

Magdalena SKOWROŃSKA, Joanna SADOWSKA, Magdalena KROMKA-SZYDEK,
Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska

PROTEZY BIOMECHANICZNE RĘKI - PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH ROZWIĄZAŃ

Streszczenie. Protezy kończyn górnych stanowią bardzo skomplikowany problem z uwagi na złożoność, różnorodność i precyzję wykonywanych rękami czynności. Konstrukcja sztucznej ręki i system jej sterowania muszą umożliwić chwytanie dowolnego przedmiotu z dużą dokładnością, dynamiką i odpowiednią siłą. Zastosowanie protezy lub innych aparatów ortopedycznych wiąże się z rozpoznaniem możliwości i potrzeb każdego pacjenta. Dlatego też współczesna protetyka staje się połączeniem elektroniki, informatyki oraz nauki o biomateriałach mając na celu podporządkowanie pracy urządzeń bezpośrednio woli człowieka.

1. WSTĘP

Utrata ręki to nie tylko pozbawienie ważnego ośrodka informacji z otoczenia, czynnika chwytanego, rozpoznawczego i czuciowego, ale również przyczyna szoku psychicznego połączonego z depresją oraz dramatu bólu fantomowego. Statystyki podają, że najczęściej przyczyną utraty ręki są, oprócz wad wrodzonych (8,9%): wypadki komunikacyjne, wypadki w rolnictwie, odmrożenia, eksplozje, oparzenia, porażenia prądem elektrycznym (łącznie 77%), schorzenia na tle naczyniowym lub nowotworowym (8,2%), a nawet niektóre choroby tropikalne i trąd (5,8%). [6]

Amputacja stanowi najbardziej radykalny sposób leczenia, jednak dzięki rozwojowi współczesnej nauki i techniki w medycynie nie musi już oznaczać wyroku kalectwa. Nowoczesne protezy mają za zadanie, w najbardziej dogodny dla pacjenta sposób, pomagać w przezwyciężaniu ograniczeń wynikających z utraty kończyny.

Dla osoby po amputacji korzystny jest pobyt na oddziale rehabilitacyjnym oraz dodatkowa opieka psychologiczna. Dzięki pomocy rehabilitantów pacjent, po otrzymaniu protezy, nie tylko wraca do sprawności fizycznej i psychicznej ale przede wszystkim uczy się poruszania i posługiwania protezą. Ważne jest także dostosowanie elementów protezy: ustawienie wysokości, dopasowanie leja protezy czy pasów podtrzymujących, bo tylko wtedy można uzyskać niezbędny komfort użytkowania.

Przy projektowaniu i wytwarzaniu protez wykorzystuje się zasady sterowania ruchem układu mięśniowego, polegające na współdziałaniu mechanizmów fizjologicznych z mechanizmami protez i ich układem sterującym. Zastosowanie protezy lub innych urządzeń ortopedycznych związane jest z indywidualnymi możliwościami i potrzebami ruchowymi pacjenta. Proteza-ręka musi być łatwo sterowalna przy małym zużyciu energii. Nie może także emitować nadmiernego hałasu. Budowa sztucznej ręki i jej organizacja muszą umożliwić chwytanie dowolnego przedmiotu z dużą dokładnością, dynamiką i odpowiednią siłą, w sposób zsynchronizowany przez niezależny ruch palców i kciuka.

Już od czasów prehistorycznych próbowano zastępować brakującą część ciała mechanicznym przyrządem. Pierwsza proteza nogi (która przetrwała do naszych czasów)

pochodząca z ok. 300 rok p.n.e., była wykonana z drewna, skóry, brązu i żelaza. Z 1400 roku pochodzi ręka Ruppina. Wykonana jest z żelaza, ma sztywny kciuk ustawiony w opozycji i zginające się palce, które poruszają się parami. Palce te można było zginać biernie i blokować w żądanym położeniu za pomocą specjalnego mechanizmu. Ręka była także wyposażona w staw nadgarstkowy. Bardzo sławny i często opisywany jest przypadek niemieckiego rycerza Goetza von Berlichingen, któremu w roku 1509 odstrzelono rękę. Skonstruowana została dla niego ręka z żelaza, której palce można było biernie zginać i blokować w żądanym ustawieniu. [1]

Konstrukcja protez kończyn dolnych w ciągu wieków ulegała niewielkim zmianom, dopiero po I i II wojnie światowej, dzięki zastosowaniu nowoczesnych stopów i tworzyw sztucznych protezy stały się lekkie, higieniczne, łatwe w użyciu i bardzo funkcjonalne. Z uwagi na złożoność, różnorodność i precyzję wykonywanych rękami czynności protezy kończyn górnych stanowią znacznie bardziej skomplikowany problem. Od dawnej protezy stanowiącej właściwie wypełnienie pustego rękawa, technika w służbie medycyny doszła, w XX wieku, do pomysłowych i precyzyjnych konstrukcji umożliwiających wykonywanie różnych czynności, jak pisanie, malowanie czy obsługa telefonu. W 1955, w Londynie została skonstruowana proteza ręki wyposażona w źródło energii i sterowana potencjałami bioelektrycznymi. [2]

Dzięki stałemu postępowi w protetyce, osoby z kończynami zastąpionymi protezami mogą już pełnoprawnie funkcjonować w społeczeństwie, prowadząc normalne, aktywne życie obejmujące bieganie i uprawianie sportów oraz kierowanie samochodem.

2. PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH ROZWIĄZAŃ PROTEZ

Nowoczesne biomechaniczne protezy ręki, których funkcjonowanie opiera się o wykorzystanie głównie elektroniki, mają za zadanie odtworzyć lub jak najlepiej naśladować sposób poruszania i pobierania informacji z otoczenia możliwy dla każdego człowieka. Ludzka ręka jest kontrolowana dzięki nerwowym rozkazom kierowanym z centralnego do peryferyjnego systemu nerwowego. Równocześnie przenoszone są informacje dotyczące pozycji palców, siły uścisku czy ślizgania się przedmiotów, przekazywane z naturalnych sensorów do centralnego systemu nerwowego poprzez pobudzanie dośrodkowych peryferyjnych nerwów. [2]

W ludzkim mózgu zachodzą procesy elektrochemiczne, które odzwierciedlają impulsy elektryczne o amplitudzie ściśle związanej z wykonywanymi zadaniami. Kontrolując i odpowiednio modulując fale mózgowe, które następnie odczytywane są przez czujnik przekładający te sygnały na polecenia dla protezy, człowiek jest w stanie sterować ruchami protezy za pomocą myśli.

I-LIMB. Spektakularnym sukcesem ostatnich lat było zamontowanie Jessy'emu Sullivanowi, pozbawionemu obydwu rąk, sztucznych kończyn, które umożliwiły mu poruszanie przegubem i przedramieniem, zginanie w łokciu, chwytanie dłonią, i co najważniejsze – umożliwiły czucie. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu schematu połączeń neuronowych, przypominającego system stworzony przez naturę. Zasada działania polega, podobnie jak dla innych tego typu urządzeń, na odczytywaniu sygnału elektrycznego z mięśnia zachowanej części kończyny. Każdy palec jest jednak zasilany osobnym silnikiem. Dzięki temu oraz dzięki wyposażeniu palców w specjalne czujniki, siła uchwytu jest dostosowywana dla każdego palca niezależnie.

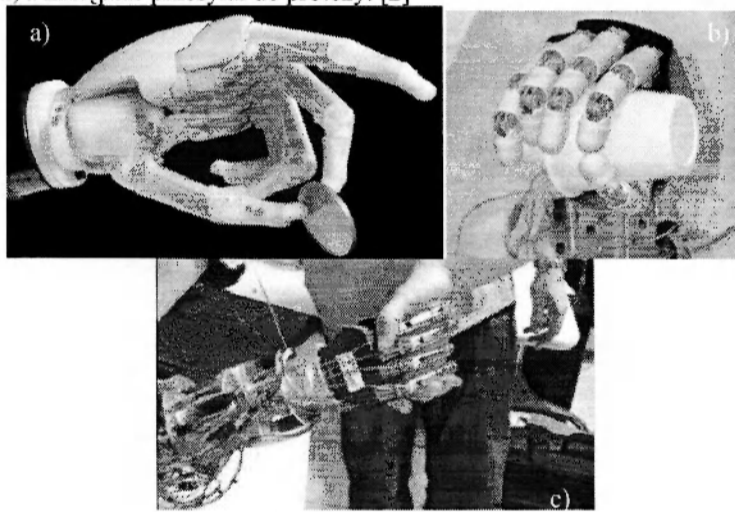
Największa trudność w działaniu bionicznej protezy dotyczy poprawnego zinterpretowania otrzymanych sygnałów, a w konsekwencji tego, w jakim kierunku ma się obrócić silnik, jak szybko obrócić kończyną i jak mocno zacisnąć dłoń. Obecnie trwają prace nad sporządzeniem pełnej mapy ruchów ramienia i ręki, aby przetwornik mógł dokładnie określić, jaki chwyt

dłonią zamierza wykonać pacjent. Najważniejsze przy instalowaniu tej protezy jest odpowiednie założenie nakładki odpowiedzialnej za odbieranie impulsów z mięśni. Nakładka z czujnikami odbiera sygnał z mięśni kikutu i przekazuje polecenia do urządzenia. [2,3]

Cybernetyczna ręka. Cyberhand stanowi kolejny krok do stworzenia inteligentnej protezy, która wierniej niż dotychczasowe modele odtworzy ruchy ręki człowieka. Nowością w cyfrowej ręce jest sprzężenie zwrotne – będzie można odczuwać kształt, fakturę i twardość dotykanych protezą przedmiotów. Konstrukcja wykorzystuje do tego celu system czujników, który pobudza określone ośrodki nerwowe. [2]

Cyborg I. Jest to eksperyment profesora z Uniwersytetu Reading, który wszczepił sobie pod skórę ukryty w specjalnej kapsułce elektroniczny mikroczip. Implant wysyłał sygnały, które sprawiały, że gdy naukowiec nadchodził, automatycznie otwierały się przed nim drzwi, włączało się oświetlenie i witał go jego komputer. Czyp ten wysyłał identyfikator do różnych urządzeń i układów sterujących, które po otrzymaniu takiego sygnału miały realizować wcześniej przypisane zadania. Korzystając z tej technologii, osoba niepełnosprawna nie musiałaby wykonywać wielu drobnych rzeczy, które mogą stanowić dla niej problem.

W kolejnym etapie eksperymentów w ciele profesora umieszczony został czip, który wysyłał sygnały z układu nerwowego naukowca do komputera, a także odbierał napływające informacje zwrotne. Wszczepiony w układ nerwowy lewego przedramienia czip wyposażony był w 100 elektrod. Za ich pomocą kontrolował elektroniczny wózek inwalidzki. Wykorzystując ten czip, możliwe stało się również sterowanie „inteligentną protezą”. Kiedy profesor wykonywał ruch ręką w dół, implant był w stanie odebrać sygnał z układu nerwowego i przekazać go mechanizmowi sterującemu, który tę informację odpowiednio interpretował, a następnie przesyłał do protezy. [2]



Rys.1. Protezy: a) I-Limb, b) Cyberhand, c) Smarthand [7,8]

Smarthand. Przełomem stało się skonstruowanie przez włoskich i szwedzkich naukowców pierwszej bioprotezy ręki pozwalającej odczuć dotyk. Proteza posiada 4 silniki, które sterują ruchem kciuka i palców. Wprowadzenie 40 czujników aktywujących się pod wpływem nacisku na przedmiot oraz podłączenie silniczków z nerwami ręki spowodowało, że pacjenci mogą odczuwać trzymane przedmioty. Projekt zrealizował dwa z trzech zamierzonych celów: konstrukcję protezy, która odpowiadałaby na wysyłane przez mózg sygnały oraz łączność w drugą stronę. Następnym etapem jest wszczepianie podobnych czujników na stałe. [4]

Proteza firmy BeBionic. Korporacja brytyjska zaprezentowała kolejny projekt sztucznej dłoni dający osobom pozbawionym kończyny górnej nadzieję na aktywne życie. Działanie

protezy kontrolowane jest przez impulsy elektryczne pochodzące z ludzkiego mózgu. Możliwości sprawnościowe protezy są podobne do możliwości ludzkiej dłoni. Warto podkreślić, iż zasięg ruchów protezy podlega indywidualnej konfiguracji, a zastosowanie silikonowej skóry sprawia, że połączenie z ciałem pacjenta będzie niemal niewidoczne. [5]

3. PODSUMOWANIE

Współczesna protetyka, zmuszana do pokonywania kolejnych zadań stawianych przez medycynę, staje się rozległym połączeniem informatyki, elektroniki i nauki o biomateriałach.

Rozwój protez bionicznych, mających wspierać osoby z niepełnosprawnością i działających w połączeniu z ich tkanką nerwową, jest coraz szybszy, ale zastępowanie części ciała urządzeniami, które naśladują ich naturalne funkcjonowanie, jest wciąż na etapie początkowym.

Protezy bioniczne oparte na elektronice to skomplikowane urządzenia. Im więcej mają mechanizmów, tym są cięższe i droższe (cena najprostszycz zaczyna się od kilkudziesięciu tysięcy dolarów), a koszty zwiększa dodatkowo serwis. Kolejnym nie rozwiązany problemem są zmieniające się wymiary i właściwości organizmu właściciela protezy.

Zwolennicy biomechanicznych protez uważają jednak, że dzisiejsze problemy, głównie takie jak koszt i niezawodność, będą zniknęły wraz z rosnącym zapotrzebowaniem i rozpoczęciem masowej produkcji. Oczywiście do skonstruowania protezy, która całkowicie przejęłaby funkcje prawdziwej ręki, jest jeszcze daleko ale na pewno bliżej, niż do powstania technologii wytwarzania biologicznych kończyn.

LITERATURA

- [1] Przeździak B., Nyka W.: Zastosowanie kliniczne protez, ortoz i środków pomocniczych. Gdańsk: Via Medica, 2008.
- [2] Tadeusiewicz R.: Inżynieria Biomedyczna. Księga współczesnej wiedzy tajemnej w wersji przystępnej i przyjemnej. Kraków: UWNT AGH, 2008.
- [3] www.niepelnosprawni.pl
- [4] www.ipon.pl/news/czytaj_news.php?id=1181
- [5] www.freehands.eu/view/sztuczna-reka-niczym-terminator-5,10183
- [6] biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2003_Groups/Hand_Prosthetics/stats.htm
- [7] <http://www.procpblog.com/student-fitted-with-bionic-hand>
- [8] <http://www-arts.sssup.it/Cyberhand/introduction/biomechand.htm>

BIOMECHANICAL HAND PROSTHESIS- A REVIEW OF EXCITING SOLUTIONS

Summary. Upper limb prosthesis constitutes a very complicated problem because of the complexity, variety and precision of activities done with hands. The artificial hand construction and its control system have to enable the patient to grasp an object with accurate precision, dynamics and the relevant strength. The implementation of the prosthesis or other orthopedic apparatuses involves the recognition of a patient's capabilities and needs. Modern prosthodontics involves Electronics, Information Technology and Biomaterial Science in order to make prosthesis work according to man's will.