



ŚLĄSKI
UNIwersytet
MEDYCZNY
W KATOWICACH

Zabrze 3.09.2024 r.

dr hab. n med. **Zbigniew Nawrat**

Zakład Biofizyki Katedry Biofizyki

Wydział Nauk Medycznych w Zabrzu

Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

41-808 Zabrze ul. H.Jordana 19

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marcela Marka Smolińskiego

pt. „Metody automatycznej diagnostyki siły motorycznej mięśni w okolicy dłoni, stawu nadgarstkowego oraz łokciowego i wspomagania rehabilitacji w terapii zajęciowej”

**wykonanej pod opieką promotora prof. dr hab. inż. Jarosława Śmieci
i konsultowanej przez dr inż. Michała Mikulskiego.**

Uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Śląskiej z dn. 20.06.2024 r. (uchwała w załączeniu) zostałem powołany na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr. inż. Marcela Smolińskiego.

Obserwacja stanu zaspokajania potrzeb w zakresie usług medycznych wskazuje na zasadność podejmowania tematów związanych z robotyką medyczną. Jest to nie tylko atrakcyjne pole do badań naukowych, ale również obszar sprzyjający przedsiębiorczości, ponieważ zapotrzebowanie rynkowe na narzędzia niewymagające fachowej obsługi, realizujące czynności powtarzalne, czasochłonne i oszczędzające kosztowne zasoby sektora zdrowia, rośnie z roku na rok. Jednym z najbardziej oczekiwanych rozwiązań są roboty rehabilitacyjne. W Polsce można znaleźć znakomite przykłady doskonałych prac naukowych oraz firm wdrażających roboty rehabilitacyjne. Z pewnością w awangardzie znajdują się Politechnika Śląska i gliwicka firma EGZOTech.

Praca wykonana w ramach doktoratu wdrożeniowego odpowiada na współczesne trendy w automatyzacji usług medycznych. Rehabilitacja często polega na wykonywaniu powtarzalnych ruchów elementów układu ruchu pacjenta, a postępy robotyki w tym zakresie są powszechnie znane. Autor doktoratu pracuje w firmie, która zdobyła uznanie dzięki wprowadzeniu robotów rehabilitacyjnych Luna oraz metod diagnostycznych i rehabilitacyjnych opartych na współpracy urządzeń z pomiarem EMG. W swojej pracy Autor często korzystał z oprzyrządowania oraz doświadczenia zespołu prowadzonego przez dr. inż. Michała Mikulskiego, który pełnił oficjalnie funkcję konsultanta doktoratu. Projekt był doskonale finansowany i naukowo wspierany, co było możliwe dzięki stypendium ministra nauki przyznanemu autorowi jako doktorantowi wdrożeniowemu oraz zapleczu firmy EGZOtech, w której pracuje, a także współpracy z Katedrą Inżynierii i Biologii Systemów na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Praca była wspierana pięcioma grantami: trzema europejskimi, jednym Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz jednym Agencji Badań Medycznych. Praca naukowa, poświęcona metodyce automatyzacji rehabilitacji i prezentująca nowego robota specjalistycznego, wzbudza duże zainteresowanie.

Forma

Pracę rozpoczyna streszczenie w języku polskim i angielskim, a kończy rozdział nazwany Dodatki, w którym znalazła się Lista skrótów, Spis rysunków i Spis tabel (13). Praca nie ma typowego podziału na tak istotne dla uporządkowania treści pracy o charakterze naukowym rozdziały jak Metodyka, Wyniki, Analiza, Dyskusja. Co jeszcze bardziej zadziwia nie można się łatwo doszukać celów pracy i konkluzji. Autor swoją pracę ujął w 6 rozdziałach: 1. Wstęp, 2. Diagnostyka ..., 3. Korelacja sygnałów EMG z siłą mięśniową, 4. Stabilizacja pacjenta, 5. Zaawansowana diagnostyka w robocie rehabilitacyjnym i 6. Podsumowanie i przyszłe prace. Rozdziały 2,3,4 mają własne podsumowania. Praca liczy 107 stron. Autor cytuje 113 prac.

Treść

W rozdz. 1 autor uzasadnia, dlaczego roboty rehabilitacyjne są ważne: efektywność, dostępność, potencjalne zmniejszenie kosztów, personalizacja terapii. Następnie przechodzi do ... konkluzji: „badania przeprowadzone w ramach doktoratu wykorzystały metody przetwarzania sygnałów i technologie robotyczne do stworzenia mechanizmu informacyjnego, który integruje dane z elektromiografii (EMG), informacje o momencie obrotowym głównej osi robota, na której zainstalowane są końcówki pacjenta oraz pozycji kończyn, co umożliwia zaplanowanie i realizację wydajnych i dostosowanych do pacjenta protokołów ćwiczeń oraz obiektywną diagnostykę i śledzenie postępów rehabilitacji.” Następnie zaskakuje czytelnika sformułowaniem tez rozprawy, że 1. „siły motoryczne ... są skorelowane z wartościami EMG i 2. , że stabilizacja pozycji pacjenta pomaga ...

W poszukiwaniu celu pracy wracam więc do streszczenia i znajduję: podstawowym celem pracy jest „opracowanie oryginalnych metod automatycznej diagnostyki (sic!) siły motorycznej mięśni w okolicach dłoni, stawu nadgarstkowego oraz łokciowego i weryfikacja

ich przydatności w rehabilitacji zajęciowej.” Częstkowymi celami są też: opracowanie urządzenia (rehabilitującego) i fotela.

Od razu warto zaznaczyć, że autor co prawda skonstruował (choć brak podania roli autora w tych pracach projektowych, konstrukcyjnych prowadzonych przez firmę) urządzenie robotyczne i fotel, natomiast przeprowadzone badania, bardzo cząstkowe w swojej naturze, nie noszą cech dowodzących „automatycznej diagnostyki” ani „weryfikacji ich przydatności w rehabilitacji zajęciowej”. Oznacza to, że recenzent nie może znaleźć klasycznego domknięcia dysertacji, w której doktorant przeprowadza proces od założeń, przez cele i badania do wniosków, które z celami mają związek.

W rozdziale drugim autor omawia szczegółowo diagnostykę stanu pacjenta rehabilitowanego, urządzenia i techniki do tego służące. Jak rozumieć należy ma to stanowić pewne tło dla wykazania oryginalności własnej pracy.

Rozdział trzeci dotyczy korelacji sygnałów EMG z siłą mięśniową i ma już potencjał do bycia rozdziałem dotyczącym badań i wyników. Autor szuka odpowiedzi na pytanie „jaką siłę należy użyć do trzymania i obsługiwanie różnych przedmiotów.” W rozdz. 3.2 mamy przedstawioną opisowo metodę pomiarową stworzoną przez autora, który do badań wykorzystuje skonstruowany specjalnie fotel do stabilizacji pacjenta Mezos SIT (by zmniejszyć zakłócenia pochodzących sygnałów od innych mięśni) i oryginalny firmowy EgzoTechu elektromiograf Stella BIO. Nie czyta się go łatwo, bo stosuje autor wiele skrótów, których nie wyjaśnia (ani tu ani w Dodatku np. MCP, PIP, DIP). Autor zaproponował do pomiarów siły uchwytu kciuk-reszta palców plastikową kładkę obciążaną wzorcowymi ciężarkami 1,2,5,10,20,30 [N] po to by skorelować siłę zaciskania z pomiarem powierzchniowym EMG.

Autor bardzo oszczędnie angażuje siły w ustalenie podstawowej dla dalszych kroków relacji siła-EMG. TYLKO JEDEN, zdrowy człowiek zaciskał jedną, lewą dłoń, innowacyjny (?) uchwyt pomiarowy po 10 sekund każdy z 12 (tylko) odważników. Kluczowy dla tych badań wykres 3.9 pokazuje relacje siła [N] i EMG potencjał w mikrowoltach (nie jestem pewny czy to jest oryginalny? filtrowany? czy jak pisze autor RMS EMG sygnał?). Autor już nas przyzwyczaił, że nie wyjaśnia co to jest RMS i dlaczego go stosuje, ale sygnalizuje, że oblicza tenże RMS „tylko dla przedziału [0.5;9.5] [s]. Bo silnie zmienny jest. W tabeli 3.3 podaje związek pomiędzy siłą zaciskania mięśni palców dłoni (czy to jest ta „siła motoryczna pojawiająca się w celu pracy?) a wartością potencjału RMS EMG. Autor podsumowuje, że relacja nie jest liniowa, ale nie podaje funkcji analitycznej przeliczania z EMG wartości siły, co jest podstawą dalszych badań i obliczeń. Tak naprawdę, patrząc na „dziurawy”, bez żadnego opracowania statystycznego wykres nie wiadomo jak autor tych obliczeń dokonuje. To ważne wątpliwości, bo następnie autor umieszcza osobę badaną w wygodnym fotelu Mezos i daje mu do ręki różne elementy od klucza do kubka i określa jaką siłą nacisk jest realizowany na podstawie tej tabeli 3.3 czy wykresu 3.10. W związku z naturalną, występującą dla badań z ludźmi i niejednoznacznym obciążeniem podczas wykonywanych zadań spodziewalibyśmy się tu choć próby wykonanej na kilkunastu osobach i obydwu dłoniach oraz odpowiedniej analizy statystycznej. Tym razem

również jednak autor nie uznał tego za ważne, zadowolając się stwierdzeniem, że „opracowana metoda wymaga około 15 min. Na przeprowadzenie testów dla 8 różnych przedmiotów.” Na podstawie tych skromnych i nieangażujących badań autor stwierdza, że oszacował jakie siły są wykorzystywane dla prostych 8 czynności z uchwytem od klucza do kubka.

Rozdział 4 autor poświęca udowodnieniu, że osoba rehabilitowana powinna siedzieć wygodnie na fotelu z podłokietnikami, by zmniejszyć „zmienności” pomiaru sygnałów podczas diagnostyki i rehabilitacji dłoni itp. W podrozdziale 4.1 w dwóch zdaniach podaje metodykę, w której podaje wykorzystanie robota Pinchmeter (do pomiaru siły) i Stellę BIO oraz technikę podobną jak omówiona w poprzednim rozdziale (z ciężarkami wzorcowymi). Autor podaje wyniki wykonania prób uchwytu nożycowego dłoni z różną siłą z przerwami 10 [s] (w sumie daje to 40 pomiarów, oczywiście tylko lewej dłoni). Autor porównuje współczynnik zmienności (którego nie definiuje). Ale w podsumowaniu podaje, że „podparcie ramienia pozwala w znaczący (czyli jaki?) sposób zmniejszyć wariancję rozkładu wartości sygnału (to zmienność, o której mowa wcześniej?). W końcowym zdaniu tego rozdziału autor pisze: „Pozwala to stwierdzić wykazanie drugiej tezy niniejszej pracy.”

W Rozdziale 5 jak sam autor pisze „skupiono się na omówieniu robota ... Meissa OT oraz fotela ...Mezos SIT, które powstały w ramach prac wdrożeniowych...”. Znajdziemy tam cząstkowe informacje dotyczące aspektów ergonomicznych, końcówek terapii zajęciowej, odbiorcy, grupy pacjentów, protokoły programu „chwyc i puść”, „otwórz i zamknij rękę”, gry – wszystko w sposób opisowy – bez żadnych badań. Co dziwne – dla pracy inżynierskiej – nie opisano technicznie w ogóle robota. Wiemy tylko, że ma tylko jedną aktywną oś, ruch bierny i aktywny oraz współpracuje z EMG, co jest znakiem firmowym EgzoTECHu przecież. Mamy także wniosek patentowy P 445950. Znajomość rzeczy pozwala domyślać się, że jest to pewnego rodzaju mini LUNA, która z powodzeniem jest produkowana i wdrażana przez EGZOtech – robot cieszący się dużą popularnością i stosowany z powodzeniem do „większych części ciała” takich ręka czy noga.

W Rozdziale 5.5 wymieniono 9 końcówek roboczych tego robota co ma luźny związek z tematem doktoratu. Jesteśmy zasugerowani przez autora, że prowadził on testy „Human Factors Validation „pomiaru czasu potrzebnego na wymianę końcówki terapeutycznej robota przeprowadzonej w grupie 15 specjalistów (4,95 [s]) i 17 operatorów (6.08 [s]). Uznano to za realizację założeń - planu dla konstruktorów (Tab.5.5, Tab.5.6)

W Rozdziale 5.6 przedstawiono wielofunkcyjny fotel Mezos SIT z wszystkim akcesoriami.

W zajmującym ok 1 strony tekstu Podsumowaniu (Rozdz.6) dowiadujemy się, że „niniejszy doktorat wdrożeniowy, skupiał się na połączeniu badań naukowych z praktycznym zastosowaniem wyników w gospodarce.” Autor pisze, że „głównym celem pracy doktorskiej było zidentyfikowanie, analiza i rozwiązanie istotnych zagadnień związanych z autodiagnostyką (to słowo chyba po raz pierwszy się w doktoracie pojawia i nie bardzo rozumiem, gdzie znajdę tutaj te rozwiązania) i rozwiązywaniem problemów związanych

z niedoborem fizjoterapeutów (także trudno byłoby znaleźć fragment pracy, który tego dokładnie dotyczy). Dalej pisze autor, że „badania obejmowały szerokie spektrum zagadnień, począwszy od analizy teoretycznej, poprzez badania empiryczne, aż do wdrożenia rozwiązań.” „Protokoły ćwiczeń oraz bazowania, które powstały w ramach doktoratu oraz sam robot Meissa OT 6.1 .. stanowią .. zaawansowany robot rehabilitacyjno-diagnostyczny z możliwością wykorzystania w warunkach domowych”, który wdrożono w dużej liczbie szpitali z oddziałami neurologicznymi w Polsce. Autor następnie uznał, że „na podstawie przeprowadzonych badań” potwierdził tezy o korelacji wartości siły motorycznej mięśni z wartościami sygnałów EMG podczas uchwytu i wybranych manipulacji oraz o wadze stabilizacji pacjenta na poprawność wykonywanych badań.

Na pewno warto kontynuować badania i tworzenie robotów rehabilitacyjnych uniezależniających pacjenta od obecności na miejscu specjalistów w obecnej sytuacji kadrowej.

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując recenzję, muszę stwierdzić, że praca wymyka się klasycznej ocenie, a autor nie w pełni wykorzystał potencjału czasu, miejsca oraz atrakcyjnego tematu badawczego. W wielu miejscach praca budzi niepokój czy autor zdaje sobie sprawę z konieczności prowadzenia badań zgodnie z określonym protokołem statystycznym i rygorami wymaganymi w pracach naukowych. Na pewno w trakcie otwartej obrony doktoratu postaram się na te pytania i wątpliwości znaleźć odpowiedzi.

Autor nie ustrzegł się wielu błędów a nawet wypaczeń jednak, jeśli weźmiemy pod uwagę, że w ramach pracy związanej z doktoratem przyczynił się do wdrożenia metodyki diagnostyki pacjenta, dwóch urządzeń: robota Meissa OT oraz fotela do diagnostyki Mezos SIT, których prawa własności intelektualnej będą chronione kilkoma patentami – trudno nie dojrzeć, że sens wdrożeniowy tego doktoratu istnieje i został zrealizowany. Dlatego pomimo, wyrażonych w mojej recenzji wątpliwości i szeregu uwag, uważam, że autor przedstawionej do oceny powinien zostać zakwalifikowany do kolejnych kroków zmierzających do uzyskania tytułu doktora we wskazanej dyscyplinie „inżynieria biomedyczna”.

Analiza przedłożonego tekstu pozwala na sformułowanie wniosków, że doktorant wykazał się odpowiednim poziomem samodzielności, wprowadził kilka oryginalnych metod, które mogą być wykorzystane w praktyce podczas rehabilitacji pacjentów, odegrał znaczącą rolę w powstaniu wynalazków i urządzeń, które znalazły zastosowanie medyczne oraz napisał pracę oryginalną w swojej treści. Praca może być kontynuowana i prowadzić do kolejnych ważnych modyfikacji techniki stosowanej podczas rehabilitacji pacjentów.

Pan mgr. inż. Marcelego Marka Smolińskiego przedstawił do oceny rozprawę doktorską, którą oceniam jako dzieło oryginalne i wartościowe. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria biomedyczna. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej i usługach medycznych. Na pewno wprowadzone i przedstawione metody oraz urządzenia będą rozwijane i są przydatne w rehabilitacji pacjentów.

Biorąc pod uwagę powyższe wnioski należy stwierdzić, że rozprawa doktorska pt. "Metody automatycznej diagnostyki siły motorycznej mięśni w okolicy dłoni, stawu nadgarstkowego oraz łokciowego i wspomagania rehabilitacji w terapii zajęciowej" spełnia wymogi pracy doktorskiej opisane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r- Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742, z późn. zm)). W związku z powyższym stwierdzeniem proszę o przyjęcie rozprawy Pana Marcelego Marka Smolińskiego i realizację dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Podpisał Zbigniew Nawrat (podpis odręczny)