szkieletowego w warunkach aktywnego i nieaktywnego fizycznie stylu życia. Szczególnie istotnym aspektem pracy było przeprowadzenie znacznej liczby badań doświadczalnych i modelowych pozwalających na wykazanie zmian wynikających z sedentarnego stylu życia. Należy docenić starania w opisanu tych procesów w postaci złożonego modelu, który w efekcie pozwolił na symulacje wielu przypadków obciążeń znajdujących odniesienie do powszechnie występujących sytuacji życiowych.

Wszystkie sformułowane przez Doktorantkę cele pracy zostały osiągnięte. Doktorantka wykazała się imponującymi umiejętnościami w zakresie planowania i przeprowadzania badań doświadczalnych, obróbki wyników i wnioskowania. Na szczególną uwagę zasługuje wykazana w pracy umiejętność ujęcia systemowego zgromadzonych wyników, proponując zaawansowany technicznie model matematyczny relacji występujących w złożonym układzie biomechanicznym jakim jest ciało człowieka. Jak wiadomo

zagadnienia dynamiczne występujące w układzie ruchu człowieka, a w szczególności prawidłowe ich rozwiązanie wymaga olbrzymiego kunsztu i doświadczenia. Złożoność działań dokonanych przy realizacji przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych wskazuje, że doktorantka osiągnęła potrzebne doświadczenie i wykazała się imponującymi umiejętnościami badawczymi.

Metodologia przyjęta przy planowaniu eksperymentów oraz wykorzystanie metod i narzędzi statystycznych wymagała odpowiedniego przemyślenia i działań przewidujących potencjalne ryzyko niepowodzenia. Badania były prowadzone na dużej populacji osób w znacznym okienku czasowym co dodatkowo utrudniało zachowanie norm poprawności przy realizacji tj. efekt kohortowy, czy zwykła utrata uczestników.

Do opracowania modelu posłużono się znanym i popularnym w analizach biomechanicznych oprogramowaniem, które pozwoliło uzyskać model bardzo szczegółowy i uwzględniający wiele istotnych aspektów związanych z funkcjonowaniem układu ruchu. Dodatkowa korelacja modeli z badaniami doświadczalnymi np. przy modelowaniu obciążeń podczas chodu dodatkowo wzmacnia przekonanie o wysokiej jakości prezentowanych wyników i prawidłowości wnioskowania.

Cel pracy jakim było „prognozowanie konsekwencji zdrowotnych sedentarnego stylu życia ...” został w pełni osiągnięty, gdyż opracowany i przedstawiony w pracy model funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego w warunkach zmian wywołanych sedentarnym stylem życia pozwolił wykazać, że prognozowanie takie stało się możliwe i niesie za sobą wielki potencjał zarówno naukowy, jak i praktyczny.

Opracowany model, jako wynik realizacji ocenianej pracy, jest unikatowy. W światowej literaturze istnieją liczne doniesienia świadczące o silnej korelacji pomiędzy sedentarnym stylem życia. Autorzy Ci są licznie cytowani w ocenianej pracy. Tym nie mniej, niniejsza praca, stanowi rodzaj podsumowania, gdyż pozwoliła na ułożenie tych podstawowych czynników występujących podczas zmniejszonej aktywności fizycznej w postać modelu, a wyniki badań prowadzonych w przyszłości będą mogły opracowany model rozwijać i dalej uszczegóławiać.

Efekty niniejszej pracy mogą stanowić kanwę dla przyszłych analiz konkretnych zachowań potencjalnych pacjentów w tym przewidywania skutków takich zachowań, co może sprzyjać z jednej strony motywacji do bardziej aktywnego życia, ale również może pomóc w diagnostyce i planowaniu procesu wzmożenia aktywności uwzględniając zarówno kondycję ciała jak i stopień upośledzenia układu ruchu.

Uwagi ogólne

Zebrano uwagi ogólne, których uwzględnienie w ostatecznym rozrachunku pozwoliłoby poprawić formę oraz wartość naukową rozprawy. Sformułowano 3 ogólne uwagi:

- brak określenia dokładności pomiaru, informacji o kalibracji urządzeń pomiarowych, wyznaczenia niepewności pomiaru i analizy wpływu tych parametrów na poprawność formułowania wniosków.

-brak analizy błędów pomiarowych wynikających z dokładności pomiaru dla doświadczeń w rozdziale 3, czy wyjaśnienia, że analiza taka z pewnych powodów nie jest istotna.

- brak weryfikacji opracowanych w rozdziale 4 modeli, lub wyjaśnienia na jakiej podstawie przyjęto, że modele nie wymagają weryfikacji.

Uwagi szczegółowe

- str. 20, tab. 1.2 - zestawiono dane z literatury. Brak opisu dla poszczególnych kryteriów zestawionych w kolumnach. Np. Na jakiej podstawie oceniono, że dowody przedstawione w danej pracy są niewystarczające?.

-str. 23 – schemat przyjętej w pracy metodyki badań nie zawiera kamieni milowych w których zadaniem byłoby sprawdzenie czy realizowany jest cel i zakres pracy

- str. 31 - stosowano test T-Studenta lub test U Manna-Whitneya dla prób niezależnych oraz T-Studenta lub test Wilcoxon dla prób zależnych. Należało by wyjaśnić kiedy, który test był stosowany i czym się kierowano.

- str. 47 – opisano wagę służącą do pomiaru masy ciała. Brakuje informacji o kalibracji.

- str. 57 rys. 3.19 b) – brak czytelności danych uwidocznionych na rysunku.

- str. 61 - str.78- przy opisie tabel występują symbole serii pomiarowych P01 i P02, których sens nie został jednoznacznie wskazany. W dyskusji na str. 75 jest wspomniane o dwóch turach badań jednak istota różnic pomiędzy tymi seriami powinna być lepiej opisana i uargumentowana, aby lepiej móc zrozumieć sens metodyczny.

- str. 62 – nie przeanalizowano przyczyn zmian postawy pod kątem aktywności mięśni, które mogą ulegać osłabieniu, jako istotnych danych przy opracowywaniu i weryfikacji modelu.

- str. 65 występuje pojęcie „...elipsa przedziału predykcji...”. Czy w tej części zdania słowo elipsa powinno być wykreślone? Na jakiej podstawie przyjęto czas próby 60 sekund z wyłączeniem pierwszych i ostatnich 15 sekund? Brakuje uzasadnienia dla tej decyzji.

- str. 73 – na rysunku 3.26 informacje są całkowicie nieczytelne.

-str. 75 – użyto sformułowania „...istotnie statystycznych...” które wydaje się niefortunne. Dane mogą być ... istotne statystycznie... i należało by użyć tego zwrotu w odpowiedniej formie gramatycznej. Podobne sformułowanie występuje na stronie 84.

str. 77 – we wnioskach wykazano, że sedentarny tryb życia nie ma istotnego wpływu na parametry chodu. Szkoda, że program badawczy nie uwzględnił przeprowadzenia badań spirometrycznych.

str. 86 – Przykładowo tabela 3.20 zawierają wyniki gdzie wartość średnia parametru T- SCORE T1 to nieco poniżej 50% różnicy. Szkoda, że zabrakło komentarza dotyczącego istotności tych parametrów i jak interpretować te różnice w kontekście zmian w strukturze i wytrzymałości kości.

str. 88 – 3 wniosek dotyczy obserwacji że może dochodzić do niewielkich, istotnych statystycznie zmian BMD kości. Brakuje podsumowania ilościowego aby lepiej zrozumieć zjawisko.

str. 100 – trudno jednoznacznie stwierdzić z treści podrozdziału, które wnioski wypływają z literatury, a które są wynikiem prowadzonych badań opisanych w pracy.

str. 103 – w podsumowaniu wskazano na zbyt krótki czas trwania badań, aby uzyskać istotne statystycznie wyniki. Nie rozważono aspektu związanego z przyjętym progiem aktywności. Można by pokusić się o odpowiedź: Czy przyjęty próg określający osoby prowadzące sedentarny tryb życia został określony właściwie?

str. 126 – wskazano, że pomiary EMG i USG pozwalają na analizę dużych grup mięśniowych, tym samym można by użyć tych narzędzi do walidacji modelu. Czy prezentowany model był walidowany i jeśli tak to jakimi narzędziami?

str. 128 – różnice w aktywności niektórych z wymienionych mięśni w podpunkcie 2 wniosków można by sprawdzić i tym samym zwalidować model.

Str. 130 – brakuje szczegółowego opisu modelu, procedury czy matematycznej funkcji, która uwzględnia założone zmiany w układzie mięśniowo-szkieletowym. Trudno jest na podstawie zamieszczonego w tym miejscu pracy opisu stwierdzić, czy zastosowana metodologia postępowania była prawidłowa.

str. 154, rys. 4.22 – w tekście opisującym wykres mowa jest o zmęczeniu mięśnia. Jest to proces obserwowalny w długotrwałe napiętym mięśniu jak i proces zachodzący wraz z upływającym czasem życia. Należało by dokładniej opisać co należy rozumieć pod pojęciem zmęczenia mięśnia i w jaki sposób ten parametr został zdefiniowany w modelu.

Pomimo wymienionych, drobnych uwag technicznych, należy podkreślić, że praca przedstawia wysoki poziom merytoryczny. Autorka podejmuje temat w sposób nowatorski i oryginalny, wykazując się bardzo dobrą znajomością literatury przedmiotu oraz umiejętnością krytycznej analizy prezentowanych zagadnień. Zastosowane podejście badawcze jest odpowiednie, należyście dobrane, a uzyskane wyniki wnoszą istotną wartość poznawczą do dziedziny wiedzy związanej z funkcjonowaniem układu ruchu człowieka z uwzględnieniem różnych warunków życia. Oceniając całościowo, praca prezentuje bardzo dobry poziom naukowy i zdecydowanie zasługuje na wyróżnienie.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest wartościowym i oryginalnym opracowaniem naukowym. Przyjęta metodyka badawcza jak i przedstawione wyniki pozwalają stwierdzić, że Doktorantka biegle porusza się w swojej tematyce badawczej.

W dorobku publikacyjnym doktorantki (baza Scopus) znaleziono 15 prac, w tym 4 pozycje, których główną autorką jest Doktorantka.

Zgodnie z obowiązującą ustawą o szkolnictwie wyższym, wymogiem formalnym do ubiegania się o tytuł doktora nauk technicznych jest minimum jedna publikacja lub monografia i doktorantka spełnia to kryterium. Podsumowując, należy uznać na podstawie oceny rozprawy oraz dotychczasowego dorobku, że doktorantka prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie inżynieria biomedyczna oraz posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w tym oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej i społecznej.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. **Hanny Zadoń** pt: „*Model matematyczny prognozowania konsekwencji zdrowotnych w obrębie układu szkieletowo-mięśniowego w wyniku sedentarnego stylu życia*” spełnia warunki ujęte w art. 13. Ust 1 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2017r poz. 1789) oraz art. 186 i 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 11 września 2024 r. Dz. U. 2024 poz. 1571). Na podstawie dokonanej oceny, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. **Hanny Zadoń** do dalszych etapów postępowania przewidzianych dla przewodów doktorskich oraz dopuszczenia ocenionej pracy do publicznej obrony.

Jednocześnie, na podstawie treści §13 uchwały Nr 43/2023 Senatu Politechniki Śląskiej w sprawie Regulaminu w zakresie nadania stopnia doktora stwierdzam, że praca charakteryzuje się wysoką wartością merytoryczną, a Pani mgr inż. **Hanna Zadoń** jest współautorką kilku publikacji związanych z tematyką pracy, i będę ogromnie zaszczycony móc wnioskować o jej **wyróżnienie**, pozostając w pełni uznania dla wkładu Doktorantki w rozwój dyscypliny inżynieria Biomedyczna.

Podpisał Tomasz Klekiel (podpis odręczny)