

Mgr inż. Wojciech Klimasara
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
Ośrodek Mechatroniki OME
02-486 Warszawa, Al. Jerozolimskie 202
e-mail: klimasara@post.pl

ROBOTY W REHABILITACJI OSÓB PO UDARZE MÓZGU

Udar mózgu jest jedną z najczęściej występujących przyczyn niesprawności i inwalidztwa. Choć przyczyny udarów, jak również profilaktyka przeciw udarowa są już dziś dobrze znane, istnieje wciąż potrzeba rozwijania istniejących jak również stosowania nowych technik rehabilitacji osób po udarze mózgu takich jak np. rehabilitacja wspomagana robotami. W pracy dokonano przeglądu zagadnień związanych z budową oraz zastosowaniem robotów w rehabilitacji po udarze mózgu. Przedstawiono wyniki wybranych projektów badawczych, których celem było opracowanie robotów i/lub ich zastosowanie do rehabilitacji osób po przebytym udarze mózgu.

ROBOTS IN POST-STROKE REHABILITATION

Stroke is a leading cause of disability. Although the causes of stroke are well known and it is possible to reduce their risks, there is still a need to improve rehabilitation techniques.

A new, very promising technique of motion therapy after a stroke is robot assisted rehabilitation. This paper presents a review of problems related to robot building and the robot assisted neuro-rehabilitation after stroke. The results of these selected projects focus on robot development; their use for motion therapy after stroke is discussed.

1. WSTĘP

Udary mózgu stanowią w Polsce trzecią co do częstości przyczynę zgonów oraz inwalidztwa. Objawy udaru występują u ok. 60 tyś osób w ciągu roku [22]. Aż w 50% osoby, które przeżyły udar mają trwałe powikłania, które są przyczyną późniejszego inwalidztwa. Stanowi to bardzo poważny problem społeczny. W Polsce tylko ok. 30% osób w wieku produkcyjnym dotkniętych udarem wraca z powrotem do czynnego życia zawodowego i społecznego. W Europie Zachodniej i USA proporcje te są odwrotne. Tam ok. 70% osób w wieku produkcyjnym wraca do życia zawodowego po przebytym udarze mózgu. W przywracaniu sprawności po udarze (usprawnianiu) jest niezwykle ważna wczesnie rozpoczęta, prawidłowo i konsekwentnie prowadzona rehabilitacja. Rehabilitacja jest zespołem działań, których celem jest uzyskanie określonego poziomu sprawności fizycznej i psychicznej osób po przebytym udarze mózgu. Rehabilitacja poprawia jakość życia osób niepełnosprawnych przez ich usamodzielnienie oraz powrót do życia zawodowego i społecznego. Usprawnianie nie może być ograniczone jednak do krótkich sesji rehabilitacyjnych trwających w najlepszym razie przez krótkie chwile w ciągu doby [6], lecz powinno być kontynuowane również między sesjami rehabilitacji. Celem usprawniania jest ponowne nauczenie ruchów. W bardzo dużym

uproszczeniu można przyjąć, że proces usprawniania polega na "programowaniu" mózgu metodą uczenia. Wskutek wielokrotnego powtarzania ćwiczeń, dzięki plastyczności mięśniowo-nerwowej [6] tworzą się nowe powiązania dla żyjących neuronów. Powiązania te decydują o sprawności lub inwalidztwie. Przywracanie sprawności jest procesem bardzo żmudnym, trudnym i długim. Stanowi zawsze wielkie wyzwanie dla chorego i wielkie poświęcenie dla jego otoczenia. Właśnie w tym czasie decyduje się los chorego. Od wyników rehabilitacji zależy bowiem, czy zostanie usprawniony i wróci do życia społecznego i zawodowego, czy też pozostanie inwalidą. Dlatego też wspomaganie usprawniania chorego inteligentnymi urządzeniami mechatronicznymi (w tym robotami) jest niezwykle ważne. Prace nad budową i zastosowaniem robotów do celów rehabilitacji neurologicznej trwają od lat i są nadal intensywnie rozwijane w bogatych krajach Zachodu, a zwłaszcza w USA oraz wysoko rozwiniętych krajach Europy, głównie w Wielkiej Brytanii i Szwecji. Rozwój zrobotyzowanych urządzeń rehabilitacyjnych jest stymulowany postępem medycyny w rozpoznaniu zjawisk po udarze oraz jego następstw, jak również postęпами mechatroniki, a w tym nowymi możliwościami techniki pomiarowej i komputerowej. Dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu robotów w rehabilitacji osób po udarach są bardzo obiecujące. Roboty umożliwiają również diagnozowanie pacjentów oraz obiektywną ocenę postępów rehabilitacji.

Jest znany i ugruntowany pogląd [13],[15],[24], że istnieje wciąż znaczący potencjał możliwości w stosowaniu robotów w przywracaniu sprawności osób niepełnosprawnych po przebytych udarach mózgu. Powstają coraz to nowe konstrukcje i systemy takich urządzeń inspirowane zdobytymi doświadczeniami klinicznymi oraz postępem mechatroniki i informatyki. Prace idą w dwóch głównych kierunkach:

- Zastosowania seryjnie produkowanych robotów przemysłowych wyposażonych w odpowiednie sensory i sterowanie (np. robot PUMA 560), głównie dla zdobycia doświadczeń
- Zastosowania robotów specjalnych, specjalnie do celów rehabilitacji opracowanych i wyposażonych, możliwych do instalacji również w warunkach domowych (np. robot: MIT MANUS)

Niniejsza praca ma charakter przeglądowy. Jej celem jest pokazanie w bardzo syntetyczny sposób stanu prac w tej dziedzinie i zwrócenie uwagi na możliwości zastosowania robotów do rehabilitacji osób po udarach mózgu w warunkach polskich. Przedstawiona na końcu niniejszego opracowania bibliografia zawiera publikacje związane merytorycznie z tytułem niniejszej pracy. Chodzi tu bardziej o aspekt techniczny (inżynierski) zagadnienia niż o jego aspekt medyczny (neurologiczny). Oba te aspekty jednak ściśle się ze sobą łączą.

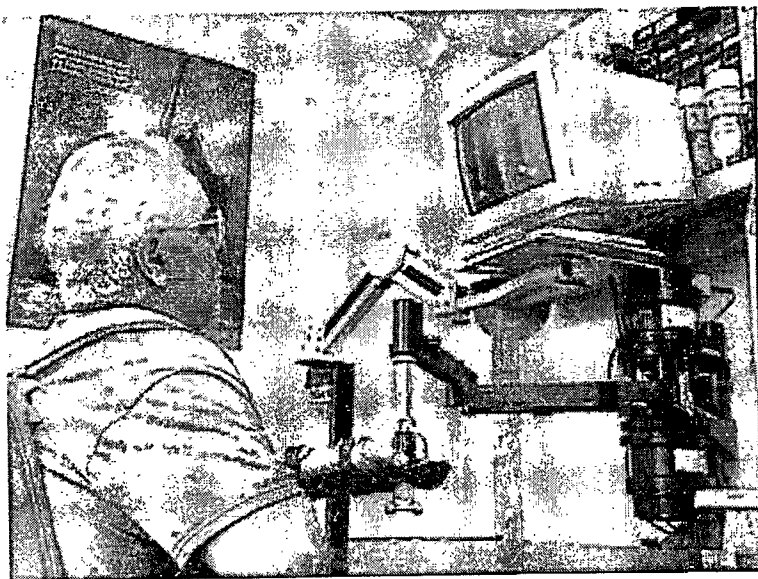
2. PRACE PROWADZONE W USA

Prace badawczo- rozwojowe dotyczące zastosowania robotów do usprawniania osób po udarach mózgu koncentrują się głównie w dużych i znanych ośrodkach akademickich takich jak MIT, Harvard University, Stanford University, University of California at Irvin oraz wielu innych. Instytucje te są wspierane przez Department of Veterans Affairs (VA) i inne instytucje rządowe U.S.A.

2.1. Robot MANUS

Udanym projektem zrealizowanym przez MIT, który doczekał się wersji komercyjnej jest robot MANUS. (Rys 1)

Robot MANUS opracowano specjalnie do zadań rehabilitacji neurologicznej. Robot ma budowę kinematyczną typu robota SCARA. Jego przestrzeń robocza umożliwia wykonywanie ćwiczeń w rehabilitacji neurologicznej kończyn górnych. Jest możliwa praca w trybie aktywnym bądź pasywnym. Robot jest wyposażony w odpowiednie układy sensoryczne umożliwiające pomiar przemieszczeń ramion oraz sił i momentów oddziaływujących poprzez interfejs mechaniczny robota na rękę pacjenta. W fazie pasywnej, w początkowej fazie rehabilitacji sterowanie robota umożliwia realizację zaprogramowanych trajektorii ruchów ręki pacjenta. Robot wówczas prowadzi rękę pacjenta po zaprogramowanej torze ruchu z odpowiednią prędkością przy zachowaniu (nie przekraczaniu) odpowiedniej siły oddziaływania między ręką a robotem. W fazie aktywnej ruch ramienia robota jest wymuszany ręką pacjenta. Robot wówczas „poddaje się” ruchom ręki stawiając przy tym odpowiednio nastawiony opór wiskotyczny. Wzorcowa trajektoria ruchu jest przedstawiana na monitorze komputerowym. Pacjent stara się wykonać ruch po zadanej trajektorii. Wynik działania może być oceniany przez specjalny program. Zarówno pacjent jak też nadzorujący pacjenta



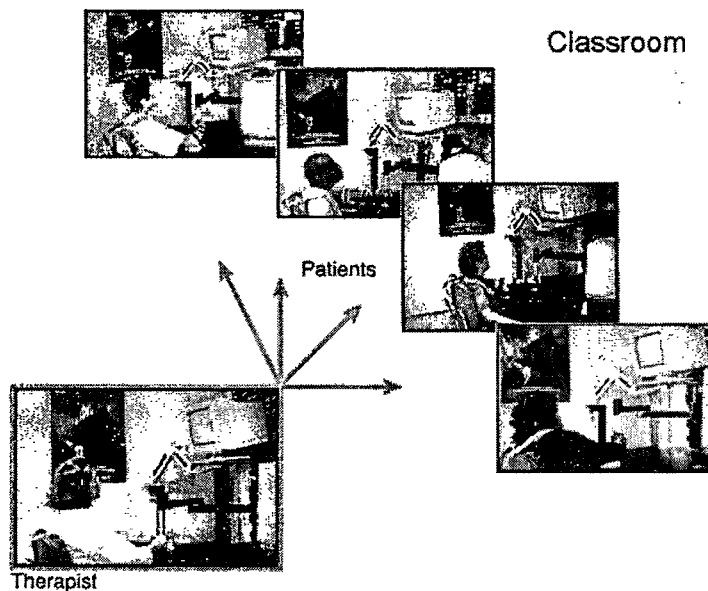
Rys 1. Rehabilitacja neurologiczna pacjenta przy użyciu robota MIT-MANUS [7]

rehabilitant może łatwo i obiektywnie ocenić postępy pacjenta i w razie potrzeby modyfikować przebieg ćwiczenia.

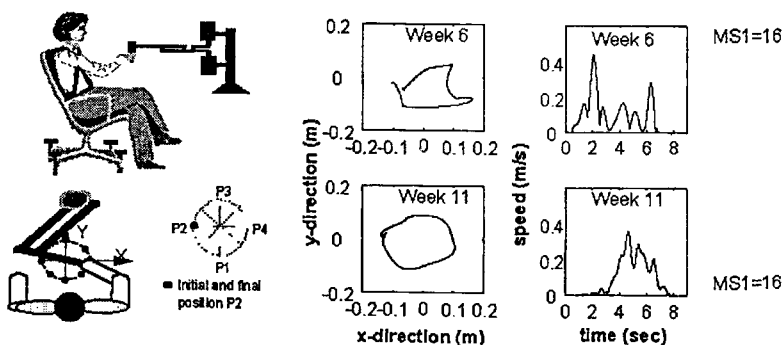
Robot MANUS jest od kilku lat z powodzeniem stosowany w szpitalach w Bostonie, White Plants oraz w Baltimore.

Podczas sesji rehabilitacyjnej prowadzący rehabilitację specjalista może nadzorować ćwiczenia kilku pacjentów równocześnie (Rys. 2), co stwarza to zupełnie nowe możliwości prowadzenia rehabilitacji.

Na Rys 3 zostało przedstawiono stanowisko rehabilitacyjne z robotem MANUS. Rysunek obok obrazuje postępy pacjentki w odtwarzaniu zadanego i widocznego dla niej na monitorze wzorca ruchu, w tym przypadku ruchu po poziomym okręgu w szóstym i jedenastym tygodniu rehabilitacji.



Rys 2. Praca kilku robotów MANUS nadzorowana przez jednego rehabilitanta [8].



Rys 3. Zastosowanie robota MANUS do rehabilitacji [8]

Czynnikiem motywującym pacjenta jest możliwość bieżącej oceny uzyskiwanych postępów rehabilitacji przez obserwację na ekranie monitora trajektorii ruchu wykonywanego usprawnianą ręką.

2.2 Robot PUMA

Prace nad zastosowaniem robota PUMA prowadzone przez Department of Functional Restoration, Stanford University koncentrują się na zastosowaniu robota przemysłowego PUMA 560 do prowadzenia procesu rehabilitacji. Robot PUMA 560 został w tym celu wyposażony w specjalny, oryginalny sześćoosiowy system sensoryczny umożliwiający precyzyjny pomiar sił i momentów oddziaływujących na rękę pacjenta.

W przeciwieństwie do robota MIT-MANUS który doczekał się wersji komercyjnej stanowisko z robotem Puma 560 jest stanowiskiem badawczym testowanym w jednym ze szpitali w Centrum Rehabilitacyjno Badawczym w Palo Alto w Kalifornii. Celem eksperymentu jest uzyskanie bogatego materiału statystycznego potwierdzającego tezę o wymiernych korzyściach wynikających ze stosowania robotów w rehabilitacji pacjentów po udarze mózgu.

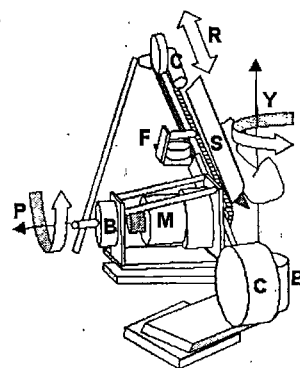
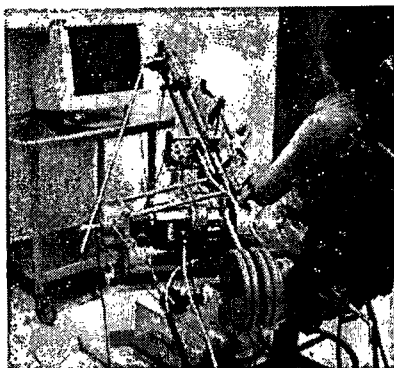


Rys 4. Robot PUMA 560 wyposażony w interfejs do rehabilitacji neurologicznej [11]

2.3. Inne roboty

Ciekawym i zupełnie odmiennym konstrukcyjnie od opisanych wyżej robotów jest urządzenie AMT Guide (Assisted Rehabilitation and Measurement Guide) przedstawiony na Rys 5.

Urządzenie to zostało opracowane wspólnie w Center for Biomedical Engineering, University of California at Irvine oraz Rehabilitation Institute of Chicago.



Rys 5. Stanowisko ARM Guide.[18]

Z lewej strony pokazano stanowisko rehabilitacyjne. Z prawej schemat konstrukcyjny urządzenia. S- prowadnica, M- silnik, B- hamulec, F sensor siły i momentu, C- przeciwwaga.

Urządzenie umożliwia wykonywanie ruchu w trzech stopniach swobody: Ruch w kierunku R jest wymuszany przez silnik. Oś Y umożliwia skręcanie zaś oś P pochylanie. Opory ruchów w tych osiach Y i P są nastawiane hamulcami B.

Urządzenie jest również wyposażone w system sterowania oraz bogaty program diagnostyczny umożliwiający ocenę postępów pacjenta podczas rehabilitacji.

W procesie rehabilitacji neurologicznej pacjentów po udarze coraz częściej wykorzystuje się internet, zwłaszcza do rehabilitacji pacjentów w domu. W tym celu budowane są proste i tanie roboty specjalnie do ćwiczeń ręki. Przykład takiego urządzenia przedstawiono na Rys 6.

Wykorzystano tu handlowy dżojstik w którym dokonano kilku istotnych adaptacji konstrukcyjnych. Proces rehabilitacji na formę zabawy. Pacjent realizuje ruchy wskazywane na ekranie monitora. Ograniczony zakres ruchu dżojstika nie pozwala jednak wykonywać ćwiczeń ramion.



Rys 6. Stanowisko do rehabilitacji ręki z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego siłowego [20]

3 PRACE PROWADZONE W EUROPIE

Prace są prowadzone głównie w Wielkiej Brytanii oraz w Szwecji na uniwersytecie w Lund.[4].

W ramach V Programu Ramowego Unii Europejskiej jest prowadzony projekt REHAROB [17].

Projekt ten rozpoczął się w styczniu 2000 roku. Jego realizację przewidziano na 36 miesięcy. W skład konsorcjum wchodzi badacze z Węgier, Wielkiej Brytanii i Belgii. Jednostką wdrażającą jest firma niemiecka. Koordynatorem projektu jest dr Gusztav Arz z University of Technology and Economics w Budapeszcie.

4. BIBLIOGRAFIA

- 1 Aisen, M.L. Krebs H.I., Hogan N., McDowell F., Volpe B.T.: *The effect of robotics assisted therapy and rehabilitative training on motor recovery following stroke.* Arch. Neurol. 54: 443-446 (1997).
- 2 Bohannon R.W. *Measurement and nature of muscle strength in patients with stroke.* J Neuro-Rehab 1997; 11; 115-125
- 3 Burgar Charles, Lum Peter S., Schor Peggy C., Van der Loos Machiel: *Development of robots for rehabilitation therapy. The Pao Alto VA/Stanford experience.* Journal of Rehabilitation research and Development Vol 37 No. 6 Nov/Dec 2000
- 4 Efring Hakan, Boschian Kerstin: *Technical results from Manus user trials.* CERTEC (Center for Rehabilitation Engineering Research), Lund University, Sweden, Department of Rehabilitation, Lund University Hospital, Sweden.
- 5 Hegarty J. *Rehabilitation robotics. The user's perspective.* Proc. 2nd Cambridge Workshop of Rehab. Robotics, Cambridge, U.K., Apr. 1991
- 6 Leidler P.: *Stroke Rehabilitation Structure and Strategy.* Published by arrangement with Chapman & Hall, London 1994.
Tłumaczenie na język polski: *Rehabilitacja po udarze mózgu*, PZWL, Warszawa
- 7 Krebs H. I., Volpe B.T. Aisen M.L. Hogan N.: *Increasing productivity and quality of care: Robot-aided neuro-rehabilitation.* Journal of Rehabilitation Research and Development Vol. 37 No 6, Nov/Dec 2000.
- 8 Krebs, H.I., Hogan, N. Aisen, M.L. Volpe, BT: *Robot aided neuro-rehabilitation,* IEEE Trans. on Rehab. Eng. 6; 1(1998), pp.75-87.
- 9 Krebs, H.I., Aisen, M. L., Volpe, B.T. Hogan, N. *Quantization of continuous arm motion in humans with brain injury.* Proceedings of the National Academy of Science 96. 1999, USA
- 10 Leifer I., Stepper S., Schaefer M., Van der Loos M.; VIPRR: *A Virtually In Person Rehabilitation Robot.* ICORR '97; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA. USA.
- 11 Lum Peter, Van der Loos M., Shor Peggy, Burgar Ch.: *A robotic system for upper-limb exercises to promote recovery of motor function following stroke.* Proceedings of ICORR '99; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA USA
- 12 Matsukoa Y., Miller L.C.: *Domestic rehabilitation and learning of task-specific movements.* ICORR '99; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA USA

- 13 MIT robots is promising tool for rehabilitation of stroke victims. MIT News 1998, USA
- 14 Napper S.A., Seaman R.L.: *Applications of robots in rehabilitation*. Robotics Autonom. Syst., vol. 5, pp.227-239, 1989
- 15 *New Techniques in Stroke Therapy*. Rehabilitation Technologies- Vol. 1, Issue 2-September, 1999
- 16 Pledge S., Barner K., Agraval S.: *Tremor suppression through force feedback*. ICORR '99; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA, USA
- 17 REHAROB project . IST-1999-13109. Supporting rehabilitation of disabled using industrial robots for upper limb motion therapy. Project focused on developing a robotic rehabilitation system for upper limb motion therapy for patients with neuro-motor impairments.
- 18 Reikensmayer David J., Kahn Leonard E., Avenbruch M., Mc Kenna-Cole A., Schmit B. D., Rymer Zev: *Understanding and treating movement impairment after chronic brain injury: Progress with the ARM Guide*. Journal of Rehabilitation Research and Development Vol. 37 No. 6. Nov/Dec 2000
- 19 Reikensmayer David, Painter Ch., Yang S., Abbey E., Kaino B.: *An Inernet-Based, Force-Feedback Rehabilitation System for Arm Moevement After Brain Injury*. Proceedings of Annual International Conference "Technology and Persons with Disabilities", 2000. Los Angeles, CA USA
- 20 Reinkensmeyer D. J., Schidt B., Rymer Zev.; *Can Robots Arm Movement Recovery After Chronic Brain Injury?. A Rationale for Their Use based on Experimentally Identified*
- 21 *Motor Impairments*. ICORR '99; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA. USA
- 22 Ryś Andrzej: *Pierwsze czytanie rządowego projektu o Państwowym Ratownictwie Medycznym* (druk nr 2806), 108 posiedzenie Sejmu 3 Kadencji, 2 dzień (09.05.2001)
- 23 Tejima N. : *Force limitation with automatic return mechanism for risk reduction of rehabilitation robots*. ICORR '99; International Conference on Rehabilitation Robotics, Stanford, CA. USA
- 24 Volpe B.T.: *Mechanisms of neurological degeneration; Clinical Mechanisms of Motor Recovery*. Proceedings of Yale University School of Medicine, 2000, USA
- 25 Volpe, B.T Krebs, H.I. Hogan, Edelstein L., Diels C., Aisen M.: *A novel approach to stroke rehabilitation. Robot Aided sensiomotor stimulation*. Neurology 54: 2000