

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ mgr Justyny Kędziorek**  
**„Zastosowanie dynamiki nieliniowej do oceny stabilności posturalnej”**  
**napisanej pod opieką promotora prof. dr hab. Michaliny Błażkiewicz**

Recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr Justyny Kędziorek, w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauk o kulturze fizycznej, sporządziłam wg następujących zagadnień:

**1) Ocena merytoryczna pracy**

**a) Trafność podjętej problematyki badawczej i jej oryginalność**

Kontrola równowagi ciała człowieka od wielu lat jest przedmiotem badań wielu autorów, a mimo to wciąż pojawiają się nowe pytania i nowe możliwości poznawania systemu sterowania ruchem człowieka. W przypadku centralnego układu nerwowego - układu sterującego napięciem mięśni, nie jest na razie możliwe bezpośrednie badanie przepływu informacji pomiędzy sterownikiem a efektem, zatem poszukuje się innych możliwości pozyskiwania informacji o skomplikowanych procesach zachodzących w układzie ruchu człowieka. Dotyczy to także analizy jakości kontroli równowagi w pozycji pionowej ciała. Poszukiwanie powiązań nowych metod analitycznych i obliczeniowych z tradycyjnymi, które od dawna są dostępne w badaniach bezpośrednich, jest sposobem na zgłębianie wiedzy w obszarze rozpoznawania mechanizmów rządzących układem ruchu człowieka. Doktorantka podjęła się próby unormowania wartości nieliniowych wskaźników na podstawie przeglądu piśmiennictwa w odniesieniu do liniowych, tradycyjnie stosowanych w ocenie jakości kontroli równowagi ciała, w oparciu o własne wyniki badań. Jest to w mojej opinii główne osiągnięcie naukowe mgr Justyny Kędziorek. Na podkreślenie zasługuje również idea powiązania wyników bezpośrednich badań kontroli równowagi z cechami osobowości badanych, co może być ciekawym aspektem pogłębionej analizy sterowania układem ruchu człowieka.

**b) Uzyskane rezultaty i ich znaczenie dla nauki i praktyki**

Ustalenie interpretacji wartości wskaźników nieliniowych i porównanie ze wskaźnikami liniowymi (zwanymi „statycznymi” – chociaż nie do końca zgadzam się na taką semantykę) pozwala na identyfikację niektórych mechanizmów sterowania układem ruchu, dotychczas nieuchwytnych lub niejasnych. Nadal w tym obszarze badań jakości kontroli równowagi jest wiele niejasności, ale przynajmniej niektóre z nich Doktorantka próbowała wyjaśnić. Osiągnięcie to może być wykorzystane w diagnostyce medycznej przy zaburzeniach równowagi ciała, a także w monitorowaniu terapii u potencjalnych pacjentów. Pewnym ograniczeniem jest fakt, że zastosowanie tych metod analizy wymaga specyficznej wiedzy i umiejętności korzystania zarówno ze specjalistycznej aparatury badawczej, jak i z matematyki i informatyki.

### c) **Poprawność formalno-językowa, stylistyczna i interpunkcyjna**

Generalnie opracowanie przedstawiające osiągnięcia naukowe opublikowane w pracach stanowiących podstawę dysertacji oceniam bardzo wysoko, szczególnie pod względem merytorycznym. Jednak Autorka nie ustrzegła się w niektórych fragmentach skrótów myślowych lub innych uchybień językowych (także kilka tzw. literówek ) i interpunkcyjnych.

Moje uwagi:

- użycie pojęcia „kontrola posturalna” (str. 22) przed jego wyjaśnieniem (podrozdział 1.3)
- co oznacza pojęcie „efektywne organizmy” ? (str. 23)
- powtórzenie „w trakcie” 2 razy w jednym zdaniu (str.23)
- pojęcie „stabilność posturalna” (str. 24) bez wyjaśnienia znaczenia tego pojęcia
- literówki, błędy interpunkcyjne (np. brak przecinka przed ‘a’ lub „aby” w zdaniu złożonym) oraz błąd ortograficzny („wacha się” zamiast „waha się” str. 25)
- co to znaczy „w tandemie” w odniesieniu do powierzchni podparcia stóp (oczywiście czytelnik domyśla się przypuszczalnie, ale należy to doprecyzować przy pierwszym użyciu)
- sformułowanie „platformy zbierają sygnał CoP” jest skrótem myślowym, poproszę o doprecyzowanie tego elementu metody badań podczas obrony
- co oznacza pojęcie „...strategie odpowiednio bardziej lub mniej sztywne...” (str. 27) oraz „...większa sztywność kontroli posturalnej” (str. 30)
- w podrozdziale 1.7.4 na końcu 1. akapitu jest sformułowanie „... niestabilność warunków zewnętrznych”, moim zdaniem w tym wypadku należałoby użyć określenia „zmienność warunków zewnętrznych”, co wynika z kontekstu
- nazwa grupy badanych „...baletnice...” (str. 35) ma wydźwięk żargonowego określenia tancerki klasycznej
- kilka linii poniżej na str. 35 Autorka użyła określenia „...do utrzymywania stabilności”, poproszę o wyjaśnienie pojęcia „stabilności” podczas obrony
- w ryc. 6 a) i b) jest błąd w oznaczeniu (‘1oo’ zamiast 1eo)

## 2) **Ocena metodologiczna pracy**

### a) **Poprawność formułowania problemów i hipotez (założeń badawczych)**

- W celu pracy pkt. 1. dotyczącym (cyt.) „oceny wpływu różnego ustawienia stóp na podłożu na stabilność posturalną” zawarte jest zagadnienie, o którym w poprzedzającym tekście nie było wyjaśnienia lub uzasadnienia podejmowania się tego problemu naukowego. Nie deprecjonuję jego ważności, ale oczekuję komentarza podczas obrony, bo tego zabrakło w dysertacji.
- W pkt. 3 celu pracy znalazła się (cyt.) „ocena wpływu pola powierzchni postawy na stabilność posturalną i symetrię obciążania stóp w przysiadzie” o czym wcześniej Autorka nie wspominała. Uwaga ta odnosi się także do pytania 5. i 6.
- Cechy osobowości i kontroli posturalnej (rozumiem, że chodzi o ich powiązanie) także pojawiły się dopiero w celu pracy, nic o tym Autorka nie napisała we wprowadzeniu (str. 36, pkt 5.) – cel dysertacji pkt 4. oraz 7. pytanie badawcze.
- W pytaniu 4. Autorka sugeruje, że poszukuje istotnych informacji wynikających z zastosowania parametrów nieliniowych w „analizie 3D w stabilności posturalnej”... Wkradł się tu skrót myślowy.

Analiza 3D jest możliwa w odniesieniu do zmian położenia ciała i jego segmentów w przestrzeni (w czym Autorka doskonale się orientuje), co jest związane ze zjawiskiem/procesem stabilności posturalnej, ale nie można ująć tego w sposób, w jaki to zrobiła Doktorantka. Proponuję przerezagować to pytanie. Przy tym zagadnieniu poproszę o wyjaśnienie pojęcia „stabilności posturalnej”, bo wydaje mi się, że w tekście Autorka stosuje to określenie nie zawsze konsekwentnie.

- Niezależnie od aspektów merytorycznych w pytaniach badawczych sugerowałbym raczej unikanie pytania zaczynającego się od „czy...”, oczekiwana odpowiedź na tak zadane pytanie na ogół jest „tak” lub „nie”, a z pewnością w dysertacji spodziewamy się szerszego wyjaśnienia i interpretacji niż tylko krótkich odpowiedzi. Pytania zaczynające się o „Jaki...” „Jakie związki...” itp. brzmiałyby bardziej precyzyjnie.

Hipotezy w przedstawionej mi do oceny pracy są, w mojej opinii, właściwie podsumowaniem wyników badań. Na etapie stawiania hipotez nie można nic powiedzieć o tym, jakie będą wyniki porównania zmian warunków podparcia stóp (hipoteza 1). Tym samym w hipotezie nie powinno być wyników badań, bo z zasady badacz nie powinien się sugerować swoimi oczekiwaniami, co do „kształtu” tych wyników. Przed opracowaniem wyników badań nie można założyć, że np. „miary nieliniowe wykazują więcej istotnych różnic w porównaniu do miar liniowych w próbach stania na jednej kończynie dolnej i w tandemie” (hipoteza 2). Podobna uwaga odnosi się do każdej z postawionych hipotez. Ze względu na fakt zastosowania w dużej mierze nowatorskich (lub rzadziej stosowanych) metod opracowania szeregów czasowych trajektorii punktu CoP (ang. – center of pressure) podczas kontroli równowagi ciała, praca ta ma charakter poszukiwania odpowiedzi na liczne szczegółowe i zasadne pytania badawcze, zatem stawianie hipotez, w mojej opinii, jest w ogóle zbędne. Ponadto, hipotezy powinny być sformułowane na dużym stopniu ogólności, raczej zawierać interpretacyjną wersję informacji wynikającej z analizy wyników badań już przeprowadzonych, składających się na zarys pewnej teorii, wymagającej jednak doprecyzowania. Może Autorka spróbuje przeformułować te hipotezy (redukując jednocześnie ich liczbę), o ile zdecyduje się je pozostawić w swojej dysertacji.

#### **b) Trafność doboru metod i narzędzi badawczych, umiejętność ich zastosowania**

**Metody badawcze**, ich dobór i opis, zastosowane w każdej z opublikowanych prac zasługują na uznanie i wyróżnienie. Doktorantka opisała szczegółowo grupy badanych, podając wszystkie ważne informacje dla obiektywizacji wyników badań. Metody i procedury badawcze są przedstawione zgodnie z założeniem możliwości powtórzenia takich samych badań przez innych badaczy kontroli równowagi i analizy ruchu. Opis zastosowanych do obliczeń algorytmów jest dokładny i szczegółowy, a tym samym powtarzalny, co należy podkreślić w kontekście dbałości o ten fragment dysertacji.

Opis wyników analiz wszystkich współczynników/wskaźników i określenia na ich podstawie istotności różnic kontroli równowagi w różnych pozycjach ustawienia stóp na str. 55 (pierwszy akapit) wymaga dodatkowego komentarza. Analiza długości ścieżki CoP obejmuje przemieszczenia CoP w różnych kierunkach, a pozostałe wskaźniki uwzględniają rozdzielanie kierunków przemieszczeń CoP na przyśrodkowo-boczny i przednio-tylny. Prawdopodobnie to jest przyczyną „rozdzielenia wyników” pod względem ustawienia stóp w pozycji naturalnej i w tzw. tandemie przy analizie wskaźników nieliniowych. Oczywistym jest, że tak różne ustawienie stóp w pozycji stojącej stwarza zupełnie inne warunki kontroli równowagi. Poproszę o skomentowanie tych wyników podczas obrony.

**Wyniki** opisane w podrozdziale 4.2.2. (str. 57) wymagają doprecyzowania. Brakuje jednoznacznego określenia na podstawie jakich danych, CoP (center of pressure) czy CoM (center of mass) zostały wyliczone wskaźniki nieliniowe. Co prawda można się tego domyśleć z ryciny 7., ale warto byłoby nie pozostawiać niczego domysłem.

Opis wyników generalnie jest niełatwy w odbiorze czytelnika z powodu licznych skrótów, wyjaśnionych co prawda w poprzednich fragmentach tekstu, ale trudno niektóre z nich odszyfrować na bieżąco podczas czytania tego opisu. W publikacjach często są stosowane skróty z powodu ograniczeń wydawcy, ale w przypadku przygotowania dysertacji nie ma takich ograniczeń. Jest to uwaga techniczna, nie merytoryczna.

## Dyskusja

Na początku tej części opracowania odnotowałam określenie „zakresy wychyleń” (str. 67) odnoszące się w tekście do trajektorii punktu CoP, z czym nie mogę się zgodzić. Z „wychyleniami” jest związane tzw. „kołysanie postawy”, punkt CoP nie może się „wychylać” – jest to skrót myślowy często spotykany w publikacjach, ale *de facto* nie jest to prawidłowe określenie wskaźnika zakresu przemieszczeń (przesunięć) punktu CoP na płaszczyźnie platformy.

Dyskusja podzielona została na fragmenty zgodnie z poszczególnym celem pracy i odpowiadającą mu publikacją. W komentarzu dotyczącym pierwszego celu pracy i publikacji z 2020 roku (Kędziorek J., Błażkiewicz M. (2020). Ocena stabilności posturalnej w funkcji różnego ustawiania stóp na podłożu, przy wykorzystaniu miar dynamiki nieliniowej. Aktualne Problemy Biomechaniki 19, 20 – 26), tzn. (cyt. ) „oceny wpływu różnego ustawienia stóp na podłożu na stabilność posturalną i parametry nieliniowe”, Autorka odnosi się do dwóch pierwszych hipotez, w mojej opinii, wymagających poprawy (o czym już powyżej wspomniałam), ale na podstawie efektów obliczenia wskaźników liniowych i nieliniowych uzasadniła stosowanie tych drugich wykazując, że nie jest to działanie nadmiarowe, a raczej rozszerzające możliwości różnicowania warunków kontroli równowagi w odniesieniu do różnego ustawienia stóp. Ten fragment Dyskusji i ww. publikacja z 2020 roku jest bardzo dobrym opracowaniem porównawczym dla potencjalnych wyników badań kontroli równowagi u osób z dysfunkcjami układu nerwowego. Brak rozróżniania w kontroli równowagi zasadniczo różnych powierzchni podparcia stóp w próbach stania może świadczyć o zaburzeniu w układzie sterującym. Doktorantka wykazała, że wskaźniki nieliniowe są nośnikami innych informacji o jakości kontroli równowagi niż wskaźniki liniowe. Dobrze byłoby uzupełnić Dyskusję (poszczególne jej fragmenty) o znaczenie praktyczne – interpretację, co to oznacza w odniesieniu do badanych grup, jeśli jeden wskaźnik osiąga wyższą wartość a inny niższą. Czy jest jakaś prawidłowość w układzie tych trzech wskaźników nieliniowych u zdrowych dorosłych i co może oznaczać odwrócenie takiej prawidłowości? Mam nadzieję usłyszeć komentarz na ten temat podczas obrony.

Drugim celem pracy, i tym samym osiągnięciem Doktorantki, była (cyt.) „ocena złożoności kontroli posturalnej u zdrowych, młodych osób podczas stania na niestabilnym podłożu i manipulacji kontrolą wzrokową” zawarta w publikacji: Kędziorek J., Błażkiewicz M., Kaczmarczyk K. (2022). Using nonlinear measures to evaluate postural control in healthy adults during bipedal standing on an unstable surface. Acta of Bioengineering and Biomechanics 24 (1), 9 – 17. Z opisu realizacji tego celu badań i interpretacji ww. wskaźników liniowych i nieliniowych wynika, że utrudnianie kontroli równowagi poprzez zamknięcie oczu lub zastosowanie ruchomej platformy pod stopami badanego

powoduje zwielokrotnienie jednych i drugich, w odniesieniu do naturalnych warunków kontroli równowagi. Autorka stwierdziła, że (cyt.) „Wnioski płynące z analizy parametrów liniowych są potwierdzone wynikami współczynników nieliniowych”. Zatem jaka wartość interpretacyjna wynika ze stosowania wskaźników nieliniowych? Doktorantka w tej części dyskusji wykazała się szczegółową wiedzą na temat zależności, a także rozróżnienia przemieszczeń punktu nacisku stóp na podłoże (CoP) i przemieszczeń środka masy ciała (CoM), co jest kluczowe w kontekście dyskusowania z innymi badaczami kontroli równowagi. Włączenie trójwymiarowej analizy ruchu do analizy wyników działania siły reakcji podłoża podczas kontroli równowagi zasługuje na uznanie. Połączenie tych dwóch metod jest standardowym działaniem w kontekście analizy ruchów dynamicznych (chodu, biegu itp.), ale nie często można spotyka się takie podejście w pracach dotyczących oceny kontroli równowagi.

Trzecim celem pracy była (cyt.) „ocena wpływu pola powierzchni podparcia na stabilność posturalną i symetrię obciążania stóp podczas wykonywania przysiadów”. Wyniki badań w tym zakresie zostały opublikowane w pracy autorstwa Kędziołek J., Błażkiewicz M. (2022). *Influence of the base of support widths on postural control and feet loading symmetry during squat – preliminary study*. Acta of Bioengineering and Biomechanics 24 (2), 55 – 63. Można w pierwszej chwili zastanawiać się dlaczego takie ćwiczenie, jak przysiad jest przedmiotem badań kontroli równowagi, ale Autorka dobrze to uzasadniła. Nie sam przysiad jednak, ale wielkość powierzchni podstawy – szerokość rozstawienia stóp podczas wykonywania przysiadu jest przesłanką do pogłębionej analizy wyników zarówno na podstawie wskaźników liniowych, jak i nieliniowych. Aspekt rozkładu i symetrii obciążania kończyn dolnych podczas wykonywania przysiadu o różnej szerokości rozstawienia stóp jest bardzo dobrym dopełnieniem wiedzy, która powinna być podstawą do propagowania prawidłowej techniki wykonania tego ćwiczenia. Asymetria obciążenia kończyn dolnych w szerokim ustawieniu stóp w przysiadzie jest wynikiem zaskakującym, co Autorka również odnotowała i tafnie skomentowała w pracy.

„Ocena związku pomiędzy stabilnością posturalną a cechami osobowości... u młodych, zdrowych osób” – czwarty cel dysertacji opisany w publikacji Błażkiewicz M., Kędziołek J., Wit A. (2022). *The Relationship between personality and postural control in young adults – a pilot study*. Applied Sciences 12, 4978, 1 – 13, był dla mnie nieco zaskakujący. Na ogół szuka się korelacji pomiędzy wynikami obiektywnych i bezpośrednich badań kontroli równowagi, ale Doktorantka wyszła poza ten stereotyp. Założenie (cyt. ) „...że istnieje dotatnia korelacja pomiędzy wybranymi cechami osobowości a parametrami nieliniowymi...” w tej grupie badanych jest dość śmiało i niestandardowe. Szczególnie założenie o korelacji „dotatniej” prowokuje pytanie, na jakiej podstawie Doktorantka stawia taką tezę? Po zestawieniu istotnych korelacji wskaźników kontroli równowagi i cech osobowości badanych zastanawiam się, jak można wyjaśnić te korelacje, przynajmniej na poziomie przypuszczeń. Poproszę o komentarz na ten temat podczas obrony. Ten aspekt osiągnięcia naukowego Doktorantki może być szczególnie przydatny dla naukowców z dziedziny psychologii i socjologii, jako obiektywne narzędzie do oceny trudno mierzalnych cech natury człowieka.

W podsumowaniu pracy badawczej Pani mgr Justyna Kędziołek znajduje się syntetyczne ujęcie jej osiągnięć naukowych, napisane w sposób dojrzały, potwierdzający gotowość Autorki do podejmowania kolejnych zadań naukowych. Za największe osiągnięcie Doktorantki uważam podjęcie się próby unormowania interpretacyjnego wartości wskaźników nieliniowych w pierwszej przedstawionej publikacji z 2020 roku, a w kolejnych pracach – badaniach własnych - konsekwentne potwierdzanie tego punktu widzenia.

**d) Dobór literatury, umiejętność wykorzystania źródeł**

Liczne pozycje piśmiennictwa wykorzystane w tym opracowaniu oraz w publikacjach, będących podstawą dysertacji, są dobrze wyselekcjonowane tematycznie i świadczą o bardzo dobrym rozpoznaniu obszaru badawczego.

**3) Wniosek końcowy (konkluzja)**

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji dysertacja, oparta na monotematycznym cyklu pięciu prac naukowych, o wartości IF = 7.838, MNiSW = 405 (a także doświadczenie w prezentowaniu wyników badań na konferencjach naukowych) Pani mgr Justyny Kędziorek spełnia wymogi Ministerstwa Edukacji i Nauki stawiane kandydatom na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej i tym samym wnoszę do Rady Naukowej Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie o dopuszczenie Kandydatki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

