

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. Bartosza Ruty pt. " Analiza przydatności
elektronicznych urządzeń stosowanych w kinezyterapii"

We wstępie do rozprawy uzasadniającym podjęcie badań własnych, mgr Bartosz Ruta zwrócił szczególną uwagę na zagadnienia współczesnej rehabilitacji dotyczące oceny równowagi pacjentów za pomocą testów funkcjonalnych i parametrycznych pomiarów ruchu środka ciężkości ciała CoP (ang. *Center of Pressure*). Doktorant w ocenie stabilności posturalnej przedstawił badania posturograficzne, oceniające wielkość wychwiał i ich charakter czasowo-częstotliwościowy mierzonych za pomocą platformy posturograficznej sprzężonej z komputerem. Podkreślił, że wyniki testów posturograficznych są wykorzystywane do oceny sprawności, określania ryzyka upadku oraz monitorowania postępów rehabilitacji. Z danych literaturowych wynika, że opracowano wiele urządzeń i testów posturograficznych wraz z zestawem zadań ruchowych powiązanych z układem wizualnym scen. Powyższe urządzenia są oprogramowane z użyciem zaawansowanych metod grafiki komputerowej (wirtualna rzeczywistość) i są wykorzystywane w procesie rehabilitacji pacjentów z zaburzeniami równowagi.

Uwzględniając powyższe uwarunkowania praca doktorska mgr. Bartosza Ruty jest ważna z punktu widzenia poszukiwania obiektywnych metod oceny zaburzeń równowagi człowieka oraz wyboru stosownych elektronicznych narzędzi pomiarowych w procesie rehabilitacji. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. n. med. Jolanta Kujawa, kierownik Kliniki Rehabilitacji Medycznej na Wydziale Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 115 stron wydruku komputerowego, w tym 73 strony tekstu podstawowego (plus streszczenia w j. polskim i w j. angielskim – 6 stron; wykaz tabel i rycin – 5 stron; aneks – 24 strony). Praca zawiera 15 tabel, 36 rycin oraz 111 pozycji piśmiennictwa: w języku angielskim jest 91,89% pozycji literaturowych. Od roku 2016 zamieszczono 27 pozycji piśmiennictwa (24,3 %). Tekst główny (bez streszczeń) został podzielony na dwie części: I. Posturograf

własnej konstrukcji; II. Analiza przydatności posturografu własnej konstrukcji Ardu-Balance oraz konsoli Nintendo Wii Fit z przystawką Wii Balance Board w diagnostyce i treningu równowagi osób z dysfunkcjami kończyn dolnych.

Część pierwsza rozprawy składa się z 6 autonomicznych rozdziałów, część II również zawiera 6 rozdziałów, przy czym bibliografia jest wspólna dla obu części. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi – nr RNN/765/09/KB z dnia 27.10.2009 r.

W części I rozprawy („Posturograf własnej konstrukcji”) we wprowadzeniu teoretycznym mgr Bartosz Ruta w sposób czytelny omawia: rejestrowanie ruchów wychyleń środka ciężkości ciała; historię posturografii, ideę Arduino oraz metody jakościowej oceny posturografów. Jako cel inżynierski pracy określił: opracowanie taniego, łatwego w konstrukcji, precyzyjnego, spełniającego normy ADAP (Francuskie Towarzystwo Rozwoju i Zastosowania Posturografii). urządzenia, które można wykorzystać do pomiarów sił ciężkości, ruchu CoP i treningu równowagi. W rozdziale „Materiał metody” Doktorant w sposób szczegółowy przedstawił: 3.1. Materiały użyte do budowy aparatu Ardu-Balance; 3.2. Metody jakościowej oceny posturografu własnej konstrukcji Ardu-Balance. Następnie opisał wyniki jakościowej analizy dla posturografu Ardu-Balance zgodnie z protokołem Browne i O’Hare (*A quality control procedure for force platform*, *Physiol. Meas.* 2000), która obejmowała badanie histerezy, liniowości, szumu elektrycznego, powtarzalności oraz dryfu. Powyższe parametry spełniały wszystkie zalecenia omawianego protokołu.

W ramach dyskusji mgr B. Ruta dokonał oceny porównawczej danych technicznych posturografów dostępnych na rynku polskim (Alfa, Biodex, Zebris, ST310P, CQStab) z urządzeniem Ardu-Balance własnej konstrukcji. Przeprowadzona analiza porównawcza dotyczyła spełnienia norm protokołu Browne i O’Hare oraz wytycznych ADAP. W podsumowaniu mgr B. Ruta konstatuje, cyt. „Na podstawie przeprowadzonych prac przedwdrożeńowych można stwierdzić, że prace nad skonstruowaniem posturografu zostały wykonane zgodnie z założonym celem i normami ADAP. Opracowany posturograf Ardu-Balance dorównuje swoimi funkcjami innym komercyjnym urządzeniom i może być w podobny sposób stosowany. Opracowano tanie urządzenie, łatwe w konstrukcji, precyzyjne, które można wykorzystać do pomiarów sił ciężkości analizy ruchów CoP i treningu równowagi”. Uwzględniając całość prac koncepcyjnych i konstrukcyjnych mgr. B. Ruty można stwierdzić, że cel inżynierski pracy został

zrealizowany w pełni, a opracowany posturograf Ardu-Balnce spełnił zalecane normy międzynarodowe. Warto także podkreślić, że powyższy posturograf uzyskał pozytywną opinię firmy JWS OVERSOFT z Łodzi – cyt. „ urządzenie spełnia kryteria konstrukcyjne i jakościowe niezbędne do precyzyjnego, powtarzalnego, bezpiecznego i obiektywnego badania wychyleń środka nacisku na platformę posturograficzną”.

W części II rozprawy: „Analiza przydatności posturografu własnej konstrukcji Ardu-Balance oraz konsoli Nintendo Wii Fit z przystawką Wii Balance Board w diagnostyce i treningu równowagi osób z dysfunkcjami kończyn dolnych” w rozdziale I „Wprowadzenie” w oparciu o szczegółową analizę wybranego piśmiennictwa Doktorant w sposób klarowny i kompetentny przedstawił następujące zagadnienia: 1.1. Potrzeba kształtowania umiejętności równowagi ciała; 1.2. Historia Exergameing i Nintendo Wii; 1.3. Budowa i działanie konsoli Nintendo Wii Fit.

Mgr B. Ruta sformułował poprawnie cel poznawczy pracy, którego zadaniem było: cyt. „określenie czy istnieje istotna statystycznie różnica pomiędzy zmianami parametrów równowagi po treningu na dwóch elektronicznych urządzeniach z wykorzystaniem wizualnego sprzężenia zwrotnego, należących do różnych klas użytkowych”. Adekwatnie do celu głównego pracy sformułowano dwa pytania badawcze:

1. Czy parametry równowagi po trzytygodniowym treningu równowagi z sprzężeniem zwrotnym statystycznie różnią się między grupą ćwiczącą na konsoli Nintendo Wii Fit a grupą ćwiczącą na posturografie własnej konstrukcji?
2. Czy zarejestrowane zmiany parametrów równowagi wskazują na przydatność badanych urządzeń w procesie usprawniania osób z pourazowymi dysfunkcjami kończyn dolnych?

Materiał i metody. Do badań, po zastosowaniu czytelnych kryteriów włączenia i wykluczenia, zakwalifikowano 62 osoby po przebytych urazach kończyn dolnych, w przedziale wieku 18 lat – 69 lat (średnia wieku $47,0 \pm 13,7$ lat). Badanych podzielono na dwie 31-osobowe grupy. W grupie pierwszej „Nintendo” trening rehabilitacyjny prowadzony był z wykorzystaniem konsoli do gier telewizyjnych z przystawką do ćwiczeń równoważnych Nintendo Wii Fit. W grupie drugiej pacjenci wykonywali trening równoważny prowadzony z wykorzystaniem precyzyjnego posturografu Ardu-Balance (rok produkcji 2009). Badania przeprowadzono w Klinice Rehabilitacji Medycznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w latach 2009-2011. Kwalifikacji dokonywali lekarze specjaliści rehabilitacji medycznej. Zwrócono także szczególną uwagę na zrozumienie przez pacjentów protokołu badania, percepcję trójwymiarowej głębi w przestrzeni

wirtualnej komputera oraz brak problemów ze zrozumieniem i reagowaniem na wizualne sprzężenie zwrotne. Treningi równowagi przeprowadzono w 3 tygodniowym cyklu treningowym (cztery dni w tygodniu). Czas pojedynczego treningu dostosowany był do sprawności pacjentów. Wynosił 20 minut w pierwszym tygodniu i 30 minut kolejnych tygodniach. Intensywność treningów uwzględniała sprawność pacjentów, przy czym stosowano submaksymalne obciążenia. W trakcie ćwiczeń kontroli statycznej równowagi badani musieli nieruchomo utrzymywać pozycję w zadanym przez grę punkcie. W trakcie ćwiczeń kontroli dynamicznej badani musieli wykonywać ruchy CoP i dostosowywać jego położenie do zmieniającej się sytuacji na monitorze. Analizowano następujące parametry równowagi: średnia X, mod średnia X, odchylenie X, odchylenie Y, średnie wychylenie, średnia prędkość, średnia częstotliwość, pole powierzchni, długość statokinezygramu, długość statokinezygramu/pole powierzchni. Do obliczeń statystycznych wykorzystano pakiet Statgraphics Centurion XVII (testy: Shapiro-Wilka, Chi-kwadrat, t-studenta, Wilcoxon, U Manna-Whitney'a), przyjęty poziom istotności wynosił $\alpha = 0,05$. Zastosowane procedury badawcze, urządzenia treningowe, zasady treningu równowagi oraz metody analizy statystycznej były adekwatne do celu poznawczego oraz pytań badawczych.

Wyniki przedstawiono w sposób klarowny w logicznej kolejności analizowanych danych, zestawiając je w dwóch podrozdziałach: 4.1. Charakterystyka demograficzna badanych; 4.2. Analiza porównawcza parametrów równowagi pomiędzy grupą trenującą na posturografie GP a grupą trenującą na konsoli GN po trzytygodniowym treningu. Doktorant w sposób kompetentny interpretuje najważniejsze zmienne i występujące zależności.

W rozdziale „Dyskusja (Rozdz.5)” mgr Bartosz Ruta w sposób zwięzły i profesjonalny omówił: badanie skuteczności treningu równowagi z wykorzystaniem różnych odmian elektronicznego sprzętu z funkcją sprzężenia zwrotnego. Kolejno omówił próbę wykorzystania platformy Wii Balance Board do parametrycznej analizy ryzyka upadku, zastosowania exergameingu z konsolą Nintendo Wii Fit na wykonywanie czynności życia codziennego osób starszych, analizę skuteczności ćwiczeń fizycznych z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości, zasadność ćwiczeń równoważnych u osób po urazach kończyn dolnych, porównanie wyników ćwiczeń na konsoli Nintendo z przystawką Wii Balance z tradycyjnymi ćwiczeniami równoważnymi. Doktorant w sposób wyważony konfrontuje wyniki badań własnych z danymi innych autorów.

Konkluduje aby trening równowagi był prowadzony przez przynajmniej rok od urazu. Uważa, że zarówno Wii Balance Board, jak i posturograf mogłyby okazać się przydatne w tej kwestii ale również w profilaktyce negatywnych zmian w równowadze zachodzących z wiekiem, chorobie Parkinsona oraz niwelowaniu dolegliwości bólowych. Doktorant zaznacza, że badania własne mają kilka ograniczeń tj. małą liczebność grupy badanej oraz relatywnie krótki czas treningu. Poza tym projekt przewidywał badania tylko pilotażowe w celu rejestracji zmian parametrów równowagi potwierdzających przydatność posturgrafu własnej konstrukcji w kinezyterapii.

Wnioski w liczbie trzech są adekwatne do celu głównego i postawionych pytań badawczych. Doktorant wykazał, że:

1. Zaobserwowane istotne statystycznie różnice dużej liczby parametrów pomiędzy badanymi grupami wskazują, iż efekty treningu na posturografie znacząco różnią się od efektów treningu na niższej klasowo konsoli do gier Nintendo Wii Fit.
2. Trening na posturografie powoduje korzystne modyfikacje parametrów równowagi u osób z dysfunkcją kończyn dolnych i jest skuteczną formą rehabilitacji.
3. Trening na konsoli Nintendo Wii Fit z przystawką Wii Balance Board powoduje modyfikacje parametrów równowagi w inny sposób niż trening na posturografie i może być stosowany jako uzupełnienie fizjoterapii lub jako forma rehabilitacji domowej.

Uwagi redakcyjne, porządkowe i formalne

- strona redakcyjna rozprawy – w opinii recenzenta rozprawę składającą się z dwóch autonomicznych części winno poprzedzać krótkie słowo wstępne, wyjaśniające celowość takiego podziału rozprawy i planowaną zawartość merytoryczną;
- str.15 *Części mechaniczne* – „platforma posturograficzna jest sześcianem o wysokości siedmiu centymetrów i długości dwudziestu ośmiu centymetrów”. Natomiast w opinii JWS OVERSOFT (10.10.2009) str.94 podano, że „opiniowana platforma ma wymiary 35x35x10 cm”;
- str.16 „jedną z cech mikrokontrolera jest obsługa protokołu SPI, który został wykorzystany w komunikacji z przetwornikiem analogowo-cyfrowym (ATmega48/V/88/V/168/V Data Sheet, 2018)”. Posturograf własnej konstrukcji został opracowany w 2009 roku? a protokół SPI w 2018?;
- str.22 *Liniowość* „ w oznaczonych punktach ułożono przedmiot o wadze 40,5 kg, po czym odczytano wartości CoP przekazywane przez mikrokontrolera i zapisano”. W opinii JWS OVERSOFT (str. 95) w teście powtarzalności użyto innego ciężaru cyt.

- „Na platformie z ułożonym papierem milimetrycznym ustawiono odważnik o ciężarze 45 kg”. Czy ta różnica ciężaru ma jakieś znaczenie dla testu powtarzalności?;
- str.24 tab.2 dotycząca porównania mierzonych parametrów posturografów dostępnych na polskim rynku. Dlaczego nie poddano analizie nowoczesnej platformy AMTI AccuSway(Advanced Mechanical Technology Inc., USA) prezentowanej przez firmę Technomex z Gliwic;
 - str.33 - 1.2. *Historia Exergameing i Nintendo Wii*. W omawianej historii zabrakło zdaniem recenzenta opisu dokonań badaczy polskich. W roku 2005 dr Leszek Czerwosz opracował swoją pierwszą grę w języku Pascal (Delphi) o nazwie „Pong” w trakcie pomiaru posturograficznego z użyciem silnika gier. Była to jedna z pierwszych gier na świecie napędzana przez ruchy CoP. W roku 2008 w telewizji TVN24 był prezentowany krótki reportaż o rehabilitacji za pomocą posturografii (z udziałem dr Małgorzaty Mraz i dr. Leszka Czerwosza), będący odpowiedzią na wiadomość o zagranicznych dokonaniach w rehabilitacji przez zabawę. Chodziło o japońską platformę posturograficzną *Nintendo Wii Balance Board* powstałą w 2007 roku;
 - st.43 tab.3 – jako parametr podano „wzrost” – poprawnie wysokość ciała;
 - Bibliografia – w opinii recenzenta brakuje niektórych wartościowych publikacji autorów polskich np. praca Błaszczuk i Czerwosz 2005 (Stabilność posturalna w procesie starzenia się, *Gerontologia Polska*13;1:25-36)., która ma ponad 100 cytowań i miała znaczny wpływ na rozwój posturografii w Polsce. Podobnie zabrakło prac Sokołowskiej i wsp. na temat badań posturograficznych u pacjentów z *reumatoid arthritis* oraz *osteoarthritis* (*Adv Exp Medicine, Biology* 2014 i 2018, a więc dotyczących dysfunkcji narządu ruchu.

Przedstawione uwagi mają charakter jedynie porządkujący i uzupełniający, i nie mają wpływu na pozytywną ocenę merytoryczną niniejszej rozprawy.

Mając na uwadze całość zaplanowanych i wykonanych badań przez mgr. Bartosza Rutę oraz poprawną analizę i interpretację wyników badań, stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia warunki określone w Ustawie *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki* (z dnia 14. marca 2003 ze zmianami wniesionymi nowelizacją z dnia 18. marca 2011) zwana dalej Ustawą (Dz.U. 2003 nr 65 poz.595 z późniejszymi zmianami) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 26. września 2016 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim. i wnosi wiele nowych

elementów poznawczych i aplikacyjnych do wiedzy na temat badań stabilności posturalnej z wykorzystaniem nowoczesnej posturografii. Uwzględniając powyższe dokonania Doktoranta i przedstawione opinie, stawiam wniosek do Wysokiej Rady Nauk Medycznych Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Medycznego w Łodzi o dopuszczenie mgr. Bartosza Rutę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


prof. dr hab. med. Krzysztof Klukowski