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.

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 [Al-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 (Al 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 Zyciorys 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 wytrqcajqce z równowagi”,
2. „określenie wpływu wirtualnych i rzeczywistych bodźców wytrqcajqcych 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 wytrqcajqce z równowagi”.

W Streszczeniu powyższe cele są jednak sformułowane nieco inaczej:

1. „opracowanie metodyki pomiarów, które umożliwiq 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 posturalnef.

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 (Al = 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 [Al]. Stąd też pojawia się pytanie, czy liczba dziesięciu osób była weryfikowana jako odpowiednia do prawidłowego wnioskowania?

W manuskryptach [Al-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 [Al-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 [Al -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 vnikające 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, inżynieryjno-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 powtarzanymi 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 należycie wprowadzają 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