

GŁOWIŃSKI Sebastian

EGZOSZKIELET JAKO URZĄDZENIE WSPOMAGAJĄCE LECZENIE SPASTYCZNOŚCI

Streszczenie

Spastyczność jest poważnym zaburzeniem ruchowym objawiającym się wzmożonym napięciem mięśniowym lub sztywnością mięśni. Artykuł wprowadza w tematykę związaną ze zjawiskiem wzrostu napięcia mięśniowego występującym szczególnie u osób po udarach. Scharakteryzowano przyczyny, skalę spastyczności, metody rehabilitacji i podano przykłady egzoszkieleatów wykorzystywane w procesie rehabilitacji. Opracowano model matematyczny i komputerowy oraz przeprowadzono symulację testu Wartenberga wraz z doбором właściwych współczynników sztywności i tłumienia.

WSTĘP

Spastyczność jest jednym z objawów deficytów ruchowych w uszkodzeniach górnego neuronu ruchowego. Obserwuje się ją u chorych po udarach lub urazach mózgu, w stwardnieniu rozsianym (SM), u dzieci z porażeniem mózgowym. Jest spotykana również w przypadku guzów i urazów rdzenia kręgowego. Spastyczność prowadzi do dysfunkcji ruchowej pacjenta w postaci niedowładów i przykurczów. Charakteryzuje ją wzrost napięcia mięśniowego w zajętej kończynie, narastający i nagle ustępujący podczas jej biernego rozciągania. Opór w spastyczności narasta proporcjonalnie do amplitudy i szybkości ruchu. Ze względu na ujemny wpływ na pacjenta konieczne jest podejmowanie działań terapeutycznych, które zmierzają do zmniejszenia lub eliminacji spastyczności.

1. SPASTYCZNOŚĆ

1.1. Charakterystyka

Problemy z prawidłową motoryką kończyn górnych dotyczą upośledzenia układu nerwowego lub niewłaściwego działania układu mięśniowo-szkieletowego. W przypadku uszkodzenia centralnego układu nerwowego pojawia się stan kliniczny nazywany spastycznością. Definicję spastyczności można określić według Lance'a jako [15]: Wzrost napięcia mięśniowego w zajętej kończynie, narastający nagle i ustępujący podczas jej biernego rozciągania. Opór narasta proporcjonalnie do amplitudy i szybkości ruchu. Podczas ruchu pojawia się tzw. "objaw scyzorykowy" (clasp-knife phenomenon) polegający na narastaniu oporu do pewnego momentu, po którym napięcie maleje.

Spastyczność u dorosłych może być spowodowana udarem lub guzem mózgu, niejednokrotnie jako skutek stwardnienia rozsianego lub mechanicznego uszkodzenia rdzenia kręgowego. W przypadku dzieci jest wynikiem mózgowego porażenia dziecięcego powstałego w okresie przed lub okołoporodowym. Zjawisko to można scharakteryzować jako brak reakcji mięśni na chęć wykonania ruchu. Prowadzi to do napięcia mięśni oraz do

zesztywnienia oraz braku możliwości wykonania przemieszczenia. Niejednokrotnie podczas przykurczu pacjent nie może samodzielnie wyprostować kończyny, jednak przy pomocy fizjoterapeuty jest w stanie tego dokonać. Bardzo często z upływem czasu następuje utrwalenie przykurczu i chory nie może nawet kończyną poruszać. Bardzo duża ilość energii jest wykorzystywana na prężenie mięśni, przez co powoduje wyniszczenie organizmu, przez co pacjent nie może wykonywać innych podstawowych czynności. Osoby chorujące na spastyczność mają problemy z połykaniem, żołądek nie jest w stanie przetrawić większej ilości pokarmu. Dlatego też niektórzy pacjenci są odżywiani za pomocą sondy. Utrudnia to ich normalne funkcjonowanie i praktycznie wyłącza z życia codziennego.

Wyróżnia się dwa rodzaje spastyczności mięśni: podstawową i reaktywną. Podstawowa spastyczność często występuje u osób po zawale serca lub zapaleniu otrzewnej i objawia się zwykle po ok. trzech tygodniach od uszkodzenia ośrodkowego układu nerwowego. Drugi rodzaj spastyczności jest wynikiem działania bodźców zewnętrznych. Ten rodzaj spastyczności można usunąć za pomocą leczenia rehabilitacyjnego.

Obecnie stosuje się dwa rodzaje leczenia - pompy baklofenowe oraz zastrzyki z botuliny. Podawanie środków farmakologicznych powoduje rozluźnienie, jednak ubocznym skutkiem jest otumanienie pacjenta i wyniszczenie przewodu pokarmowego.

Podstawą do walki ze spastycznością powinna być rehabilitacja, która w większości przypadków daje znakomite rezultaty, pozwalając pacjentom po udarze wrócić do normalnego życia. Jest to zdecydowanie najtańszy i zdrowszy sposób rozwiązania problemu. Im wcześniej pacjent rozpocznie proces rehabilitacji tym większe szanse są na powrót do normalnej egzystencji. Jednak możliwości rehabilitacyjne, liczba łóżek i obciążenie ośrodków – oddziałów rehabilitacyjnych nie umożliwiają wszystkim pacjentom szybkiego dostępu do zabiegów.

Do najczęściej popełnianych błędów podczas rehabilitacji należy m.in. zalecenie ściskania np. gumowej piłeczki [5]. Chwył jest bezużyteczny jeśli nie można otworzyć dłoni w celu odłożenia przedmiotu, natomiast ściskanie pobudza i umacnia pierwotny odruch chwytny. Prowadzi to do powstania dłoni szponiastej i w efekcie zwiększa spastyczność całej kończyny. Następnym błędem jest bierne lub forsowne rozciąganie-ściskanie mięśni spastycznych. Każdy ruch w przypadku mięśni spastycznych powoduje skurcz. Forsowne rozciąganie może prowadzić do zerwania włókien mięśniowych. Niecelowe jest również badanie siły mięśniowej, która jest jedną ze składowych ruchu. Takie działanie uniemożliwia pacjentowi powrót do zdrowia. Pacjent ze spastycznością powinien unikać korzystania z podciągów i poręczy. W literaturze podaje się, że prawidłowa pozycja siedząca zapobiega spastyczności. Jest to skuteczne, jednak w niezbyt długim okresie czasu, ponieważ wyzwalane są ukryte wzorce ruchowe. Pozycja siedząca z nogami zgiętymi w stawie biodrowym i kolanowym oraz stopami spoczywającymi na podłodze w zgięciu grzbietowym utrwała pozycję zgięciową i dodatni odruch podparcia. Praktycznie uniemożliwia to w przyszłości chodzenie. Długotrwałe opieranie nóg na podnóżku oraz ułożenia rąk i nóg wywołuje pełny, utrwalony wyprost. Bardzo ważnym elementem podczas ćwiczeń jest odpoczynek, mający znaczenie usprawniające i służący do regeneracji sił. Bardzo ważnym czynnikiem w rehabilitacji jest nakreślenie realnych celów w zależności od stopnia zaawansowania choroby, jednak rehabilitacja powinna rozpoczynać się już od początku hospitalizacji i powinna obejmować fizjoterapię, terapię zajęciową, mowy, neuropsychoterapię oraz odpowiednią opiekę pielęgnacyjną.

1.2. Ocena stanu spastyczności

Do określenia poziomu spastyczności wykorzystuje się wiele testów, fizjoterapeuta określa dominacje dodatnie lub ujemne objawów spastyczności [10]. Na początku wykorzystywano skalę Ashwortha, która została w 1986 roku zmodyfikowana przez Bohannon'a i Smith'a przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Skala Ashwortha i zmodyfikowana skala Ashwortha [2]

Skala Ashworth	Zmodyfikowana skala Ashworth	Charakterystyka
0	0	Brak podwyższonego napięcia
1	1	Nieznacznie zwiększone napięcie mięśniowe wyczuwalne w trakcie poruszania kończyną w zgięciu lub wyproście
	1+	Nieznaczny wzrost napięcia mięśniowego objawiający się oporem i uwolnieniem oraz występujący w drugiej połowie ruchu w stawie
2	2	Zwiększone napięcie mięśniowe. Ruch kończyn odbywa się w sposób łatwy
3	3	Znacznie zwiększone napięcie mięśniowe, ruch bierny ograniczony
4	4	Kończyna usztywniona w zgięciu lub wyproście

Mięśnie ze spastycznością charakteryzują się znacznie mniejszą siłą w porównaniu z mięśniami bez spastyczności. Według przeprowadzonych badań wartość tej siły wynosi od 23 ÷ 94% w porównaniu z mięśniami zdrowymi. Jest ona uzależniona od stanu zaawansowania choroby [11]. Do oceny i zróżnicowania napięć mięśniowych kończyn dolnych wykorzystuje się testy Duncana-Elyego, Thomasa oraz test Silverskiolda. Pomiar zakresu ruchu w stawach przeprowadza się natomiast na podstawie badań goniometrycznych. W przypadku chorych z niedowładem połowicznym od 50 lat wykorzystuje się skalę Brunnström [1].

2. URZĄDZENIA REHABILITACYJNE

2.1. Kończyna górna

W ostatnich latach do rehabilitacji kończyn górnych z powodzeniem wykorzystywane są roboty. Rozwój komputerów umożliwia zastosowanie odpowiednich zaimplementowanych do robotów programów leczenia w zależności od postępu choroby. Jednym z pierwszych manipulatorów opracowanych na początku lat 90-tych było zaawansowane urządzenie do ćwiczeń przegubu ręki - Therapy Robot MIT-Manus (Rys.1). Był on z powodzeniem wykorzystywany w USA do rehabilitacji dzieci i dorosłych i ponad 800 pacjentów w USA skorzystało już z możliwości rehabilitacji przy jego wykorzystaniu. Do ćwiczeń zastosowano specjalny program wirtualny. MIT-Manus posiada trzy stopnie swobody (dwa aktywne i jeden pasywny). Urządzenie umożliwiało pacjentom wykonywanie ruchu ręką z prędkością do 2 m/s oraz kompensowało ciężar ręki pacjenta, umożliwiając pełny ruch. Miało to szczególne znaczenia dla pacjentów z osłabionymi mięśniami.

**Rys.1.** Therapy Robot MIT-Manus [4,7]

Innym skutecznym manipulatorem jest opracowany w Szwajcarii wspólnie ze specjalistami z Uniwersytetu Medycznego Balgrist w Zurychu w latach 2003-2006 egzoszkielec ARMin I. Pierwsze modele posiadały cztery stopnie swobody (3 - staw barkowy i 1 – staw łokciowy). Egzoszkielec mógł pracować w trzech trybach: pasywnym, aktywnym i aktywnym z zaprogramowanymi czynnościami dnia codziennego (ADL – Activities of Daily Living). W manipulatorze ARMin II zastosowano dwa dodatkowe stopnie swobody pozwalające na skręcanie przedramienia i zginanie-prostowanie nadgarstka. Zmodernizowany

ARMin III również pracuje w trzech trybach. Pierwszy dotyczy kalibracji, czyli ramię porusza się po zamodelowanej trajektorii. Drugi tryb jest związany z treningiem, natomiast trzeci tryb jest związany z rehabilitacją czynności dnia codziennego. Pacjent jest zaangażowany w proces rehabilitacji ponieważ otrzymuje uczestniczy w specjalnych grach komputerowych mających za zadanie np. przesunięcie ręki do określonej pozycji w celu złapania wirtualnej piłki. Jeśli pacjent ze względu na chorobę nie jest w stanie tego dokonać manipulator automatycznie „pomaga” przesunąć rękę do właściwej pozycji w stosunku proporcjonalnym do niedowład ręki. Ciekawym rozwiązaniem są gry związane z ADL. Pacjent ma możliwość wirtualnego nalewania płynu do kubka, smażenia ziemniaków, mycia rąk, wycierania stołu, dodawania soli, pieprzu do potraw itp. Ma to na celu zachęcenie do dalszych ćwiczeń a jednocześnie odtworzenie motoryki kończyny górnej co ma istotne znaczenie w życiu późniejszym pacjenta. Zaobserwowano, że wielokrotne powtarzanie czynności stymuluje pracę układu nerwowego i pacjent osiąga lepsze wyniki. Podczas treningu automatycznie zbierane są dane dotyczące zakresu ruchu pacjenta, maksymalnych kątów poszczególnych stawów, prędkości przemieszczania, siły mięśni i precyzji ruchów. Umożliwia to późniejszą analizę i dobranie odpowiedniego zestawu ćwiczeń w zależności od uzyskanych wyników. W latach 2009-2010 przeprowadzono testy na 80 pacjentach po udarze mózgu. Pacjentów podzielono na dwie grupy, treningi przy wykorzystaniu ARMin III przeprowadzono 3 razy w tygodniu po 1 godzinie (Rys. 2). Zaobserwowano poprawę w porównaniu do rehabilitacji wykonywanej bez udziału manipulatorów. Pacjenci wyrażali większą chęć ćwiczeń, ponieważ zauważali efekty ćwiczeń i bardzo pozytywnie ocenili proces rehabilitacji.



Rys. 2. Egzoszkielet do rehabilitacji kończyny górnej ARMin III [7,16]

2.2. Kończyna dolna

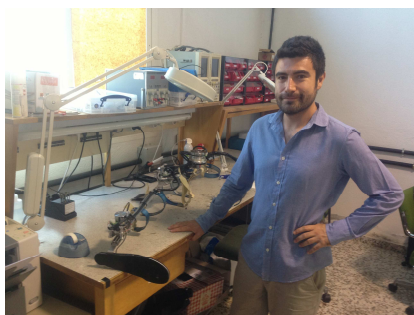
Manipulatory do nauki chodu stają się nieodzowną częścią nowoczesnej terapii osób ze spastycznością i wspomagają pracę fizjoterapeuty. Jednym z takich urządzeń jest Lokomat szwajcarskiej firmy Hocoma AG, Volketswil. Pozwala on pacjentowi na poruszanie się kompensując jednocześnie masę ciała co jest istotne dla osób mających problem z utrzymaniem pionowej postawy (Rys. 3). Urządzenie pozwala na adaptację do różnych wymiarów pacjenta. Np. długość egzoszkieletu kości udowej pacjenta może wynosić 35 ÷ 47 cm. Jest ona regulowana za pomocą teleskopów. Nowa wersja urządzenia jest przystosowana do zastosowań w pediatrii dla dzieci o wzroście 1 ÷ 1,5 m.



Rys.3. Urządzenie Lokomat dla osób z uszkodzonym rdzeniem kręgowym [17]

Zastosowane silniki w urządzeniu umożliwiają osiągnięcie max wartości momentu o wartości 120 Nm dla stawu kolanowego i 200 Nm dla stawu biodrowego, co w zupełności pozwala na poruszanie się pacjenta. Warto w tym momencie wspomnieć o zastosowaniu rozwiązań w urządzeniu Lokomat mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa pacjenta. Są to rozwiązania mechaniczne i elektroniczne. W przypadku awarii np. systemu pacjent jest sprowadzany do pozycji gwarantującej stabilną postawę. Urządzenie umożliwia automatyczny pomiar spastyczności mięśni na podstawie czujników podczas różnych prędkości ruchu pacjenta. W urządzeniu wykorzystywany jest ekran, więc pacjent ma wrażenie że porusza się w wirtualnym środowisku (np. ścieżka w lesie). Przeprowadzone doświadczenia również wskazały że jest to istotne w procesie rehabilitacji.

Ciekawe urządzenie (aktualnie w fazie testów) jest opracowywane w GBIO CSIC (Group Bioengineering Consejo Superior de Investigaciones Cientificas) Spanish Research Council. Jest to egzozkielet kończyn dolnych mający na celu wspomaganie procesu chodu pacjentów z uszkodzonym rdzeniem kręgowym. Główny nacisk jest położony na współpracę systemu nerwowego z urządzeniem rehabilitacyjnym poprzez odczyt sygnałów EMG i ich analizę do predykcji ruchu i wytworzenia właściwego momentu silników w odpowiedniej chwili czasu podczas fazy chodu. Egzozkielet posiada trzy stopnie swobody na każdą kończynę, natomiast w przypadku kolana opracowano system zbliżony do naturalnego, czyli podczas zginania kolana egzozkielet porusza się po trajektorii porównywalnej ze stawem kolanowym. Jednak podczas testów wystąpiły pewne komplikacje i w dalszej części badań kolano będzie rozpatrywane jako ruch w jednej osi.

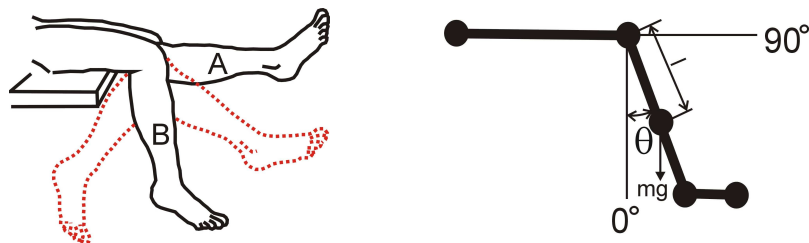


Rys.4. Egzozkielet kończyny prawej dolnej [18]

3. MODELOWANIE KOŃCZYNY SPASTYCZNEJ

Identyfikacja spastycznych mięśni jest złożonym zadaniem, gdyż wiele mięśni może zaburzać ruchomość stawu, a nie wszystkie mięśnie potencjalnie powodujące deformację są spastyczne [8]. Modelowanie kończyny spastycznej można wykonać na podstawie stawu kolanowego w pozycji siedzącej pacjenta. Jest to tzw. test wahadła Wartenberga [13]. Test ten jest przydatny szczególnie w przypadku paraplegii i pozwala na ilościową i jakościową ocenę

ruchu w stawie kolanowym i bardzo często jest łączony z zapisem EMG. W najnowszej metodzie wykonywania testu wahadła wykorzystuje się kamery wideo z optoelektrycznymi przetwornikami i analizuje cyfrowo w zależności od czasu funkcji zmiany kąta, mierzonego pomiędzy udem a osią podudzia pacjenta. Kończyna jest puszczana swobodnie (położenie A) i zachowuje się podobnie jak wahadło (Rys.5). W przypadku kończyny zdrowej, osiąga ona stan równowagi po pewnej chwili w kącie 0° (położenie B), natomiast w przypadku kończyny spastycznej pojawia się wzmożone napięcie mięśniowe. Model oparty jest na II Prawie Newtona, że $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$. W odniesieniu do przeprowadzanego testu przemieszczenie odbywa się po łuku, gdzie osią jest staw kolanowy. Przyspieszenie kątowe α jest drugą pochodną kąta θ . Moment względem osi obrotu uwzględnia siły bezwładnościowe, grawitacyjne i zewnętrzne. Przy uwzględnieniu ruchu obrotowego równanie można zapisać jako $\Sigma \mathbf{M} = \mathbf{I}\alpha$. Ten model uwzględnia parametry związane z tłumieniem ($\mathbf{M}d$) i sztywnością ($\mathbf{M}r$). Moment bezwładności \mathbf{I} oparto na danych antropometrycznych [3]. Moment związany z siłą grawitacyjną jest określony jako $(\mathbf{M}g) = mgl \sin \theta$, gdzie \mathbf{g} jest wektorem przyspieszenia ziemskiego, m masą dolnej części kończyny dolnej. Położenie środka ciężkości od stawu kolanowego l oparto również na pomiarach antropometrycznych.



Rys. 5. Test Wartenberga i model mechaniczny kończyny dolnej

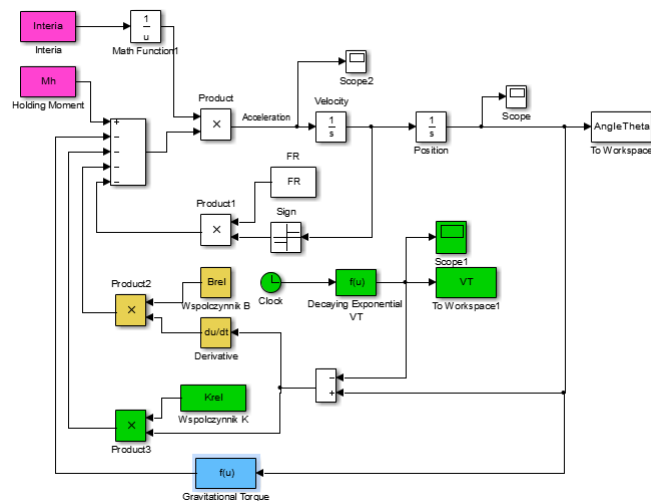
Równanie charakteryzujące model kończyny dolnej dla osoby zdrowej w ogólnej postaci można zapisać jako

$$I\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + K\theta = mgl \sin \theta \quad (1)$$

gdzie:

- I - macierz bezwładności kończyny;
- m - masa kończyny [kg];
- l - położenie środka ciężkości kończyny [m];
- g - wektor przyspieszenia ziemskiego [m/s^2];
- $\ddot{\theta}$ - wektor przyspieszenia [m/s^2];
- B - macierz tłumienia;
- K - macierz sztywności;
- $\dot{\theta}$ - wektor prędkości [rad/s];

Model komputerowy został opracowany przy wykorzystaniu pakietu MATLAB-Simulink (Rys.6). Dane antropometryczne wprowadzono na podstawie [14].



Rys. 6. Model komputerowy testu Wartenberga

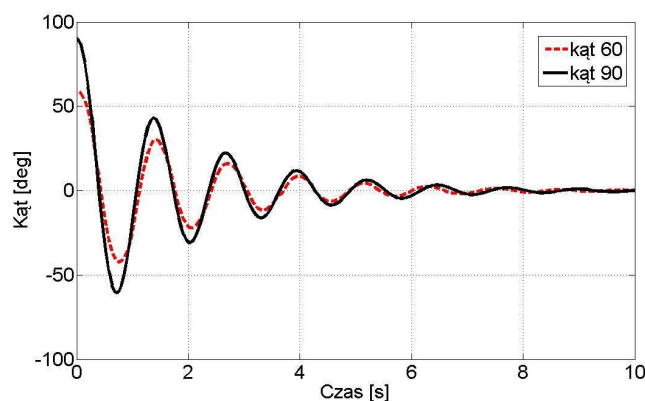
Dobór parametrów podczas wykonywania testu Wartenberga osoby spastycznej powinien być dokonywany kilkakrotnie na podstawie sygnału EMG podczas badania zgodnie z [6]. Zmiana współczynnika sztywności i tłumienia umożliwia uzyskanie poprawnej charakterystyki odzwierciedlającej zachowanie spastycznej kończyny. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane wyniki badań rzeczywistych są uzależnione od wielu czynników jak np. czas trwania schorzenia, wielkość spastyczności itp. W tym celu należy wprowadzić do równania (1) dodatkowy składnik θ_o , charakteryzujący mięsień jako układ sprężysty, posiadający zróżnicowaną charakterystykę w zależności od kąta zgięcia kończyny.

$$I\ddot{\theta} + B(\dot{\theta} - \dot{\theta}_o) + K(\theta - \theta_o) = mgl \sin \theta \quad (2)$$

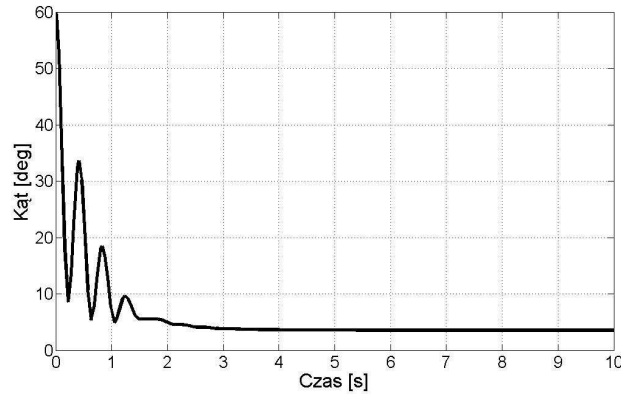
Inne rozwiązanie wprowadzone w 2004 roku przez Simona i Foulds'a [9] polega na wykorzystaniu równania opisującego funkcję expotencjalną $\theta_o = Ae^{-(st)}$, gdzie A jest początkowym kątem symulacji, s składową zanikającą.

4. WYNIKI SYMULACJI

Wyniki symulacji kończyny zdrowej osoby przedstawiono na rysunku 7. Czas symulacji ustawiono na 10 s. Parametry wyjściowe to kąt $\theta=90^\circ$ oraz 60° . Dla modelu ze spastycznością kąt wyjściowy to 60° (Rys. 8).



Rys. 7. Wynik testu Wartenberga dla osoby zdrowej



Rys. 8. Wynik testu Wartenberga dla osoby ze spastycznością

Przeprowadzona symulacja wskazała na możliwość modelowania stanu spastyczności. Uzyskane wyniki są zbliżone do danych rzeczywistych przedstawionych w [12], wskazując na poprawny dobór parametrów modelu. Następny etap badań będzie polegał na weryfikacji modelu i adaptacji parametrów wyjściowych do stanu rzeczywistego. Niezbędny wydaje się odczyt sygnałów EMG podczas badania w celu określenia momentu zwiększenia wartości współczynnika sztywności co ma wpływ na charakterystykę wyjściową układu.

WNIOSKI

Właściwy proces leczenia spastyczności wymaga poznania przyczyn i powinien być poprzedzony dokładnym badaniem. Na tej podstawie można określić model matematyczny oraz dobrać proces leczenia i rehabilitacji indywidualnie do potrzeb każdego pacjenta z uwzględnieniem wszystkich aspektów jego funkcjonowania i objawów towarzyszących. We współczesnym świecie niezbędne wydaje się wykorzystanie do procesu rehabilitacji manipulatorów. Doskonale sprawdzają się w tym przypadku egzoszkielety. Trudności z dostępem dla osób chorych do placówek rehabilitacyjnych wynikające z niedoboru personelu mogą zachęcać do wprowadzania egzoszkieletów na wyposażenie gabinetów lekarskich. Zaimplementowany w egzoszkielecie program zachęca pacjenta do ćwiczeń, dając jednocześnie lekarzowi zbiór informacji dotyczących zakresu ruchu, szybkości i siły pacjenta. Zebrane dane umożliwiają ocenę postępów rehabilitacji. O ile w krajach zachodniej Europy wprowadzane są tego typu urządzenia, o tyle w Polsce brak jest gotowych rozwiązań w celu polepszenia funkcjonowania pacjentów po udarach.

BIBLIOGRAFIA

1. Brunnström S.: *Motor Testing Procedures in Hemiplegia*, J. Am. Phys. Ther. Assoc., Vol. 46, pp. 357-375, 1966.
2. Cuccurullo S.J.: *Physical Medicine and Rehabilitation Board Review*, Demos Medical Publishing, New York, 2004.
3. Davies D.V., Davies F.: *Gray's Anatomy*, 33 ed. Green & Co Ltd., 1962.
4. Dietz V., Nef T., Rymer W.Z.: *Nerorehabilitation Technology*, Springer Verlag, London 2012.
5. Lauder S.: *Rehabilitacja po udarze mózgu*, Wydawnictwo Lekarskie, 2006.
6. Lin D, Rymer W.Z.: *A quantitative analysis of pendular motion of the lower leg in spastic human subjects*. IEEE, Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 38(9): pp. 906-918, 1991.

7. Lo A., Guarino P., i in.: *Robot-Assisted Therapy for Long-Term Upper-Limb Impairment After Stroke*, The New England Journal of Medicine, Vol. 362, pp. 1772-1783, 2010.
8. Olchowik B., Sobaniec W., i in.: *Aspekty kliniczne zwalczania spastyczności*, Praca pogładowa, Neurologia Dziecięca, Vol. 18, pp. 47-57, 2009.
9. Simon D., Foulds R.: *Developing a Quantitive Measure of Muscle Spasticity*, New Jersey Institute of Technology, 2004.
10. Sławek J.: *Spastyczność od Patofizjologii do Leczenia*, Via Medica, Gdańsk, 2007.
11. Smania N., Picelli A., i in.: *Rehabilitation Procedures in the Management of Spasticity*, Eur. J. Phys. Rehabil. Med., Vol. 46, pp. 423-238, 2010.
12. Swift K.: *Inverse Dynamic Modeling for Characterization of Spasticity*, NJ Institute of Technology, 2007.
13. Syczewska M. Lebieadowska M.K, i in.: *Quantifying Repeatability of the Wartenberg Pendulum Test Parameters in Children With Spasticity*, J. Neurosci Methods, Vol. 178, pp. 340-344, 2009.
14. Winter D.A.: *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Canada, Willey, 2009.
15. Wood D.E., Burridge J.H, i in.: *Biomechanical Approaches Applied to the Lower and Upper Limb for the Measurement of Spasticity: A Systematic Review of the Literature*, Disability and Rehabilitation, 2005, nr 27.
16. <http://cabrr.cua.edu/devicegallery.cfm> (31.08.2013).
17. <http://www.hocoma.com> (02.09.2013).
18. Zdjęcie autora podczas pobytu stażowo-szkoleniowego w GBIO CSIC 09/2013.

EXOSKELETON AS A MEDICAL DEVICE IN SUPPORTING THE SPASTICITY REHABILITAION PROCESS

Abstract

Paper discussed the the phenomenon of increased muscle tone in people with stroke. The cause, the spasticity scales and rehabilitation methods were presented. The exoskeleton in rehabilitation therapy for peoples after stroke were described. A mathematical and computer model was prepared and implemented for the pendulum knee Wartenberg test by using Matlab-Simulink package.

Autor:

dr inż. **Sebastian Głowiński** – Politechnika Koszalińska, Zakład Mechatroniki i Mechaniki Stosowanej, sebastian.glowinski@tu.koszalin.pl