

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Rokseli

Analiza parametrów biomechanicznych i bioelektrycznych na potrzeby automatyzacji diagnostyki i rehabilitacji pacjentów

Analysis of biomechanical and bioelectric parameters for the needs of automation of diagnostics and rehabilitation of patients

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, dodano streszczenie w języku polskim. Praca sfinansowana została z pięciu grantów, w tym dwu europejskich. Praca doktorska mgr inż. Anny Rokseli liczy 122 strony maszynopisu formatu A4 pisanych czcionką o rozmiarze 12, z odstępami półtora wiersza. Rozprawa podzielona jest na osiem rozdziałów, są to: wstęp, tło i związane z nim prace, projektowanie i wdrażanie systemu, automatyzacja diagnostyki i wybrane zabiegi rehabilitacyjne, wnioski i przyszłe prace, spis piśmiennictwa, lista rycin (26) i wykaz tabel (20). Spis piśmiennictwa zawiera 151 pozycji ponumerowanych zgodnie z kolejnością alfabetyczną (według systemu Harvard).

Rozdział I (Wstęp) Autorka podzieliła na dwa podrozdziały zatytułowane "motywacja" (do przeprowadzenia badań) i „określenie i zakres pracy”. U podstaw tej decyzji leżał brak istotnych dowodów na skuteczność metodologii i protokołów leczenia stosowanych w diagnostyce i interwencjach terapeutycznych wspomaganych robotami. Głównym celem pracy było ustalenie podstaw metodologicznych dla zautomatyzowanej platformy eksperckiej zaprojektowanej w celu wspomaganie, ulepszania i automatyzowania procesu diagnozy dla potrzeb rehabilitacji. W oparciu o te założenia sformułowano dwie hipotezy badawcze: I. Sygnały EMG uzupełnione momentem obrotowym i pozycją kończyny, generowane przez pacjentów podczas zabiegów diagnostycznych wspomaganych maszynowo pozwalają na obiektywną ocenę stanu pacjenta. II. EMG, uzupełnione pomiarami momentu obrotowego i położenia, jeśli ma to zastosowanie, dostarczają opartą na sprzężeniu zwrotnym kompletną informację na temat skuteczności rehabilitacji, także w rozwiązaniach telemedycznych.

W rozdziale II przedstawiono parametry biomechaniczne i bioelektryczne w diagnostyce i rehabilitacji i automatyzację w diagnostyce i rehabilitacji. Rozdział III

poświęcono ogólnej koncepcji, opisowi wyposażenia użytego do badań i jego zastosowaniu w medycynie. Rozdział IV – najdłuższy – podzielono na cztery podrozdziały; są to:

4.1. Automatyzacja w diagnostyce – izokinetyczny test siły, 4.2. Automatyzacja diagnostyki pacjentów po udarze mózgu - sztywność mięśni i spastyczność, 4.3. Automatyzacja diagnostyki i rehabilitacji pacjentów z nietrzymaniem moczu., 4.4. Ćwiczenia ruchowe wyzwalane przy pomocy EMG. W badaniach wykorzystano parametry biomechaniczne i bioelektryczne oraz metody automatyzacji w rehabilitacji. Są to: pomiar momentu obrotowego, określenie pozycji kończyny, przetwarzanie sygnałów EMG, wykorzystanie zaawansowanych technologii.

1. Pomiar momentu obrotowego i wyliczane na jego podstawie parametry w ocenie mięśniowo-szkieletowej wykorzystują kluczową rolę siły, która jest niezbędna do tworzenia ruchów ciała, wspierania stabilności stawów i utrzymania postawy. 2 Pomiar pozycji pozwala określić pozycję kończyny w przestrzeni, zmierzyć jej prędkość i zakres ruchu oraz oznaczać zdarzenia zgodnie z zakresem ruchu stawu. 3. Sygnały elektromiograficzne po odpowiednim przetworzeniu dostarczają cennych parametrów, pozwalających na ocenę aktywności mięśniowej, takich jak Średnia krocząca, Zero Crossing, Onset, Offset, średnia częstotliwość, mediana częstotliwości. 4. Wykorzystanie zaawansowanych technologii, takich jak roboty, biologiczne sprzężenie zwrotne (ang. biofeedback), grywalizacja, sztuczna inteligencja.

Rozdział V przeznaczono na dyskusję i rozważania na temat przyszłych prac. Spis piśmiennictwa nazwany bibliografią niestety sporządzony jest niestarannie i niejednolicie – w jednych pozycjach podano pełne imiona autorów, w innych jedynie pierwsze litery.

W celu sprawdzenia też pracy przeprowadzono ocenę opracowanych procedur diagnostycznych i terapeutycznych w badaniach własnych. Są to: 1. Test Siły Mięśniowej - przebadany u 20 osób, w tym 10 osób po udarze mózgu i 10 w grupie kontrolnej. 2. Test Spastyczności Mięśni przeprowadzono u 116 osób po udarze i 68 „zdrowych” z grupy kontrolnej. 3. Telediagnostyka z wykorzystaniem protokołu Glazera i telerehabilitacja przeprowadzona u 20 pacjentek z nietrzymaniem moczu. 4. Ćwiczenia wzmacniające siłę prostowników uda z wykorzystaniem skurczu mięśnia prostego wyzwalanego poprzez EMG u siedmiu pacjentów po udarze.

Sformułowano specyfikacje dla protokołów diagnostycznych i rehabilitacyjnych, które zostały zintegrowane z urządzeniami Luna EMG i Stella BIO firmy EGZOTech. Wyniki tych badań zostały opublikowane w ośmiu publikacjach naukowych, w których w jednym Autorka jest pierwszym autorem, zaś w pozostałych współautorem.

1. Rokseła et al., 2023. Oceniono zastosowanie i niezawodność dwóch technik pomiarowych, dynamometrii izokinetycznej i powierzchniowej EMG, opartych na analizie zgięcia i wyprostu

łokcia obsługiwanej przez robota rehabilitacyjnego Luna EMG, mających na celu ocenę aktywności mięśni dwugłowych i trójgłowych ramienia. Stwierdzono, że pomiary dynamometryczne i elektromiografia powierzchniowa są porównywane pod kątem ich powtarzalności między sesjami i dniami oraz ich zdolności do odróżniania kończyn z uszkodzeniem od kończyn zdrowych (pozycja 118 w Bibliografii, pominięto dane dotyczące streszczeń zjazdowych).

2. Poświata et al., 2019. W Podrozdziale 4.2.1. opisano wyniki badania pilotażowego przedstawionego na zjeździe naukowym w e-posterze (pozycja 108 w Bibliografii). Celem badania było ustalenie protokołu oceny sztywności stawów (błąd: chodzi o spastyczność mięśni, ograniczającą ruchomość w stawach), wykorzystującego urządzenie robotyczne do pomiaru momentu obrotowego w stawie łokciowym podczas ciągłego ruchu biernego ruchu u 10 chorych po udarze niedokrwiennym i 10 osób „zdrowych” (bez zaburzeń ruchowych związanych z zaburzeniami ośrodkowego układu nerwowego. Ciągły ruch bierny (60 sekund) w stawie łokciowym wykonywano z trzema różnymi prędkościami: $10^{\circ}/s$, $30^{\circ}/s$ i $50^{\circ}/s$. Zaobserwowano korelacje w grupie zdrowej przy różnych prędkościach - $10^{\circ}/s$ dla prawego ramienia i $30^{\circ}/s$ i $50^{\circ}/s$ dla obu ramion — dotyczące zarówno średnich, jak i maksymalnych wartości momentu obrotowego podczas ruchów zginania i prostowania. Wśród pacjentów po udarze powtarzalność testów była przede wszystkim zauważana w maksymalnych wartościach momentu obrotowego przy prędkościach $30^{\circ}/s$ i $50^{\circ}/s$ zarówno dla kończyn dotkniętych, jak i niedotkniętych niedowładem, obejmujących zarówno ruchy zginania, jak zginania.

3. W Podrozdziale 4.2.2. przedstawiono (najpewniej do tej pory nie opublikowane) wyniki badań przeprowadzonych z udziałem 116 osób w średnim wieku około 60 lat (76 kobiet i 40 mężczyzn) po pierwszym w życiu udarze niedokrwiennym mózgu, spełniających kryteria włączenia: zachowana zdolność chwytania, 4-5 stopień zdrowienia (a nie niedowład!) kończyny górnej i ręki w skali Brunnström, trzeci stopień niepełnosprawności w skali Rankina, wzmożone napięcie mięśniowe (a nie niedowład!) w kończynie górnej 1,5 lub 2 stopień (a nie poniżej 3 stopnia!) w zmodyfikowanej skali spastyczności Ashwortha, zdolność do współpracy i zrozumienie istoty badań. Wykluczono chorych po drugim lub kolejnym udarze, chorych po udarze krwotocznym, chorych z uszkodzeniem pnia mózgu i mózdzku, chorych z zaburzeniami funkcji poznawczych, chorych z ubytkiem pola widzenia, chorych ze współistniejącymi schorzeniami reumatologicznymi i ortopedycznymi obniżającymi sprawność ręki, i chorych z utrwalonymi przykurczami. Grupa kontrolna liczyła 68 osób „zdrowych” nazwanych „młodymi dorosłymi” (wieku nie podano), w tym 47 kobiet i 21 mężczyzn. Brak tabeli zawierającej istotne dane na temat obu grup, zwłaszcza tych po udarze. Przy użyciu robota

rehabilitacyjnego Luna EMG wykonywano jednoczesny pomiar kinematycznych, biomechanicznych i elektrofizjologicznych odpowiedzi odruchów mięśni kończyn górnych na rozciąganie. Ruchy zgięcia i prostowania kończyn górnych wykonywano w trzech prędkościach. Uzyskano następujące dane: moment obrotowy (T), średnia kwadratowa z EMG (EMG RMS) z kanału 1 (Ch1) i z kanału 2 (Ch2), pozycja (Pos) dla maksymalnego lub minimalnego momentu obrotowego. Porównanie osób po udarze z grupą kontrolną wykazało potencjał diagnostyki wspomaganą maszynowo (ang. machine learning) w rozróżnianiu kończyn „zdrowych” i „chorych”, tj. wykrywanie zwiększonego napięcia mięśniowego i zmniejszonej ruchomości stawów.

4. W Podrozdziale 4.3 przedstawiono wyniki reedukacji wysiłkowego nietrzymania moczu (WNM) stopnia I lub II u 20 kobiet w wieku okołomenopauzalnym $52 \pm 6,83$ lat z zastosowaniem urządzenia Stella BIO i elektrody endowaginalnej Perisphera H. Uczestniczki wypełniły kwestionariusz ICIQ-LUTSqol SF, oceniający jakość życia pacjentów z nietrzymaniem moczu – nazwa kwestionariusza nie została rozwinięta w tekście.

Opinia recenzenta: Autorka wykazała się dużym zasobem wiedzy na temat wykorzystania parametrów biomechanicznych i bioelektrycznych ruchu w celu automatyzacji diagnostyki i rehabilitacji pacjentów z dysfunkcją narządu, miejscami maszynopis bardziej przypomina pracę przeglądową niż badawczą. Wyniki niektórych badań zostały już opublikowane, inne czekają na publikację. Praca mogłaby być bardziej strawna dla Czytelnika, gdyby miała bardziej czytelny układ. Największym jej mankamentem wydaje się być spis piśmiennictwa zredagowany według systemu Harvard, a nie zgodnie z kolejnością cytowania w tekście (ostatnio powszechnie stosowany system Vancouver). Utrudnia to poszukiwanie odpowiednich pozycji, tym bardziej, że z niewiadomych powodów najpierw wymienione są imiona (lub pierwsza litera imienia), a dopiero później nazwiska autorów. Spis ten wymaga poprawy, w tym usunięcia pozycji 123, która w najmniejszym stopniu nie przypomina tytułu artykułu naukowego. Zarówno w projektowaniu badań klinicznych jak w przygotowaniu publikacji przydałaby się konsultacja neurologa. Wówczas zwrócono by uwagę na wysoki stopień złożoności procesu rehabilitacji osób po udarze mózgu, jej wyniki zależą od bardzo wielu czynników (nie tylko nasilenia niedowładów), takich jak m.in. afazja, zaburzenia widzenia i słuchu, zaburzenia czucia, spastyczność, zespół połowiczego niedowidzenia (hemineglect), obecności depresji, zaburzeń funkcji poznawczych, półkuli dominującej, czas jaki upłynął od zachorowania, przebyta rehabilitacja. Zakres ruchomości kończyn – Range of Movement – ROM – zależy zarówno od spastyczności mięśni jak stanu stawów. Znacznego stopnia afazja, otępienie (poniżej 26 punktów w skali MMSE), zespół połowiczego

niedowidzenia, znacznego stopnia spastyczność, znacznego stopnia depresja, zaburzenia czucia powierzchniowego w kończynach – powinny stanowić podstawę do wykluczenia z badań.

W pracy opisanej w Podrozdziale 4.2.2. należy przed publikacją dodać tabelę zawierającą podstawowe dane antropometryczne obu grup (wiek, płeć), stopień ciężkości przebytego udaru w skali NIHSS, czas jaki upłynął od zachorowania, lokalizację ogniska niedokrwienia mózgu – najlepiej w skali Oxford (Bamfort i wsp., 1991), stronę niedowładów połowicznego (lewa, prawa), obecność afazji, przebyte leczenie, przebytą rehabilitację (stacjonarna lub ambulatoryjna).

Streszczenie pracy, zarówno angielskie jak polskie, jest zbyt rozwlekłe i mało konkretne. Stałoby się ono bardziej czytelne, gdyby zawierało dane liczbowe dotyczące wyników badań.

Wytknięte wyżej braki nie umniejszają w istotnym stopniu wartości pracy i można je usunąć przed przygotowaniem jej do druku. Autorka wykazała się wiedzą teoretyczną i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych. W przyszłych badaniach dobrze byłoby korzystać z konsultacji neurologa.

Wniosek końcowy: praca mgr inż. Anny Rokseli, zatytułowana „Analysis of biomechanical and bioelectric parameters for the needs of automation of diagnostics and rehabilitation of patients” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742, z późn. zm.). Wniosuję zatem o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.