

Wrocław, 09.12.2024 r.

dr hab. Artur Struzik, prof. AWF Wrocław  
Katedra Fizjologii i Biomechaniki  
Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Polskich Olimpijczyków  
we Wrocławiu

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Chmury**

***„Ocena zmian wybranych mechanizmów kontroli posturalnej  
w odpowiedzi na rzeczywiste i wirtualne bodźce  
prowadzące do wytrącenia z równowagi”***

**promotor: dr hab. inż. Jacek Jurkojć, prof. PŚ**

**promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Wodarski**

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi Uchwała nr 84/2024 Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej z dnia 17 października 2024 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Roberta Michnika z dnia 24 października 2024 r. o sygnaturze RDIB.002.71.2024.

Recenzja została wykonana w oparciu o Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 poz. 1571) oraz Regulamin w zakresie nadania stopnia doktora, stanowiący załącznik do uchwały nr 43/2023 Senatu Politechniki Śląskiej z dnia 25 września 2023 r. (Monitor Prawny Politechniki Śląskiej z 2023 r. poz. 1095).

Postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora mgr inż. Marcie Chmurze jest prowadzone w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.

AS

## Struktura rozprawy doktorskiej

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marty Chmury składa się z cyklu 6 publikacji pod zbiorczym tytułem: „*Ocena zmian wybranych mechanizmów kontroli posturalnej w odpowiedzi na rzeczywiste i wirtualne bodźce prowadzące do wytrącenia z równowagi*”. Rozprawa liczy łącznie 168 stron wydruku komputerowego, zawiera: Streszczenie w języku polskim oraz angielskim, Wykaz publikacji stanowiących rozprawę doktorską, Poszerzone streszczenie w języku polskim i angielskim (na które składa się: Wprowadzenie, Cel pracy, omówienie kolejno 6 publikacji [A1-A6], które stanowią przedstawiony cykl i Podsumowanie), jak również Podsumowanie wkładu własnego oraz Bibliografię. Praca zawiera również wykaz zastosowanych skrótów. Układ pracy należy uznać za zasadny. Treść rozprawy jest zgodna z tematem określonym w tytule.

Spis piśmiennictwa obejmuje 33 pozycje. Zacytowane zostały głównie oryginalne artykuły naukowe, opublikowane w języku angielskim w latach 1997-2021 w czasopismach posiadających współczynnik oddziaływania IF. Dobór pozycji piśmiennictwa jest zasadny i zawiera względnie nowe oraz aktualne prace opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych z zakresu poruszanego zagadnienia. Dodatkowo należy wskazać, że publikacje składające się na rozprawę doktorską zawierają w spisach piśmiennictwa zdecydowanie więcej pozycji (A1 = 34, A2 = 44, A3 = 25, A4 = 26, A5 = 36, A6 = 43), w tym tak cenionych naukowców jak D. Winter i V. Zatsiorsky.

Rozprawa zawiera dodatkowo w formie załączników: Pełne teksty publikacji stanowiących rozprawę doktorską, Oświadczenia o indywidualnym wkładzie procentowym i merytorycznym współautorów w powstanie pracy zbiorowej oraz Życiorys Autorki. Rozprawy doktorskie z cyklu publikacji, z którymi miałem okazję się spotkać, składają się przeważnie z 3-4 artykułów. Cykl 6 prac należy zatem uznać za wyróżniający pod tym kątem, szczególnie że Doktorantka miała ściśle ograniczony czas na opublikowanie swoich dokonań. Wszystkie przedstawione w cyklu prace zostały opublikowane w czasopismach posiadających współczynnik oddziaływania IF oraz co najmniej 100 punktów MNiSW. Szczególnie imponująco pod kątem wskaźników bibliometrycznych prezentuje się praca [A6] (IF = 5,2; 140 punktów MNiSW). Wartości wspomnianych wskaźników nie stanowią jednak bezpośrednio przedmiotu oceny.

Doktorantka jest współautorką 6 prac składających się na rozprawę doktorską. Liczba współautorów, w zależności od publikacji, wynosi od 3 do 9 osób, co wskazuje na umiejętność pracy Doktorantki w zespołach badawczych, również tych szerokich jak i międzynarodowych. Doktorantka znajduje się na listach współautorów wspomnianych publikacji jako 2. lub 3.

w kolejności osoba, a jej wkład procentowy w powstanie prac zbiorowych stanowi 15 - 40%. W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że zarówno Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce jak i Monitor Prawny Politechniki Śląskiej nie zawierają szczegółowych wymagań dotyczących kwestii wspomnianych w tym akapicie. Metodę procentowego udziału wkładu współautorów należy uznać za bardzo niedoskonałą, a niekiedy wręcz krzywdzącą. Za jaskrawy przykład niech posłuży praca dotycząca bozonu Higgsa (doi: 10.1016/j.physletb.2012.08.020), w której liczba współautorów wynosi 2 932! Na wkład merytoryczny Doktorantki w powstanie prac zbiorowych składają się: przygotowanie stanowiska badawczego, przeprowadzenie eksperymentu, udział w organizacji i analizie wyników, analiza statystyczna wyników, udział w przygotowaniu manuskryptu. Brakuje wyraźnego podkreślenia udziału w opracowaniu problemu badawczego i zaplanowaniu eksperymentu oraz w opracowaniu poprawek / odpowiedzi na recenzje. Czy Doktorantka nie uczestniczyła we wspomnianych kwestiach? Kluczowym jest natomiast fakt, że zgodnie z Monitorem Prawnym Politechniki Śląskiej Doktorantka złożyła oświadczenie o oryginalności rozprawy doktorskiej.

### **Cel pracy**

Doktorantka formułuje 3 główne cele badawcze swoich poszukiwań:

1. *„opracowanie metodyki prowadzenia pomiarów zdolności utrzymania równowagi ciała przez człowieka umożliwiających ocenę zmian w strategii kontroli posturalnej jako reakcji na spodziewane i niespodziewane bodźce wytrącające z równowagi”*,
2. *„określenie wpływu wirtualnych i rzeczywistych bodźców wytrącających z równowagi na zjawisko przygotowania posturalnego jako narzędzia do diagnostyki zdolności utrzymywania równowagi ciała przez człowieka”*,
3. *„analiza możliwości praktycznego zastosowania metody detekcji chwilowych korekt postawy do oceny zmian w strategii kontroli posturalnej w odpowiedzi na wirtualne i rzeczywiste bodźce wytrącające z równowagi”*.

W Streszczeniu powyższe cele są jednak sformułowane nieco inaczej:

1. *„opracowanie metodyki pomiarów, które umożliwią ocenę zmian w strategii kontroli posturalnej w odpowiedzi na spodziewane i niespodziewane bodźce destabilizujące”*,
2. *„określenie wpływu bodźców wirtualnych i rzeczywistych na przygotowanie posturalne jako narzędzie diagnostyczne”*,
3. *„analiza możliwości praktycznego zastosowania metody wykrywania chwilowych korekt postawy w ocenie strategii kontroli posturalnej”*.

Co prawda „wersje celów” nie różnią się od siebie merytorycznie, jednak aby zachować spójność i przejrzystość pracy, cele powinny być w każdym miejscu ujęte w dokładnie ten sam sposób.

Cele pracy zostały sformułowane prawidłowo oraz są zrozumiałe. Pojawia się jedynie drobna nieścisłość dotycząca celu nr 2. Doktorantka nie jest w stanie określić „wpływu” bodźców, lecz jedynie ich „związek” z utrzymaniem ciała w równowadze. W mojej opinii bardziej przejrzyste byłoby jednak sformułowanie jednego głównego celu dla przedstawionego cyklu prac wraz z późniejszym jego doszczegółowieniem lub dodatkowym zawarciem pytań badawczych, które określałyby kierunek i zakres badań.

### **Zastosowane metody badawcze**

W każdej z przedstawionych w cyklu prac wzięła udział inna liczba badanych osób ( $A1 = 10$ ,  $A2 = 38$ ,  $A3 = 83$ ,  $A4 = 28$ ,  $A5 = 38$ ,  $A6 = 61 + 29$ ). Były to głównie osoby młode i zdrowe. W [A6] uwzględniono również dodatkowo badania na osobach starszych oraz z chorobą Parkinsona. Grupy badanych osób są stosunkowo duże (nawet grupa osób z chorobą Parkinsona) za wyjątkiem [A1]. Stąd też pojawia się pytanie, czy liczba dziesięciu osób była weryfikowana jako odpowiednia do prawidłowego wnioskowania?

W manuskryptach [A1-A5] zamieszczono informacje o uzyskaniu zgody Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach oraz o zgodzie na udział w badaniach udzielonej przez każdego z badanych. W przypadku [A6] procedura badawcza została zaakceptowana przez komisję etyki przy Medical Faculty of Kiel University, a badania zostały dodatkowo zarejestrowane w German Clinical Trials Register.

Warto podkreślić wykorzystanie w pomiarach nowoczesnych narzędzi pomiarowych, tj.: platformy dynamograficzne (Zebris FDM), bieżnia z możliwościami perturbacji (Zebris BalanceTutor), inercyjny system analizy ruchu (Ultium Motion), bezprzewodowe EMG (Ultium EMG) czy gogle VR. Wspomniana aparatura stanowi najwyższy dostępny obecnie światowy standard pomiarowy. Jest to jeden z najmocniejszych punktów niniejszej rozprawy doktorskiej, który umożliwia minimalizację błędów pomiarowych związanych z wykorzystywaną aparaturą. Co ważne, oprogramowanie dla gogli VR było tworzone specjalnie na potrzeby przeprowadzanych pomiarów w środowisku Unity 3D.

Zakres prowadzonych pomiarów był bardzo szeroki. W cyklu publikacji wykorzystano większość obecnie używanych w biomechanice metod badawczych: analizę sił reakcji podłoża, pobudzenia elektrycznego mięśni czy kinematyczną analizę ruchu. Przedstawione

w manuskryptach pomiary zawierają bardzo ciekawe elementy, które powodują, że publikacje [A1-A6] wyróżniają się na tle innych prac dotyczących równowagi ciała człowieka. Za szczególnie interesujące należy wskazać: symulację warunków zaburzających (takich jak upadek ze schodów), wprowadzenie sygnałów ostrzegawczych, wytrącenia z równowagi przy użyciu bieżni z możliwością perturbacji, symulację scenerii oscylującej z różnymi częstotliwościami.

Wykonane pomiary jak i zastosowana aparatura pomiarowa są adekwatne do postawionych celów. Metodologie pomiarowe zostały opisane w prawidłowy i wystarczająco szczegółowy sposób. Opisy analiz statystycznych nie budzą moich wątpliwości.

Prosiłbym o doszczegółowienie kwestii związanej z normalizacją sygnału EMG. Jak był on normalizowany, czy zostały wykonane pomiary MVC?

### **Omówienie wyników badań**

Przedstawienie wyników badań, które zostały zawarte w [A1-A6], należy ocenić jako bardzo szczegółowe. W każdym z artykułów zawarto kilka bardzo rozbudowanych tabel, które zawierają wartości analizowanych zmiennych. W zależności od artykułu, wartości w tabelach są uzupełnione wykresami lub rycinami. Napotkać można drobne niedociągnięcia konstrukcyjne, np. w Fig. 6 z [A2] brak jest zaznaczenia „zera” na osi wartości. Dostrzegalna jest również niekiedy pewna nadgorliwość w raportowaniu średnich wartości. Powinniśmy pamiętać o zasadzie trzech istotnych miejsc. W przeciwnym wypadku podana wartość może sugerować wykonanie pomiarów z dokładnością niemalże nierealną i nieobarczoną błędem pomiarowym. Przykładowo średnia prędkość (MV) 24,17 cm/s spokojnie mogłaby zostać zapisana jako 24,2 cm/s. Bardzo ciekawie prezentują się histogramy zawarte w [A5].

W Dyskusjach Doktorantka prawidłowo interpretuje uzyskane wyniki badań. Stwierdza, czy przeprowadzone badania potwierdzają założenia początkowe. Wskazuje dodatkowo na dalsze kierunki badań oraz wskazuje ograniczenia. Wnioski wynikają logicznie z uzyskanych wyników. Niektóre z opisanych przez Doktorantkę wyników są szczególnie interesujące, co zostało należycie podkreślone oraz prawidłowo zinterpretowane w Dyskusji. Za istotne i nowatorskie uznaję następujące wnioski / stwierdzenia:

- wiedza o oczekiwanym czasie bodźca zaburzającego powoduje gotowość do reakcji,
- wykorzystanie wskaźników giełdowych pozwala na wykrycie subtelnych zmian w procesie utrzymania równowagi, co umożliwia uzyskanie nowych informacji diagnostycznych.

Niezwykle ważny jest fakt, aby Autor był świadom uzyskanych danych, rozumiał ich sens oraz potrafił je szczegółowo interpretować oraz prowadzić w ich obrębie poszukiwania

wynikające z dociekliwości. Umiejętność zaprezentowania zasadnej, szczegółowej analizy potrafi odróżnić pozornego fachowca od osoby rozumiejącej istotę pomiarów i uzyskanych danych. Obszerność zaprezentowanych wyników pozwala stwierdzić, że analiza nie została wykonana w sposób pobieżny. Nie dostrzegłem błędów w przedstawionych analizach. Omówienie wyników badań uznaję za poprawne i bardzo szczegółowe.

### **Zastosowanie praktyczne**

Przedstawiony przez Doktorantkę cykl publikacji zawiera cenne wskazówki, które mogą (powinny) zostać uwzględnione w praktyce dotyczącej analiz równowagi ciała człowieka. Połączenie tradycyjnych analiz przemieszczeń CoP z EMG oraz analizą ruchu znacząco rozszerza możliwość oceny procesu utrzymania ciała w pozycji pionowej. Dodatkowe zastosowanie wirtualnej rzeczywistości znacząco rozszerza możliwości prowadzenia analiz i wprowadzania zaburzeń w warunkach bezpiecznych dla badanego.

### **Oryginalność i nowatorstwo problematyki**

Równowaga jest zagadnieniem interdyscyplinarnym, które łączy w sobie wiedzę z zakresu nauk ścisłych i przyrodniczych, inżynierjno-technicznych oraz nauk medycznych i nauk o zdrowiu. Na podstawie własnego doświadczenia mogę śmiało stwierdzić, że prac naukowych z zakresu problemu równowagi ciała człowieka jest na tyle dużo, że jest to prawdopodobnie jeden z najczęściej podejmowanych tematów, przynajmniej w dziedzinie nauk o kulturze fizycznej. Zdecydowana w tym wypadku liczba prac nie przekłada się jednak na ich jakość. Sporo prac z zakresu równowagi ciała człowieka nie wnosi niczego nowego i jest jedynie powtarzaniem badaniami skutków, nie próbując wyjaśnić przyczyn składających się na efektywność procesu utrzymywania ciała w pozycji stojącej. Doktorantka już na wstępie podkreśla swoją świadomość w powyższej kwestii, dodatkowo wskazując na nowoczesne metody oraz narzędzia pomiarowe (czujniki inercyjne do analizy ruchu, wirtualna rzeczywistość), które mogą przyczynić się do lepszego poznania i zrozumienia procesu utrzymania ciała w równowadze. Pomimo, że problematyka podjęta przez Doktorantkę jest stosunkowo popularna, to w dalszym ciągu jest bardzo aktualna i wciąż nienależycie zbadana. Szczególnie dlatego, że skrajnym efektem braku zachowania równowagi może być upadek, którego skutki mogą być bardzo szerokie.

We wprowadzeniu Doktorantka przedstawia podstawową wiedzę dotyczącą zdolności utrzymania ciała w równowadze, w tym zaburzeń negatywnie wpływających na wspomnianą zdolność. Przedstawione informacje są na tyle szczegółowe, że należy je wprowadzając

czytelnika w podjętą problematykę. Opisane zostały również najczęściej stosowane metody analizy służące do oceny równowagi. Doktorantka słusznie stwierdza, że do najczęściej analizowanych zmiennych opisujących proces zachowania równowagi należą przemieszczenia CoP w kierunkach AP i ML. Powszechnie uważa się, że większe niż przyjęte za normę wartości przemieszczeń CoP świadczą o problemach z utrzymaniem równowagi. Jest to jednak stwierdzenie nieprawdziwe. Jaskrawym dowodem na to mogą być osoby trenujące niektóre dyscypliny sportowe (sporty walki). Dlatego podczas obrony prosiłbym Doktorantkę o przedstawienie rozważań dotyczących zakresu przemieszczeń CoP w odniesieniu do podatności układu nerwowego na zaburzenie.

Doktorantka w swoich poszukiwaniach stopniowo przechodzi od prostych eksperymentów oceniających proces utrzymania równowagi w warunkach wirtualnej rzeczywistości do wprowadzenia złożonych bodźców destabilizujących równowagę. Do analizy danych wprowadzone zostają również wskaźniki giełdowe. Cykl prac zamyka wykonanie badań na osobach z chorobą Parkinsona. Choć badania z zakresu procesu utrzymania ciała w równowadze są powszechne, to Doktorantka wprowadziła do swoich badań elementy nowatorskie, zarówno w metodach badawczych jak i analizach wyników, co zostało szczegółowo wskazane we wcześniejszych fragmentach niniejszej recenzji.

### **Pozostałe uwagi**

We wprowadzeniu używane są takie pojęcia jak: zdolność utrzymania równowagi, kontrola posturalna, przygotowanie posturalne, stabilna postawa, stabilność posturalna. Podstawowe pojęcia z zakresu równowagi są często ze sobą mylone i nieprawidłowo używane, niekiedy wymiennie. Stąd też prosiłbym Doktorantkę o konkretne zdefiniowanie używanych pojęć dotyczących procesu równowagi.

W rozprawie zdarzają się niedociągnięcia pod względem językowym oraz edytorskim (np. „wzrost”, „układ przedsionkowy *Jest zlokalizowany*”). Nie stanowią one jednak zjawiska przesadnie nagminnego.

Doktorantka konsekwentnie przy opisach zdjęć oraz rycin używa sformułowania „Rysunek”, które należy uznać za zbyt infantylne dla tego rodzaju publikacji.

### **Wniosek końcowy**

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska stanowi obszerną analizę procesu utrzymania ciała w równowadze, która zawiera elementy nowatorskie. Praca posiada walory poznawcze oraz możliwości aplikacyjne. W mojej opinii postawione cele badawcze zostały zrealizowane.

Zgodnie z wymogami określonymi w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 - Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 poz. 1571) przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Marty Chmury pt.: *„Ocena zmian wybranych mechanizmów kontroli posturalnej w odpowiedzi na rzeczywiste i wirtualne bodźce prowadzące do wytrącenia z równowagi”* stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynierii biomedycznej. Moje krytyczne uwagi nie podważają wartości nowatorskich oraz aplikacyjnych pracy.

Wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Marty Chmury do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



dr hab. Artur Struzik, prof. AWF Wrocław