

dr hab. Agnieszka Dardzińska-Głębocka, prof.PB

Instytut Inżynierii Biomedycznej

Wydział Mechaniczny

Politechnika Białostocka

ul. Wiejska 45c

15-351 Białystok

R e c e n z j a

pracy doktorskiej pani mgr inż. Klaudii Kozłowskiej

„REINTERPRETACJA ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW
CZASOPRZESTRZENNYCH CHODU”

(Reinterpretation of variability of gait spatio-temporal parameters)

Niniejsza recenzja została napisana na podstawie pisma pani prof. dr hab. inż. lek. Haliny Podbielskiej, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Biomedyczna, z dnia 28. września 2021, w związku z prowadzonym przez Radę Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Wrocławskiej przewodem doktorskim mgr inż. Klaudii Kozłowskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska napisana została w języku angielskim, liczy łącznie 67 stron. Składa się ona ze wstępu będącego ogólnym zarysem problematyki rozprawy oraz 5 podstawowych rozdziałów. Pracę uzupełniają streszczenia w języku polskim i w języku angielskim, spis użytych skrótów, podsumowanie, życiorys doktorantki oraz bibliografia licząca 163 pozycji.

Chód jest jedną z pierwszych złożonych czynności ruchowych ciała, jaka pojawia się z rozwoju ontogenetycznym. Jest jednym z najbardziej skomplikowanych ruchów wykonywanych przez człowieka, dlatego też prawidłowa diagnostyka chodu przysparza wielu trudności. Niezwykle przydatne w diagnostyce chodu są kinematyczne parametry czasowo-przestrzenne. Zagadnienia związane z oceną parametrów czasowo-przestrzennych chodu są dobrze znane w literaturze, a fluktuacje takich pomiarów jak długość dwukroku, czas dwukroku czy szybkość dwukroku były

poddawane licznym analizom. Technika beztrendowej analizy fluktuacji (DFA), w której zakłada się, że szereg czasowy jest superpozycją wielomianowego trendu oraz sygnału, mimo swoich niedoskonałości, stała się powszechnie wykorzystywana w kontekście analizy szeregów czasowych chodu.

W swoich badaniach mgr inż. Klaudia Kozłowska rozwiązała problem autorski, wcześniej niebadany, dotyczący wkładu fluktuacji SL i ST do zmienności SS, poparty wcześniejszymi wnioskami płynącymi z wnikliwie przeprowadzonych analiz poszczególnych parametrów.

Możemy wyróżnić następujący główny cel pracy (por. "Chapter 2. Hipotezy naukowe (Research hypotheses", str. 7):

„Dysertacja powraca do właściwości skalujących parametrów czasoprzestrzennych chodu i poddaje je wnikliwej analizie”. W szczególności sformułowano 4 hipotezy, które przeanalizowano w kolejnych rozdziałach 3-6.

- 1. Trendy są manifoldami, wokół których fluktuują ST i SL (rozdział 3.).*
- 2. W obecności losowych perturbacji szybkości pasa bieżni, silnie antypersistencjne fluktuacje wokół łagodnych i długich trendów mogą prowadzić do słabej persistencji czy antypersistencji szeregów czasowych ST/SL (rozdział 4.).*
- 3. Krótkoczasowa kontrola parametrów czasowo-przestrzennych chodu wykazuje funkcyjną asymetrię (rozdział 5.).*
- 4. Zmiany SL są głównie odpowiedzialne za kontrolowanie szybkości chodzenia (rozdział 6.).*

Postawione przez Autorkę hipotezy są niebanalne, a ich weryfikacja wymagała od Doktorantki obszernej wiedzy. Rozprawę można zakwalifikować jako pracę interdyscyplinarną – dotyczy zagadnień wykorzystania metod uczących do analizy problematyki związanej z biomechaniką chodu. Swoją pracę Autor podzieliła na kilka części, które teraz dokładnie opiszę.

Rozdziały, które stanowią rozprawę doktorską można podzielić na dwie części: teoretyczną (wprowadzającą w zagadnienia związane z tematyką pracy), oraz zasadniczą (stanowiącą wkład własny Doktoranta). I tak:

Rozdział 1 Wstęp (Introduction) (str. 1-6) stanowi pogłębiona analiza źródeł w odniesieniu do definicji chodu, ilościowej, obiektywnej analizy chodu, zmienności ruchu, zmienności chodu, oraz beztrendowej analizy fluktuacji. Rozprawa zawiera 163 pozycje literatury światowej: aktualnego stanu wiedzy, jak również opisu dotychczasowych rozwiązań problematyki zawartej w rozprawie.

Rozdział 2 zatytułowany *Hipotezy badawcze (Research hypotheses)* (str.7-8) poświęcony został w całości sformułowaniu celu i hipotez badawczych, o których wspomniałam wcześniej.

Kolejne rozdziały poświęcono zasadniczej części pracy.

Rozdział 3 *Trendy w dynamice chodu (Trends in gait dynamics)* (str. 9-18) zawiera krótki opis metody DFA oraz krótkie uzasadnienie wyboru metody MARS do wyznaczenia trendów w szeregach parametrów czasowo-przestrzennych chodu. Jako dane eksperymentalne wykorzystano szeregi czasowe ST/SL/SS z opracowania Dingwella. Wykładniki skalowania reszt obliczono za pomocą DFA i madogramu. Zauważono, że czasy trwania trendów ST i SL były niezależne od szybkości biegni, a ich rozkłady miały ogony wykładnicze. Dokonując analizy statystycznej Doktorantka stwierdziła, że trendy ST i SL były silnie skorelowane i statystycznie niezależne od ich reszt. Średnia wykładników skalowania dla tychże reszt była nieznacznie mniejsza od 0.5. Tak więc stwierdzono, że statystyczne właściwości szeregów czasowych ST i SL wynikały z superpozycji długoczasowych trendów i krótkoczasowych reszt.

Rozdział 4. *Persystencja i antypersystencja w chodzeniu na bieżni (Persistence and anti-persistence in treadmill walking)* (str. 19-28) poświęcony został analizie chodu na bieżni. Doktorantka wykorzystwała zbiór danych ogólnodostępny w repozytorium Zenodo. Zbadano 15 zdrowych osób przemieszczających się na bieżni w czasie 10 minut, podzielony na 3 odcinki czasowe: jednodominutowy pierwszy zwykły spacer bez zakłóceń, ośmiominutowy spacer z zakłóceniami, oraz jednodominutowy drugi zwykły spacer bez zakłóceń, przy trzech różnych szybkościach. Analizie głównie poddano środkowy odcinek badania, tj. chód zaburzony. Zastosowano szeroką analizę statystyczną otrzymanych wyników. Zauważono, że silna korelacja pomiędzy trendami ST i SL gwarantuje, że ich jednoczesne zmiany ograniczone są do manifoldy stałej szybkości. Takie sprzężenie jest automatycznym sposobem kontroli szybkości codu i odnosi się do reguły minimalnej interwencji.

W Rozdziale 5. *Krótkoterminowa kontrola parametrów czasowo-przestrzennych chodu (Short-term control of spatio-temporal gait parameters)* (str. 29-36) Doktorantka poddała badaniom dynamikę szeregów czasowych parametrów chodu w kontekście nagłych i znaczących odchyień od wartości średniej. Analizując dane zwrócono uwagę, że w momencie gdy wartość parametru chodu była znacząco mniejsza/większa od wartości średniej, była ona natychmiastowo równoważona przez większą/mniejszą wartość parametru chodu nogi kontralateralnej, lub odchylenie od tej średniej malało w kolejnym kroku nogi ipsilateralnej. Tak więc błędy podczas chodzenia na bieżni nie są stopniowo tłumione przez długoczasowe korekcje, ale są natychmiastowo korygowane przez tę samą lub przeciwną nogę. Zwrócono też uwagę na znaczące różnice pomiędzy kontrolą czasem trwania kroku i długością kroku. Ponadto przy nawiększej szybkości, prawdopodobieństwo korekcji długości kroku nogą ipsilateralną jest blisko trzy razy większe niż korekcja kroku nogą kontralateralną. Takich zależności nie zauważono przy czasie trwania kroku. W niniejszym rozdziale Doktorantka przedstawiła bardzo cenne, autorskie wyniki dotyczące asymetrii w dynamice kontroli chodu człowieka.

Rozdział 6. *Zmienność parametrów czasowo-przestrzennych chodu podczas chodzenia na bieżni (Variability of gait spatio-temporal parameters during treadmill walking)* (str. 37-46) dotyczy niezbadanej problematyki wkładu fluktuacji SL i ST do zmienności SS. Doktorantka dokonała aproksymacji wariancji SS za pomocą kombinacji liniowej wariancji SL, ST i kowariancji SL-ST. Otrzymane wyniki posłużyły do interpretacji kontroli zaburzonego chodu na bieżni. Współczynniki kombinacji są zależne od szybkości. Dokładność zaproponowanej aproksymacji określa się na wysokim poziomie. W przypadku chodu zwykłego, blisko 80% wariancji SS pochodzi od fluktuacji SL. W przypadku zaś chodu zaburzonego, wraz ze wzrostem szybkości i amplitudy szumu, wkład wariancji SL maleje. Jednocześnie jej najniższa wartość jest nadal blisko dwukrotnie wyższa od pozostałych. Tak więc kontrolowanie szybkości chodzenia odbywa się głównie poprzez zmiany SL.

Podsumowanie końcowe pracy (Conclusions) (str. 47) odnosi się w głównej mierze do najważniejszych osiągnięć związanych z rozprawą oraz potwierdzeniem założonych wcześniej hipotez badawczych.

Po przeczytaniu całości rozprawy mogę stwierdzić, że cel pracy został Oryginalność przedstawionej do oceny rozprawy wynika przede wszystkim z nowego podejścia do analizy fluktuacji parametrów czasowo-przestrzennych chodu w różnych warunkach. Dokładnie przeprowadzona analiza zmienności motorycznej zdecydowanie przyczynia się do pełniejszego zrozumienia kontroli ruchów, modyfikacji i adaptacji chodu.

Zasadniczo nie mam większych zastrzeżeń do rozprawy. Układ rozdziałów jest czytelny. Jednakże mam nieliczne uwagi szczegółowe, które zamieszczam poniżej.

Uwagi szczegółowe:

Dlaczego wybrała MARS chapter 3

1. Cel i zakres pracy powinien być zamieszczony na początku pracy, co ułatwiłoby znacząco weryfikację poszczególnych etapów osiągania założonych celów.
2. Dlaczego w rozprawie zastosowano metodę MARS? Jakie były ku temu przesłanki? Model nieparametryczny może względnie łatwo osiągnąć błąd zerowy na danych uczących (jeśli dopuści się dużą liczbę parametrów), ale mogą też nieoptymalnie działać na nowych danych (w modelu nie będzie dobrze zgeneralizowana wiedza pobrana z danych uczących).
3. Czy porównano tę metodę z innymi (modele CHAID, drzewa klasyfikacyjne i regresyjne, architektura sieci neuronowych)
4. Str.1. – Analiza cytowanej literatury wskazuje, że nieprawidłowo przyporządkowano odnośnik pozycji [8]
5. W bibliografii podana jest pozycja [9], która jednak nie jest w pracy cytowana

6. Rozdział 3. Str.10 – ile osób poddano badaniom celem utworzenia i analizie szeregów czasowych ST/SL/SS?
7. Str. 10. Wzór 3.1 Proszę o wyjaśnienie wszystkich elementów występujących we wzorze.
8. Str. 11. Wartość α oscyluje pomiędzy 0 a 1. W pracy opisano, co oznacza wartość $\alpha < 0.5$, oraz $\alpha > 0.5$. Co dzieje się w przypadku $\alpha = 0.5$?
9. Str. 11 wzór 3.5. Proszę o wyjaśnienie, co to jest współczynnik l ?
10. Str.15. Proszę wyjaśnić, co oznacza $\alpha^{(0)}$. Dlaczego w tabeli 3.2 nie uwzględnia się $\alpha^{(0)}$.
11. Str.19. Na czym polegało zaburzenie 8-minutowego chodu w eksperymencie (podrozdział 4.2.1).
12. Str. 29. Skąd pochodzą dane poddane analizie w podrozdziale 5.2.1 i w jaki sposób są skorelowane z innymi danymi?
13. Co spowodowało, że Doktorantka samodzielnie nie zebrała danych do analizy problematyki opisanej w rozprawie? Wydaje się zasadne przebadanie grupy osób oraz weryfikacja wyników badań na jednej grupie.
14. Jakie Doktorantka widzi dalsze prace związane z tematyką rozprawy?

Na plus należy podkreślić, że praca doktorska oparta jest na artykułach naukowych (łącznie 5 pozycji), których mgr inż. K.Kozłowska jest współautorem.

Podsumowując uważam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Klaudii Kozłowskiej wpisuje się w nurt prac z dyscypliny inżynieria biomedyczna. Cele postawione na początku dysertacji zostały w pełni zrealizowane. W związku z czym można stwierdzić, że recenzowana praca stanowi opis oryginalnego rozwiązania problemu naukowego wykonanego przez Autorkę rozprawy, jak również wskazuje na szczegółową wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej oraz biegłą umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

W mojej opinii recenzowana 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 oraz odpowiedniego Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich,

w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadaniu tytułu profesora z dnia 14 marca 2004 r. .

Praca zawiera wiele nowych wyników analitycznych, stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Wykazuje, że Autorka potrafi prowadzić badania naukowe w dyscyplinie naukowej inżynieria biomedyczna.

Moim zdaniem dysertacja stanowi podstawę do nadania Autorce stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna. Dlatego wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie pani mgr inż. Klaudii Kozłowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w szczególności do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Równocześnie zwracam się z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej pani mgr. Inż. Klaudii Kozłowskiej ze względu na oryginalność i istotność zaproponowanego rozwiązania problemu naukowego, które przewyższa wymagania niezbędne do obrony pracy doktorskiej. Oryginalność rozwiązania znajduję przede wszystkim w opracowaniu nowej metodyki analizy wkładu fluktuacji SL i ST do zmienności SS. Natomiast istotność tego rozwiązania polega na możliwości zastosowania opracowanej metody do badania analizy chodu osób z dysfunkcjami ruchu. Wykaz osiągnięć Doktorantki, zamieszczony w załączniku rozprawy, wskazuje na jej imponujący dorobek naukowy na tym etapie rozwoju kariery naukowej na który składają się zarówno artykuły naukowe opublikowane w liczących się czasopismach, jak też udział w konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym,.

Agnieszka Dardzińska-Głębocka