

## Wspomagana rehabilitacja kończyny górnej u osób po udarze

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono techniczne możliwości wspomagania rehabilitacji kończyny górnej u osób po przebytych udarze mózgu. Przeanalizowano dostępne na rynku rozwiązania w zakresie robotów rehabilitacyjnych. Szczególną uwagę zwrócono na rehabilitację dystalnego odcinka kończyny górnej czyli ręki. Dostępne na rynku rozwiązania techniczne nie pozwalały do tej pory na skuteczne rozwiązanie problemu rehabilitacji ręki z nadmiernym skurczem mięśni. W artykule, do rehabilitacji osób z dużą spastycznością kończyny górnej, zaproponowano rozwiązanie technologiczne z wykorzystaniem elektrostymulacji.

**Abstract.** The article presents the technical possibilities of supporting the rehabilitation of the upper limb of people after a stroke. The solutions available on the market in the field of rehabilitation robots were analyzed. Particular attention was paid to the rehabilitation of the hand. Until now, the technical solutions available on the market have not allowed for an effective solution to the problem of hand rehabilitation with excessive muscle contraction. In the article, a technological solution using electrostimulation was proposed for the rehabilitation of people with high hand spasticity. (**Supported rehabilitation of the upper limb of people after a stroke**).

**Słowa kluczowe:** rehabilitacja poudarowa, tekstronika, udar, roboty rehabilitacyjne .  
**Keywords:** post-stroke rehabilitation, textronics, stroke, rehabilitation robots

### Wprowadzenie

Udar mózgu to zaburzenie neurologiczne, następujące w wyniku nagłego odcięcia dopływu krwi lub krwotoku do mózgu, najczęściej z powodu uszkodzenia naczyń krwionośnych, bądź zablokowania ich przez skrzep lub blaszki miażdżycowe. Obumieranie struktur mózgowych następuje jako konsekwencja niedostatecznego w takiej sytuacji dopływu krwi i składników odżywczych do mózgu. W Polsce każdego roku odnotowuje się około 60-70 tys. przypadków udaru mózgu. Oznacza to, że statystycznie co 8 minut pojawia się nowy pacjent. Prawie połowa przypadków kończy się zgonem. Pozostali pacjenci wymagają bardziej lub mniej skomplikowanej rehabilitacji. Celem wprowadzanej, jak najszybciej po udarze, rehabilitacji jest umożliwienie powrotu do „normalnego” funkcjonowania poprzez zwiększenie poziomu niezależności, co przekłada się na poprawę jakości codziennego życia.

W wyniku uszkodzenia struktur mózgowych dochodzi do różnego rodzaju zaburzeń neurologicznych, między innymi do zaburzeń mowy i niepełnosprawności ruchowej, a stopień dysfunkcji zależy od rozmiaru i lokalizacji uszkodzonych obszarów. Szybkie wprowadzenie intensywnej rehabilitacji może przyczynić się w znacznym stopniu do częściowego, a czasami nawet prawie całkowitego przywrócenia funkcji narządów ruchu i mowy. Proces ten jest jednak długotrwały, wyniki poprawy widoczne są na przestrzeni miesięcy lub lat. Oczywiście nie jesteśmy w stanie odwrócić uszkodzeń struktury mózgu, jednakże poprzez prawidłowo prowadzoną rehabilitację możemy się przyczynić do regeneracji neuronów anatomicznej i funkcjonalnej, dzięki neuroplastyczności i zdolności mózgu do regeneracji. Rehabilitacja ma na celu pomoc osobie, która przeszła udar, pozwolić jej na nowo nauczyć się umiejętności, które zostały nagle utracone w wyniku uszkodzenia części struktur mózgowych. Najnowsze badania wykorzystujące zaawansowane technologie obrazowania pokazują, że funkcje wcześniej zlokalizowane w obszarze uszkodzenia mogą zostać przejęte przez struktury znajdujące się w innych regionach mózgu (zjawisko to zwane jest neuroplastycznością). Przywrócenie funkcji mózgu opiera się na zdolności do tworzenia nowych połączeń oraz neurogenezy i tworzenia nowych neuronów

rozproszonych w funkcjonalnych sieciach neuronowych umiejscowionych w obszarach niedotkniętych udarem.

Kluczowym elementem każdej neurorehabilitacji jest starannie dobrana, powtarzalna praktyka. Jest to proces podobny do uczenia się nowej umiejętności, takiej jak chodzenie czy jazda na rowerze, w celu osiągnięcia której musimy podjąć wielokrotne próby. Program neurorehabilitacji musi być dostosowany i ukierunkowany do ćwiczeń tych konkretnych umiejętności, które zostały osłabione w wyniku udaru. Najczęściej jest to brak koordynacji, zaburzenia chwytu, manipulacji precyzyjnej, koordynacji ręki, problemy z chodzeniem, utrata czucia, problemy z mówieniem lub prawidłowym rozumieniem mowy. Powtarzalność i intensywność ćwiczeń wraz z dodatkową stymulacją znacząco może wspomóc proces przywracania funkcji ciała człowieka. Wykorzystując nowoczesną diagnostykę obrazową i algorytmy związane z analizą obrazów [1-5] możliwe jest szybkie podjęcie decyzji o zastosowaniu odpowiednio dobranej, celowanej na potrzeby pacjenta, terapii.

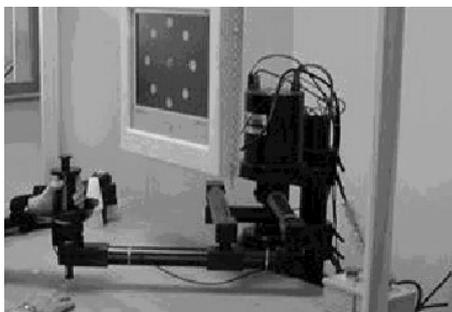
### Technika w rehabilitacji po udarze

Technologia rehabilitacji po udarze to jeden z najszybciej rozwijających się obszarów terapeutycznych. Coraz szersza wiedza pozwala na opracowanie nowych metod i urządzeń, a także na ulepszanie już istniejących. Do metod, których stosowanie łącznie przynosi najlepsze efekty należą:

- rehabilitacja ruchowa mająca za zadanie wielokrotne powtarzanie ćwiczeń rehabilitacyjnych,
- terapia ruchowa indukowana ograniczeniami,
- trening siłowy,
- trening aerobowy,
- nieinwazyjna przezczaszkowa stymulacja mózgu,
- komputerowy trening z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości,
- elektryczna stymulacja nerwowo-mięśniowa.

W wielu przypadkach do ćwiczeń rehabilitacyjnych wykorzystywane są roboty. Obserwuje się postęp w zakresie rehabilitacji wspomaganą robotami (RR) i terapii wspomaganą robotami (RT). Za pomocą RT można zmierzyć kilka parametrów takich jak spastyczność, odruchy, poziom dobrowolnej kontroli oraz ruchy

funkcjonalne, które zwykle nie są uwzględniane w konwencjonalnej terapii. Wykorzystując algorytmy zapewniające odpowiednie sterowanie robotów możliwe jest zapewnienie dużej intensywności powtarzalnego treningu ruchowego, leczenie zadaniowe i interaktywne. Dostępne jest także obiektywne monitorowanie postępów pacjenta, co nie jest bez znaczenia mając na myśli również wsparcie w obszarze zdrowia psychicznego. Terapia wspomagana robotem może również znacznie zmniejszyć intensywność pracy terapeuty, a co za tym idzie koszty związane z rehabilitacją [6].



Rys. 1 Robot MIT-MANUS używany do rehabilitacji kończyny górnej [8]



Rys. 2 Robot InMotion ARM używany do rehabilitacji kończyny górnej [9]

Rehabilitację wspomaganą robotami i urządzeniami mechanicznymi ze względu na przeznaczenie można podzielić na dwie grupy: wspomagające rehabilitację kończyny dolnej i kończyny górnej. W niniejszym artykule analizie poddano tylko możliwości terapeutyczne związane z rehabilitacją kończyny górnej. Ta grupa uznawana jest za najtrudniejszą w procesie rehabilitacji pacjentów po udarze.

Bezpośrednio po udarze dochodzi do spadku napięcia mięśniowego (efekt ten znany jest jako porażenie wiotkie mięśni - plegia). Następnie w wyniku uszkodzenia górnego neuronu ruchowego powodującego mimowolną, przerywaną lub stałą aktywację mięśni dochodzi do drugiego etapu jakim jest trwały skurcz kończyny (spastyczność) [7]. Charakterystycznymi objawami spastyczności jest duże napięcie mięśni wraz z nienaturalnym ułożeniem kończyny górnej względem ciała. Chorzy obserwują u siebie trudności w trzymaniu przedmiotów, manipulacji, a nawet całkowity brak możliwości wykonania ruchu. Objaw ten u większości chorych rozwija się najczęściej po 3 miesiącach od wystąpienia udaru, choć u niektórych pacjentów może być zauważony wcześniej. Im szybciej zostanie zastosowana terapia i rehabilitacja, tym większe są szanse na zminimalizowanie skutków wystąpienia udaru. Przy leczeniu spastyczności poudarowej ważnymi czynnikami są: terapia

zajęciowa, dobrze dobrana farmakoterapia, dieta wspomagająca redukcję nadmiernego napięcia mięśni oraz systematyczna rehabilitacja, w tym z wykorzystaniem ortez. Celem stosowanego leczenia farmakologicznego jest zmniejszenie dolegliwości bólowych i stanów spastycznych. Stosuje się głównie leki przeciwbólowe i przeciwzapalne z grupy NLPZ (niesterydowe leki przeciwzapalne) takie jak ibuprofen, naproksen czy diklofenak. U niektórych chorych stosowane są leki redukujące spastyczność np. Baclofen. W szczególnych przypadkach podawana jest kolagenaza – enzym rozpuszczający włókna kolagenu, który jest składnikiem m.in. ścięgien. Jednakże celem rehabilitacji jest przywrócenie pełnej funkcjonalności kończyny i głównym postępowaniem są metody fizyczne. Odpowiedni dobór zajęć fizykalnych oraz ćwiczeń ma duże znaczenie w procesie powrotu do sprawności. Kończyna górna pacjenta po udarze mózgu, choć jest niesprawna, jest także bardzo wrażliwa na ruch. Nieodpowiednio dobrane ćwiczenie, czy też próby pokonania spastyki na siłę mogą przyczynić się do nadmiernego forsowania ręki i skończyć się dodatkowym skurczem mięśni. W rehabilitacji osób ze spastycznością po udarze liczy się cierpliwość.

W tabeli 1 podano najczęściej spotykane w literaturze rozwiązania w zakresie wspomaganie robotami rehabilitacji kończyny górnej.



Rys. 3. Terapia z wykorzystaniem robota REHAROB [10].

### Rehabilitacja TipStim w terapii poudarowej

Wszystkie zaprezentowane w tabeli 1 rozwiązania dotyczą robotów o dużych wymiarach geometrycznych, których użytkowanie w warunkach domowych jest praktycznie niemożliwe. Dotyczą również rehabilitacji całej kończyny górnej. Wśród dostępnych metod rehabilitacji spastyczności można znaleźć także rozwiązania wykorzystujące elektrostymulację. Na uwagę zasługuje urządzenie zaproponowane przez naukowców z Instytutu Neuroinformatyki Uniwersytetu w Bochum. Wykorzystanie stymulacji czuciowej (repetitive sensory stimulation – rSS) pozwala na wykorzystanie zjawiska neuroplastyczności mózgu, warunkującego procesy uczenia się i rehabilitacji. Właściwie dobrane parametry stymulacji receptorów czuciowych indukują i ułatwiają procesy reorganizacji połączeń neuronalnych w obrębie kory czuciowej i prowadzą do poprawy zachowań sensomotorycznych.

Przedstawione urządzenie może być wykorzystywane w warunkach domowych, jednakże nie może być zastosowane we wszystkich przypadkach. Jednym z ograniczeń urządzenia jest możliwość założenia rękawiczki na rękę osoby z dużą spastycznością. Aby umożliwić skorzystanie z takiego rozwiązania również osobom z dużymi ograniczeniami ruchowymi, autorzy artykułu zaproponowali dostosowanie rękawiczki poprzez wymianę

istniejących elektrod zintegrowanych z rękawiczką na elektrody zewnętrzne wytworzone na bazie plastra opatrunkowego, na którym naniesiono cienką warstwę srebra w procesie fizycznego osadzania próżniowego [19]. Wykorzystanie zaproponowanego rozwiązania pozwala na umieszczenie elastycznych elektrod na opuszkach palców, nawet u pacjentów o wyjątkowo mocno zaciśniętych

dłoniach. Elektrody tekstroniczne można stosować na początku rehabilitacji, by w dalszym etapie, już po uzyskaniu częściowego rozluźnienia mięśni, można było powrócić do wykorzystania oryginalnego rozwiązania niemieckich naukowców.

Tab. 1. Rozwiązania robotyczne wykorzystywane w rehabilitacji kończyny górnej po udarze

Ramię i łokieć					
Nazwa	Cechy	Wielkości sterujące	Siłowniki	Liczba stopni swobody	Ref.
MIT-MANUS	Pierwszy robot opracowany specjalnie dla klinicznych zastosowań neurologicznych. Posiada pasywne, aktywne i interaktywne tryby treningu. Największą wadą jest to, że może wykonywać ruchy dwuwymiarowe tylko w terapii stawu ramiennego i łokciowego w płaszczyźnie poziomej.	położenie poszczególnych złączy, moment obrotowy silników	Bezsztuczki silniki prądu stałego	2	[8,11]
InMotion ARM	Komercyjna wersja MIT-MANUS (praca w płaszczyźnie + kompensacja grawitacji)	położenie poszczególnych złączy, prędkość i moment obrotowy silników	Bezsztuczki silniki prądu stałego	3	[11, 12]
ARM Guide	Robot, który pomaga w poruszaniu kończyną górną po prostej trajektorii. Wyposażony w stacjonarny system oparty na efektorach końcowych, choć często występujący w doniesieniach literaturowych, ma obecnie tylko historyczne znaczenie.	położenie przedramienia, moment obrotowy silników	Silniki prądu stałego, hamulce magnetyczne	3	[13]
REHAROB	Ten system terapeutyczny jest oficjalnie pierwszym systemem robotycznym zbudowanym z dwóch robotów przemysłowych. Największą wadą jest możliwość jedynie pasywnego treningu fizjoterapeutycznego stawu ramiennego i łokciowego.	momenty złączy końcowych	używane roboty ABB IRB 140 and IRB 1400H	12	[10, 14]
Przedramię i nadgarstek					
ARMin II	Robot łączący w sobie system haptyczny z wyświetlaczem audiowizualnym. Jest przykładem koncepcji półegzoszkieletu do poruszania ramieniem, łokciem, przedramieniem i nadgarstkiem	pozycja, siła, moment obrotowy		7	[15]
MIME (Mirror Image Movement Enabler system)	MIME może w pełni kontrolować zarówno pozycję, jak i kierunek ruchu przedramienia, umożliwiając osobom o różnym stopniu upośledzenia ćwiczenie programów szkoleniowych o równym stopniu komplikacji. Robot nie ma możliwości prowadzenia wstecznego.	pozycja przedramienia, orientacja, moment obrotowy	Serwomechanizmy prądu stałego	6	[16]
NeReBot	Używa drutu do podparcia przedramienia. Popularność zyskał dzięki bezpiecznej konstrukcji mechanicznej, dużej przenośności oraz niskim kosztom.	położenie silników	Silniki prądu stałego	5	[17]
HapticMASTER	Możliwość ćwiczeń w środowisku wirtualnym z informacją zwrotną dotyczącą wydajności. Wyróżnikiem jest moc wyjściowa sterowana sprzężeniem zwrotnym od czujników oporu, co skutkuje dużą sztywnością złączy w połączeniu z dużą wrażliwością na siłę.	czujniki siły i położenia, wymagające interakcję z człowiekiem	Silniki szczotkowe prądu stałego	3	[18]

## Wnioski

Rehabilitacja wprowadzana zaraz po udarze pomaga na nowo nauczyć się umiejętności, które są tracone, gdy część mózgu ulegnie uszkodzeniu. Jest ważnym aspektem życia związanym z procesem powrotu pacjenta do zdrowia po udarze. Uczy osoby, którym dane było przetrwać ten incydent, nowych sposobów wykonywania codziennych zadań w celu obejścia lub zrekompensowania powstałych niepełnosprawności. W życiu codziennym posługiwanie się

sprawną kończyną górną jest kluczowe w wykonywaniu podstawowych czynności związanych z aktywnościami życiowymi. Wskazane jest zatem aby proces rehabilitacji mógł trwać nieprzerwanie, nawet w przypadku ograniczonego dostępu do służby zdrowia jaką obserwujemy w przypadku pandemii SARS-CoV2. Możliwość wykorzystania rękawiczki Tip-Stim do stymulacji ruchowej ręki w warunkach domowych, bez konieczności stałego nadzoru ze strony osób wysokokwalifikowanych w

obszarze rehabilitacji zapewnia chorym możliwość stałej pracy nad przywróceniem choć częściowym do własnych fizycznych możliwości ruchowych ręki. Wykorzystanie zaproponowanego rozwiązania w postaci tektonicznych elektrod, pozwala korzystać z dostępnego rozwiązania nawet osobom z poważną spastycznością, dla których założenie rękawiczki stanowi duże wyzwanie. Proces obsługi zaproponowanego rozwiązania nie powinien stanowić problemu dla osób z najbliższego otoczenia chorego, pomagających w podstawowych aktywnościach życiowych pacjentów.

#### Podziękowania

Badania wspierane były z projektu POWR.02.15.00-00-4008/19.

**Autorzy:** dr inż. Artur Szczesny, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, Politechnika Łódzka ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: artur.szczesny@p.lodz.pl; dr inż. Rafał Zawislak Instytut Automatyki, Politechnika Łódzka ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: rafal.zawislak@p.lodz.pl; prof. dr hab. inż. Andrzej Krawczyk, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji, Wydział Transportu i Informatyki, ul. Projektowa 4, Lublin email: ankra.new@gmail.com, dr inż. Jacek Stańdo, prof. uczelni, Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki Politechnika Łódzka, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź email: jacek.stando@p.lodz.pl, lek. Elżbieta Wyszynska, Wojskowy Instytut Medyczny, ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa, email: ella.wysz@gmail.com, dr Józef Mróz Wojskowy Instytut Medyczny, ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa, email: jmroz@wim.mil.pl, mgr Krzysztof Politowski Medap Sp. z o.o. ul. Narutowicza 42, 90-142 Łódź, email: krzysztofpolitowski4@gmail.com

#### LITERATURA

- [1] Wosiak, A.; Glinka, K.; Zakrzewska, D. Multi-label classification methods for improving comorbidities identification, *COMPUTERS IN BIOLOGY AND MEDICINE* 2018, 100, , 279-288
- [2] Smolka, K., Firyeh-Nowacka A., Lefik M. Three-dimensional computer models of electrospinning systems, *Open Physics* 2017, 15, (1) 777-789
- [3] Sekulska-Nalewajko J., Goclawski J., Korzeniewska E. A Method for the Assessment of Textile Pilling Tendency Using Optical Coherence Tomography Sensors 2020 20 (11) Article Number: 3687
- [4] Klosowski, G., Rymarczyk, T., Cieplak, T., Niderla, K. Skowron, L. Quality Assessment of the Neural Algorithms on the Example of EIT-UST Hybrid Tomography, *Sensors*, 20 (11) Article Number: 3324
- [5] Pawlowski, Stanislaw ; Plewako, Jolanta ; Korzeniewska, E. Field Modeling the Impact of Cracks on the Electroconductivity of Thin-Film Textronic Structures, *Electronics*, 2020, 9 (3) Article Number: 402
- [6] Hallett, M., Recent Advances in Stroke Rehabilitation. *Neurorehabilitation & Neural Repair*, 2002. 16 (2) 211-217
- [7] Kornet M., Głowacka-Mrotek I., Nowacka K., Hagner W.: Techniki leczenia kończyn górnych dla osób po udarze. *Journal of Education, Health and Sport*. 2017; 7 (4): 234-25
- [8] Hidler J., Nichols D., Pelliccio M., Brady K.; *Advances in the Understanding and Treatment of Stroke Impairment Using Robotic Devices 2005 Topics in Stroke Rehabilitation* 12(2):22-35 doi: 10.1310/RYT5-62N4-CTVX-8JTE
- [9] <https://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm-hand> [dostęp 21.11.2020]
- [10] Toth A., Fazekas G., Arz G., Jurak M., Horvath M.: Passive robotic movement therapy of the spastic hemiparetic arm with REHAROB: report of the first clinical test and the follow-up system improvement, 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005., Chicago, IL, 2005, pp. 127-130, doi: 10.1109/ICORR.2005.1501067.
- [11] Duret C., Grosmaire A.-G., Krebs H.I.: Robot-Assisted Therapy in Upper Extremity Hemiparesis: Overview of an Evidence-Based Approach, *Frontiers in Neurology* 2019; 10: 412. doi: 10.3389/fneur.
- [12] Chaparro-Rico B., Cafolla D., Ceccarelli M., Castillo-Castaneda E.: Experimental Characterization of NURSE, a Device for Arm Motion Guidance *J Healthc Eng*. 2018; 2018: 9303282. doi: 10.1155/2018/9303282
- [13] Zhang K., Chen X., Liu F., Tang H., Wang J., Wen W.: System Framework of Robotics in Upper Limb Rehabilitation on Poststroke Motor Recovery Behavioural Neurology. 2018: 6737056. doi: 10.1155/2018/6737056
- [14] Peter O., Tavaszi I., Toth A., Fazekas G.: Exercising daily living activities in robot-mediated therapy, *Journal of Physical Therapy Science* 2017, 854-858. doi: 10.1589/jpts.29.854
- [15] Mihelj M., Nef T., Riener R., ARMin II - 7 DoF rehabilitation robot: mechanics and kinematics, *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Roma, 2007, pp. 4120-4125, doi: 10.1109/ROBOT.2007.364112.
- [16] Lum P.S., Burgar C. G., Van der Loos M., Shor P.C., Majmundar M., YapR.: MIME robotic device for upper-limb neurorehabilitation in subacute stroke subjects: A follow-up study, *The Journal of Rehabilitation Research and Development* 2006 43 (5) 631-42 DOI: 10.1682/JRRD.2005.02.0044
- [17] Rosati G., Gallina P., Masiero S., Rossi A.: Design of a new 5 d.o.f. wire-based robot for rehabilitation, 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005., Chicago, IL, 2005, pp. 430-433, doi: 10.1109/ICORR.2005.1501135.
- [18] Singh J., Srinivasan A.R., Neumann G., Kucukyilmaz A, Haptic-Guided Teleoperation of a 7-DoF Collaborative Robot Arm With an Identical Twin Master, February 2020 IEEE Transactions on Haptics PP(99):1-1 DOI: 10.1109/TOH.2020.2971485
- [19] Korzeniewska E., Krawczyk, A., Mroz J.; Wyszynska E., Zawislak R , Applications of Smart Textiles in Post-Stroke Rehabilitation, *Sensors* 2020 20 (8) Article Number: 2370