

Dr hab. inż. Jolanta Pauk  
Profesor Politechniki Białostockiej  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Automatyki i Robotyki  
Wiejska 45C, 15-351 Białystok  
e-mail: j.pauk@pb.edu.pl, tel. 510 034 086

Białystok, 01.08.2019

## ***Recenzja***

***rozprawy doktorskiej mgr Pawła Poleć  
„Rehabilitacja układu nerwowego z zastosowaniem terapii skojarzonej.  
Opracowanie rozproszonego systemu zarządzania i algorytmów podstawowych  
kierunków terapii”***

Recenzję opracowano na podstawie pisma Z-cy Dyrektora Instytutu ds. Naukowych prof. dr hab. inż. Doroty G. Pijanowskiej z dnia 13.06.2019 r. Praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Wojciecha Zmysłowskiego i dr n. med., dr n. tech. Andrzeja Dyszkiewicza (pełniącego w tym przewodzie doktorskim rolę promotora pomocniczego).

### **Temat i zakres rozprawy**

Recenzowana praca ma objętość 147 stron i składa się z siedmiu rozdziałów, które poprzedza spis treści i streszczenie, a całość wieńczy spis literatury. Doktorant przestudiował i zacytował odpowiednią liczbę źródeł bibliograficznych - 143 pozycje, w tym publikacje których jest współautorem w liczbie 10 (publikacje i referaty konferencyjne). Jest to dowód na odpowiednią wiedzę teoretyczną i dobrą orientację w zakresie zagadnień będących przedmiotem rozprawy doktorskiej.

Praca jest poświęcona zagadnieniu rehabilitacji układu nerwowego z zastosowaniem terapii skojarzonej. Celem naukowo-badawczym pracy jest opracowanie wyjściowego profilu dysfunkcji (WPD) i końcowego profilu dysfunkcji (KPD), na podstawie testów klinicznych przeprowadzonych przed i po zastosowaniu trójfazowego programu rehabilitacyjnego z elektrostymulacją TENS i selektywną, przezczaszkową magnetoterapią mózgu na grupie pacjentów ze stwardnieniem rozsianym. Z kolei celem technicznym jest budowa prototypu i zalgorytmizowanie procedur rehabilitacyjnych, łączących bierną mechaniczną kinezyterapię

z elektrostymulacją oraz magnetoterapią w jeden centralnie zarządzany system. Aby osiągnąć te cele Doktorant stosuje w neurorehabilitacji standardy Evidence Based Physiotherapy do tworzenia wyjściowego i końcowego profilu dysfunkcji; projektuje system rehabilitacji robotycznej w połączeniu z magnetoterapią mózgu i przestrzenną elektrostymulacją ubytkowych obszarów czuciowo-ruchowych; opracowuje autorski program rehabilitacji układu nerwowego z zastosowaniem terapii skojarzonej; identyfikuje wyjściowy i końcowy profil dysfunkcji oraz wyznacza wartości wskaźników charakteryzujących wpływ rehabilitacji na stan pacjentów.

Wybór tematu pracy uważam za interesujący i niezwykle aktualny. Rehabilitacją układu nerwowego zajmują się lekarze rehabilitacji, neurologzy, neuropsycholodzy, lekarze podstawowej opieki zdrowotnej, a także fizjoterapeuci. W rehabilitacji neurologicznej stosowane są najczęściej ćwiczenia fizyczne, w których wykorzystuje się metody tradycyjne, specjalistyczne metody kinezyterapeutyczne, metody relaksacyjne oraz instrumentalne, których skuteczność nie zawsze jest udowodniona w długoletniej obserwacji. Według opinii ekspertów główną metodą rehabilitacji układu nerwowego powinna być terapia skojarzona, celem której jest działanie dwóch lub większej liczby czynników terapeutycznych w tym samym czasie lub w ustalonej sekwencji powtórzeń. Dzięki efektowi synergii możliwe jest zwiększenie efektywności terapii, skrócenie łącznego czasu trwania zabiegów oraz poprawa komfortu leczonych pacjentów. W tym miejscu należy podkreślić, iż zagadnienie dotyczące skojarzonej rehabilitacji robotycznej nie jest zbyt często poruszane w literaturze, stąd też podjęcie tego tematu przez mgr Pawła Połec jest bardzo cenne, nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale przede wszystkim z praktycznego.

W rozdziale pierwszym „*Wprowadzenie*” (7 stron) Doktorant wskazuje argumenty przemawiające za wyborem tematu pracy oraz formułuje cel i zakres prowadzonych rozważań, a także tezę pracy.

W rozdziale drugim „*Stan wiedzy*” (34 strony) Doktorant omawia budowę i funkcje układu nerwowo-mięśniowego człowieka. Następnie zwięźle charakteryzuje choroby układu nerwowego i omawia metody diagnostyki układu nerwowego i mięśni. W podrozdziale *Kierunki terapii chorób układu nerwowego i mięśni*, autor przedstawia aktualne informacje na temat: problemów w rehabilitacji chorób układu nerwowego i mięśni, terapii ruchem, mechanicznej rehabilitacji, elektrostymulacji, magnetostymulacji i terapii skojarzonej. Warto podkreślić, że terapia skojarzona jest coraz częściej stosowana w rehabilitacji, a wykorzystanie różnych rodzajów terapii, mających na celu intensyfikację efektów leczniczych jest aktualnym i ważnym zagadnieniem w neurorehabilitacji. W opinii recenzenta

w tym fragmencie pracy zabrakło kilku zdań na temat epidemiologii i konsekwencji ekonomicznych opisywanych chorób układu nerwowego. Mimo to, wstęp stanowi bardzo dobre wprowadzenie czytelnika do badań własnych Doktoranta.

Rozdział 3 „*Metody zastosowanej rehabilitacji i badań diagnostycznych*” (41 stron) zaczyna się opisem metody terapii skojarzonej zrealizowanej za pomocą robotycznej terapii ruchowej, terapii zrealizowanych za pomocą elektrostymulacji z użyciem systemu MAX oraz komercyjnego elektrostymulatora, a także układu do przeciwsobnej magnetoterapii. W dalszej części rozdziału Doktorant wykazuje się dobrą znajomością zasad konstrukcji i funkcjonowania urządzeń rehabilitacyjnych i prezentuje prototyp układu MAX – część mechaniczną układu, układ zasilający oraz oprogramowanie sterująco-nadzorujące pracę całego systemu z możliwością gromadzenia danych z układu. Przeprowadza testy: funkcjonalne dla mechanicznej części układu, wytrzymałościowe, układów zasilających i sterujących. Wynikiem końcowym prac są testy z udziałem pacjentów. Do badania Doktorant kwalifikuje 28 pacjentów ze stwardnieniem rozsianym (SM), których dzieli na dwie podgrupy przyjmując jako kryterium różnicowania stosowanie zaopatrzenia ortopedycznego. Grupę kontrolną stanowi 28 zdrowych ochotników. W opinii recenzenta brakuje w kryteriach włączenia do badania czasu trwania choroby. Pacjenci zostają poddani następującym badaniom: EKG, spirometryczne, morfologii krwi i parametrów biochemicznych, za pomocą testów klinicznych, STFR stawów, komputerowy test pletyzmograficzny, termometrii palców rąk i stóp, komputerowy test dermatomów skórnych, pomiar progu czucia pacjenta. Rehabilitacja skojarzona, obejmująca bierną rehabilitację mechaniczną, elektroterapię i magnetoterapię wykonywane jednocześnie za pomocą systemu MAX, prowadzona jest przez okres 2 tygodni (łącznie 10 zabiegów 1-godzinnych). Należy podkreślić, iż na podstawie pomiarów wielkości określających stan końcowy pacjenta oraz podczas wizyty „0”, Doktorant definiuje istotne wskaźniki: wyjściowy profil dysfunkcji (WPD); końcowy profil dysfunkcji (KPD) i wskaźnik zróżnicowania efektów terapii (WZET).

Wyniki badań doświadczalnych, opracowane rzetelnie, Doktorant przedstawia w rozdziale 4 „*Wyniki*” (33 strony). Dowodzi, iż dzięki zastosowanej rehabilitacji skojarzonej, w grupie pacjentów z SM, następuje istotne statystycznie zwiększenie się zakresu ruchu SFTR i średniej ruchomości stawów. Obserwuje również zmiany profilu dysfunkcji dla zakresu ruchu zgięcia/wyprostu ramienia prawego i lewego oraz zmniejszenie wymaganej siły niezbędnej do wykonania ruchu kończyną przez układy sterujące. Ponadto, stwierdza normalizację wartości ciśnienia skurczowego i rozkurczowego oraz wartości końcowej uzyskanej z badania spirometrycznego. Odnotowuje zmniejszenie wartości parametrów

biochemicznych: stężenia bilirubiny, średniej aktywności aminotransferazy alaninowej, średniej aktywności aminotransferazy asparaginianowej oraz zwiększenie stężenia jonów potasu. Analiza skal klinicznych (MSIS29, Rankina, Ashwortha, BDI, VAS) dowodzi poprawy parametrów funkcjonalnych pacjentów, szczególnie w zakresie kontroli mikcji i stabilizacji równowagi. Uzyskane wyniki potwierdzają, iż zastosowanie systemu MAX w terapii skojarzonej umożliwia poprawę parametrów w kierunku wartości charakterystycznych dla grupy kontrolnej.

Doktorant swoje badania podsumowuje ośmioma wnioskami w rozdziale 5 „*Wnioski*” (2 strony), które znajdują pełne potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach własnych. Podobne zakończenie lub krótkie podsumowanie wskazane byłoby na końcu każdego rozdziału, co podniosłoby atrakcyjność i odbiór pracy oraz pozwoliło na wyakcentowanie najważniejszych spostrzeżeń wynikających z poczynionych rozważań w każdym z rozdziałów.

W rozdziale 6 „*Dyskusja*” (8 stron) Doktorant opisuje i dyskutuje swoje wyniki z pracami innych autorów, a także wskazuje kierunki dalszych badań. Wykazuje, że jest dobrze obeznany z fachowym piśmiennictwem. Dyskusja jest przejrzysta, odnosi się do dostępnych danych literaturowych, ale w opinii recenzenta brakuje w niej przedstawienia ograniczeń obecnego badania. Całość pracy wieńczy zwięzłe podsumowanie przedstawiające najważniejsze wnioski.

Układ pracy jest poprawny pod względem logicznym. Wszystkie rozdziały rozprawy wskazują na zdolność Doktoranta do wykonywania pracy naukowej na odpowiednim poziomie. Temat rozprawy jest aktualny i istotny w kontekście najnowszych badań w dziedzinie neurorehabilitacji i inżynierii biomedycznej.

### **Ocena ogólna**

W XXI wieku neurorehabilitacja jest jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi rehabilitacji, która wykorzystuje najnowsze osiągnięcia technologiczne do przywracania lub rozwijania utraconych funkcji pacjenta. Nowatorskie urządzenia stosowane w rehabilitacji, dzięki swej skuteczności wspomagają, a czasem wręcz wypierają farmakologiczne metody leczenia. Zwiększają one efektywność oraz skracają czas trwania terapii, a tym samym przyspieszają uzyskanie poprawy jakości życia. Dotychczas przeprowadzone badania pokazują skuteczność i potrzebę stosowania nowoczesnych metod stosowanych w neuroterapii. Doktorant proponuje metody i algorytmy skojarzonej diagnostyki

i rehabilitacji pacjentów ze schorzeniami układu nerwowego i wskazuje ogromny ich potencjał.

Dużą zaletą rozprawy jest jej całościowy charakter: zawiera ona część teoretyczną, praktyczną i doświadczalną. W części teoretycznej Doktorant prezentuje znane i powszechnie stosowane metody rehabilitacji stanowiące podstawę terapii skojarzonej. W części praktycznej konstruuje system do rehabilitacji MAX, który stanowi istotny element terapii skojarzonej. Znaczącym i dobrze udokumentowanym osiągnięciem Doktoranta jest przeprowadzenie eksperymentu klinicznego z udziałem pacjentów ze stwardnieniem rozsianym, potwierdzającego skuteczność zastosowanej terapii.

Podsumowując, do oryginalnych elementów rozprawy zaliczam:

1. Projekt i implementację elementów prototypu diagnostyczno-terapeutycznego MAX do skojarzonej terapii nerwowo-mięśniowej (układ metalowych stelaży i ich mobilnych połączeń; układ napędowych serwomechanizmów i czujników; układ impulsowych zasilaczy; układ sterowania siłą oraz zakresem ruchów biernych, synchronizacją ruchu z przezczaszkową, przeciwsobną emisją pola magnetycznego i trójwymiarową elektrostymulacją punktów motorycznych) oraz oprogramowania synchronizującego mechanoterapię z elektrostymulacją i magnetoterapią.
2. Opracowanie programu rehabilitacji pacjentów ze stwardnieniem rozsianym z zastosowaniem terapii skojarzonej.
3. Przeprowadzenie rehabilitacji pacjentów z wykorzystaniem systemu MAX i analizę wyników.
4. Identyfikację wyjściowego i końcowego profilu dysfunkcji na podstawie testów klinicznych przeprowadzonych na grupie pacjentów ze stwardnieniem rozsianym.

Rozprawa rzetelnie dokumentuje szeroko zakrojone i przeprowadzone przez Doktoranta badania, które mają w głównej części charakter doświadczalny. Doktorant wykazał się umiejętnością interpretacji wyników w połączeniu z wiedzą inżynierską w zakresie projektowania urządzeń rehabilitacyjnych i wiedzą medyczną w zakresie rehabilitacji skojarzonej. Reasumując, oceniam rozprawę doktorską Pana Pawła Połec za bardzo cenną i wnoszącą dodatkową, nową wiedzę na temat skojarzonej rehabilitacji w chorobach układu nerwowego.

### **Uwagi krytyczne**

1. Doktorant wskazuje na celowość zastosowania opracowanego prototypu diagnostyczno-terapeutycznego MAX w terapii skojarzonej pacjentów ze

stwardnieniem rozsianym lecz jednocześnie stawia pod znakiem zapytania możliwość wykorzystania opracowanego przez Autora programu rehabilitacji w powszechnej praktyce klinicznej w odniesieniu do pacjentów z innymi chorobami układu nerwowego. Mam nadzieję, że ta kwestia znajdzie wyjaśnienie w trakcie obrony pracy.

2. Jakimi przesłankami kierował się Doktorant przy doborze optymalnej liczby synchronicznego odwodzenia/zgięcia w stawach barkowych oraz synchronicznego odwodzenia w stawach biodrowych, a także wartości prądowej stymulacji i natężenia pola magnetycznego?
3. Rozprawa zawiera wiele wykresów prezentujących efektywność zastosowanej terapii skojarzonej w odniesieniu do pacjentów ze stwardnieniem rozsianym. Brakuje pogłębionej analizy zalet i wad zastosowanej terapii w odniesieniu do pojedynczych zabiegów.
4. Praca jest dość starannie opracowana edytorsko, ale nie jest wolna od błędów:
  - rys. 5 (str.37); rys. 6 (str.43); rys.15 (str.59) są słabej jakości,
  - rys.1-2 (str.21-22) powinny być oznaczone jako tabele, ponieważ prezentują dane tabelaryczne,
  - nieprawidłowe użycie określeń: „wzrost” zamiast „wysokość ciała” (str.57); „noga” zamiast „kończyna dolna” (str.18),
  - błędy ortograficzne: „po przez” zamiast „poprzez” (str.11,80), „było by” zamiast „byłoby” (str.17), „z pośród” zamiast „spośród” (str.31, 59),
  - użycie znaków interpunkcyjnych w wielu miejscach nie jest właściwe, brakuje kropki na końcu zdania (str.13, 32, 38, 40 itd.).

### **Wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr Pawła Połec nt. „*Rehabilitacja układu nerwowego z zastosowaniem terapii skojarzonej. Opracowanie rozproszonego systemu zarządzania i algorytmów podstawowych kierunków terapii*” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wnosi istotny przyczynek do rozwoju metod rehabilitacji skojarzonej. Spełnia zatem wymagania stawiane przez odpowiednią Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym. Mam więc zaszczyt przedłożyć Wysokiej Radzie Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej im. Macieja Nałęcza PAN pozytywną ocenę rozprawy wraz z wnioskiem o dopuszczenie mgr Pawła Połec do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

