

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Analiza potencjału zastosowania koboty w rehabilitacji neurologicznej

Wojciech Wolański<sup>1</sup>, Robert Michnik<sup>1</sup>, Sławomir Suchoń<sup>1</sup>, Michał Burkacki<sup>1</sup>, Miłosz Chrzan<sup>1</sup>, Hanna Zadoń<sup>1</sup>, Piotr Szaflik<sup>1</sup>, Grzegorz Dulęba<sup>1</sup>, Justyna Szeffler-Dera<sup>2</sup>, Dagmara Wasiuk-Zowada<sup>2</sup>, Marek Gzik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Biomechaniki, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Śląska

<sup>2</sup>Wydział Fizjoterapii, Wydział Lekarski, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
email: wwolanski@polsl.pl

**STRESZCZENIE:** Z uwagi na rosnącą liczbę pacjentów oraz starzejące się społeczeństwo terapia z wykorzystaniem robotów współpracujących – kobotów znajduje szersze zastosowanie w wielu rodzajach rehabilitacji. Terapia z wykorzystaniem robotów bardzo często ma na celu stymulowanie układu nerwowego poprzez powtarzalne bodźce, które wspierają proces neuroplastyczności w terapii neurologicznej. Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie, czy istnieje możliwość adaptacji robota przemysłowego do wsparcia procesu rehabilitacji. W eksperymencie zastosowano 10 powtórzeń ćwiczeń PNF w 4 seriach pomiarowych. W ramach badań porównano kinematykę pacjenta rehabilitowanego przez fizjoterapeutę oraz koboty UR10e. Kinematyka kończyn dolnych rejestrowana była przy użyciu systemu Noraxon Ultium Motion wyposażonego w czujniki inercyjne (IMU). W badaniu analizowano kąty zgięcia i odwiedzenia stawu biodrowego oraz kolanowego, kąty zgięcia grzbietowego kostki, kąty zgięcia i rotacji kolana.

**SŁOWA KLUCZOWE:** metoda PNF, Rehabilitacja neurologiczna, robotyka w rehabilitacji

#### 1. Wstęp

Koboty współpracujące (koboty) szybko zyskują popularność w dziedzinie rehabilitacji, oferując nowatorskie i innowacyjne podejście do wspomagania osób z chorobami neurologicznymi w odzyskiwaniu mobilności i niezależności. Wykazują one szczególny potencjał w rehabilitacji chorób neurologicznych wpływających na kończyny dolne, takich jak udar mózgu i uszkodzenia rdzenia kręgowego. Coboty to roboty zaprojektowane specjalnie do współpracy z ludźmi w miejscu pracy. W odróżnieniu od tradycyjnych robotów, które są oddzielone od kontaktu z ludźmi, mają na celu interakcję z ludźmi i wspomaganie ich w wykonywaniu różnych zadań. Są zazwyczaj bardziej elastyczne, lżejsze i mniejsze niż tradycyjne roboty, co czyni je idealnymi do stosowania w opiece nad pacjentami, gdzie mogą pomóc im w odzyskaniu niezależności i mobilności.

Dzięki wykorzystaniu cobotów, pacjenci w rehabilitacji mogą ponownie uczyć się, jak poruszać stopami i nogami, za pomocą techniki zwanej treningiem chodu. Trening chodu polega na wykonywaniu różnych ćwiczeń i ruchów, które pomagają pacjentom odzyskać kontrolę nad kończynami dolnymi, poprawić równowagę i wzmocnić siłę. Coboty są idealne do tego procesu, ponieważ mogą dostarczać pacjentom ukierunkowane wsparcie i informacje zwrotne, co pozwala im wykonywać właściwe ruchy i osiągać postępy w realizacji celów rehabilitacyjnych.

Coboty oferują nowatorskie podejście do wspomagania osób z zaburzeniami neurologicznymi w odzyskiwaniu sprawności fizycznej[1,2,3,4]. Dzięki ukierunkowanej pomocy, elastycznemu treningowi i natychmiastowej

informacji zwrotnej mogą wspierać pacjentów w osiągnięciu celów rehabilitacyjnych i poprawie jakości życia.

#### 2. Opis badania

Analiza potencjału zastosowania robota w procesie rehabilitacji została przeprowadzona z wykorzystaniem koboty UR10e wraz z oceną kinematyki za pomocą systemu Noraxon MyoMotion składającego się z siedmiu czujników. Czujniki noraxon zostały umieszczone na miednicy oraz na stopie, udzie, podudziu na obu kończynach dolnych pacjenta. Badanie odbyło się w dwóch etapach. Każdy etap składał się z dziesięciu powtórzeń ruchów PNF [5] i był wykonywany dwukrotnie. Przed każdym etapem system Noraxon był kalibrowany. W pierwszym etapie ruch PNF był wykonywany dziesięć razy z pomocą fizjoterapeuty. Drugi etap rozpoczął się od ustawienia robota UR10e (Rysunek 1). Do robota przymocowano specjalnie zaprojektowaną ortezę, która następnie była przypinana do kończyny dolnej za pomocą pasków. Terapeuta, po zbadaniu pacjenta i podjęciu decyzji o metodzie rehabilitacji, zaprogramował powtarzalny ruch ramienia robota (który w klasycznym podejściu byłby wykonywany przez człowieka). Trajektoria tego ruchu została zaprogramowana, gdy ramię robota było już przymocowane do kończyny pacjenta.



Rys. 1. Pacjent w trakcie badania pozycja startowa w trakcie eksperymentu

### 3. Wyniki

Korelacja ruchów podczas serii ćwiczeń wykonywanych przez fizjoterapeutę (tabela 1) wykazała bardzo wysokie podobieństwo dla każdego stawu. Analogiczne porównanie serii ćwiczeń wykonywanych przez robota (tabela 1) również wykazało silne podobieństwo, z wyjątkiem ruchów odwodzenia biodra i zgięcia grzbietowego stopy, gdzie uzyskano słabe podobieństwo.

Oznacza to, że mimo niższej powtarzalności ruchów w ramach danej serii, człowiek lepiej kontroluje cały proces, podczas gdy robot oferuje bardzo dobrą powtarzalność w obrębie jednej serii, jednak wiele zależy od etapu programowania ruchu. Jeśli na etapie programowania wystąpi odchylenie od oczekiwanej trajektorii, robot nie skoryguje tego błędu, lecz będzie go powtarzał.

Tabela 1. Wyniki korelacji rang Spearmana dla poszczególnych ruchów w stawach.

Rodzaj ruchu i stawu	Test 1 <i>Fizjoterapeuta vs. Test 1 Cobot</i>	Test 2 <i>Fizjoterapeuta vs. Test 2 Cobot</i>	Test 1 <i>Fizjoterapeuta vs. Test 2 Fizjoterapeuta</i>	Test 1 <i>Cobot vs. Test 2 Cobot</i>
Zgięcie biodra [°]	0.99	0.99	0.99	0.99
Odwodzenie biodra [°]	0.54	0.55	0.91	0.51
Zgięcie kolana [°]	0.77	0.78	0.98	0.96
Rotacja kolana [°]	0.72	0.63	0.89	0.99
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	-0.71	-0.58	0.91	0.51

### 4. Podsumowanie

Badania z wykorzystaniem przemysłowego robota UR10e do przeprowadzania ćwiczeń terapeutycznych może być cennym kierunkiem w poprawie funkcjonowania opieki zdrowotnej, a w szczególności procesu rehabilitacji. Choć celem pracy było przeanalizowanie możliwości wykorzystania robota w rehabilitacji poprzez porównanie kinematyki zadanych ruchów, należy zauważyć, że przedstawione rozwiązanie wymaga modyfikacji. Z pewnością jednym z najważniejszych aspektów jest dopracowanie systemu bezpieczeństwa. Obecnie badania przeprowadzono na podstawie fabrycznie wbudowanych systemów bezpieczeństwa, w tym sprzężenia zwrotnego sensorycznego. Wyłącznik bezpieczeństwa był dostępny dla testowanego pacjenta. Przynajmniej, że rodzaj przeprowadzanych procedur nie stanowił zagrożenia i były one wykonywane oraz nadzorowane przez dwóch wykwalifikowanych terapeutów. Niemniej jednak, w docelowym rozwiązaniu współpracy z pacjentami, wbudowany system bezpieczeństwa będzie musiał zostać rozszerzony i dostosowany do odpowiednich norm. W trakcie terapii wspomniane systemy bezpieczeństwa, uzupełnione zgodnie z wymaganiami norm, powinny gwarantować brak ryzyka obrażeń. Jednym z proponowanych ulepszeń systemu bezpieczeństwa mogłoby być wprowadzenie sensorów monitorujących przekroczenie określonych zakresów ruchu, na przykład w stawie kolanowym. Oprócz rozwoju systemu bezpieczeństwa, planowane są dalsze prace nad wytworzeniem uchwytów dedykowanych ramieniu robotycznemu, umożliwiającą rehabilitację zarówno kończyn dolnych, jak i górnych.

Najważniejsze wnioski z badań:

- Robot wykonuje ruchy fizjoterapeutyczne bardziej precyzyjnie i z większą powtarzalnością.
- Ruchy wykonywane przez fizjoterapeutów są mniej powtarzalne i mają mniejszy zakres przy kolejnych powtórzeniach (możliwie z powodu zmęczenia).
- Ze względu na konstrukcję robota i sposób połączenia robota z kończyną pacjenta, ruch w stawie skokowym nie może zostać dokładnie odwzorowany. Pozostałe ruchomości stawów są odwzorowane dobrze lub bardzo dobrze (tab.1).

### Literatura

- [1] Hu, X.; Suresh, N.L.; Rymer, W.Z. Estimating the Time Course of Population Excitatory Postsynaptic Potentials in Motoneurons of Spastic Stroke Survivors. *J. Neurophysiol.* **2015**, *113*, 1952.
- [2] Chen, J.C.; Shaw, F.Z. Progress in Sensorimotor Rehabilitative Physical Therapy Programs for Stroke Patients. *World J. Clin. cases* **2014**, *2*, 316.
- [3] Coscia, M.; Wessel, M.J.; Chaudary, U.; Millán, J.d.R.; Micera, S.; Guggisberg, A.; Vuadens, P.; Donoghue, J.; Birbaumer, N.; Hummel, F.C. Neurotechnology-Aided Interventions for Upper Limb Motor Rehabilitation in Severe Chronic Stroke. *Brain* **2019**, *142*, 2182–2197.
- [4] Pignolo, L. Robotics in Neuro-Rehabilitation. *J. Rehabil. Med.* **2009**, *41*, 955–960.
- [5] Adler, S.S.; Beckers, D.; Buck, M. *PNF in Practice: An Illustrated Guide*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 1–299.