

Konstrukcja egzoszkieletu wspomagającego rehabilitację ręki

Design of hand rehabilitation exoskeleton

PAWEŁ BUDZISZEWSKI *

Materiały z XX SKWPPWiE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.109

W artykule opisano prowadzone w CIOP-PIB prace na rzecz stworzenia mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji palców, wykorzystującego rzeczywistość wirtualną i gry komputerowe. Dotychczas opracowano system wspomagania rehabilitacji kończyn górnych z wykorzystaniem gier komputerowych i rzeczywistości wirtualnej, a także system mechatroniczny typu egzoszkielec, poszerzający możliwości poprzedniego systemu wspomagania rehabilitacji o wykonywanie ruchów czynnych w stawie promieniowo-nadgarstkowym i w stawach palców.

SŁOWA KLUCZOWE: egzoszkielec, rehabilitacja, robot

The article describes works conducted in the CIOP-PIB aimed at creating a robotic system for hand rehabilitation using computer games and virtual reality. In the context of previous work the upper limbs rehabilitation system was developed, using computer games and virtual reality. In the present study it was developed the robotic exoskeleton-like system expanding capabilities of the system developed in the previous work by the ability to perform active movements in the wrist and finger joints.

KEYWORDS: exoskeleton, rehabilitation, robot

Przywrócenie sprawności manualnej ręki jest jednym z kluczowych zagadnień rehabilitacji, ważnym zarówno z punktu widzenia życia codziennego, jak też pracy zawodowej. Na ten aspekt kładziony jest więc szczególny nacisk podczas procesu rehabilitacji. W obrębie ręki może dochodzić do zmian chorobowych oraz licznych urazów, kontuzji bądź przeciążeń wywołanych przekroczeniem ruchomości zakresu fizjologicznego. Wymaga to leczenia zachowawczego lub operacyjnego, a także usprawniającej rehabilitacji.

W artykule opisano prowadzone w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym (CIOP-PIB) prace mające na celu stworzenie systemu mechatronicznego typu egzoszkielec do wspomagania rehabilitacji palców. System stanowi uzupełnienie opracowanego w ramach poprzednich prac systemu wspomagania rehabilitacji wykorzystującego rzeczywistość wirtualną i gry komputerowe [1, 2]. Wstępne założenia egzoszkieletu zostały opisane w publikacji [3], w artykule zaś scharakteryzowano konstrukcję urządzenia.

Założenia konstrukcyjne

Po przeanalizowaniu opisanych w literaturze rozwiązań technicznych egzoszkielec ręki podjęto decyzję, że mechatroniczny system wspomagania rehabilitacji będzie umożliwiał ruch każdego z palców w 1 stopniu swobody. Mechanizm dla każdego z palców ma formę układu szeregowego złożonego z jednego członu (ramienia) zamocowanego na jednym końcu do siłownika obrotowego, na drugim – do opaski założonej na jeden z członów palca. Opaska może być zamocowana na dowolnym członie, w zależności od wymagań terapeutycznych. Zaproponowana konstrukcja jest zbliżona

do rozwiązania zaprezentowanego w [4], jednak znacznie uproszczona, co powinno mieć korzystny wpływ na wymiary i masę urządzenia oraz jego cenę.

Przesunięcie opaski pomiędzy członami musi się wiązać ze zmianą długości i kształtu ramienia. Wykonanie ramienia mechanizmu metodą druku 3D jest na tyle proste i niedrogi, że podjęto decyzję iż ramię będzie stanowiło pojedynczy człon, a dostosowanie systemu do ustawienia opaski czy długości palców pacjenta wykonywane będzie poprzez wymianę ramienia.

Do wykonywania ruchów biernych rehabilitowanej kończyny wykorzystane zostały serwomechanizmy modelarskie oparte na silnikach elektrycznych. Po przeanalizowaniu dostępnych na rynku serwomechanizmów zdecydowano się na wybór dwóch alternatywnych urządzeń: Emax ES08MAII oraz Sanwa ERS-971. Emax ES08MAII jest to serwomechanizm typu mini i może generować maksymalny moment siły wynoszący 2,0 kg·cm (0,2 Nm). Charakteryzuje się najkorzystniejszym stosunkiem momentu siły do wymiarów – większość mini serwomechanizmów generuje moment poniżej 1 kg·cm, a mocniejsze serwomechanizmy są zazwyczaj sporo większe. Jest też stosunkowo lekki (12 g), co predysponuje go do wykorzystania w egzoszkielecie ręki. Jeżeli generowany przez ten serwomechanizm moment okaże się zbyt mały, wykorzystany może zostać serwomechanizm Sanwa ERS-971 generujący moment 9,2 kg·cm (0,9 Nm). Jest to serwomechanizm typu niskoprofilowego. Jest też sporo cięższy, waży 44,5 g. Mechatroniczny system wspomagania rehabilitacji wykonany został w taki sposób, aby możliwe było stosowanie obu opisanych typów serwomechanizmów.

Konstrukcja egzoszkieletu

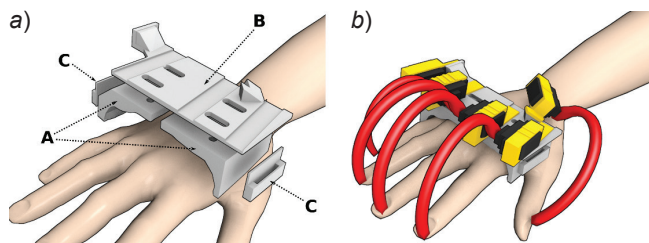
Kluczową sprawą podczas projektowania jest odpowiednie rozmieszczenie serwomechanizmów oraz dobór kształtu i długości ramion mechanizmu. W tym celu opracowano komputerowy model ręki człowieka wraz z systemem wirtualnych kości umożliwiających zginanie palców. Pod względem wymiarów jak też możliwości ruchu model odpowiada ręce mężczyzny mieszczącemu się w 50. centylu (na podstawie [5]). Przyjęto, że będzie to bazowy model na podstawie którego powstanie system wspomagania rehabilitacji, konstrukcyjnie jednak będzie możliwość dopasowania egzoszkieletu również do rąk o innych wymiarach. Model oraz projekt egzoszkieletu wykonano w programie Blender.

Aby system umożliwiał ruch palca podczas wykonywania ćwiczeń rehabilitacyjnych, konieczne jest dobranie kształtu ramienia oraz odpowiednie ustawienie jego osi obrotu dla każdego z palców. Dla każdego z palców wykonano następujące czynności:

- wyznaczono skrajne położenia palca (maksymalny wyprost i maksymalne zgięcie) oraz trajektorię ruchu palca,
- ustawiono oś obrotu ramienia tak, żeby jego koniec podążał za ostatnim paliczkiem,
- dobrano kształt ramienia tak, żeby nie kolidował on z poszczególnymi segmentami palca.

* Mgr inż. Paweł Budziszewski (pabud@ciop.pl) – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Następnie ustawiono serwomechanizmy tak, aby osie obrotu ich elementów wykonawczych pokrywały się z osiami obrotu ramion. W celu zamocowania serwomechanizmów na rękę opracowana została konstrukcja składająca się z kilku elementów (rys. 1). Składa się ona z dwuczęściowej płyty dolnej (rys. 1A), płyty górnej (rys. 1B) oraz dwóch uchwytów paska mocującego egzoszkielelet na rękę (rys. 1C).



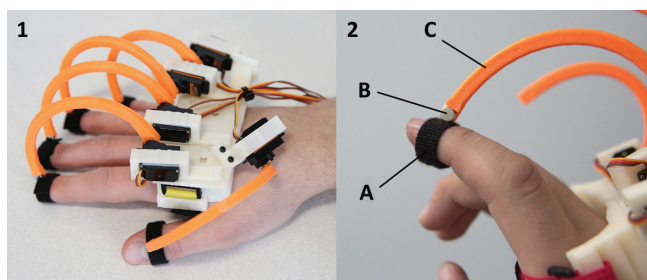
Rys. 1. Konstrukcja mocująca serwomechanizmy na rękę (a): płyta dolna (A), płyta górna (B) i uchwyty paska mocującego egzoszkielelet na rękę (C) oraz zestawienie wszystkich elementów (b)

Płyta dolna jest dopasowana kształtem do wierzchniej części ręki. Składa się z dwóch części, które mogą być rozsuwane, tak aby dopasować szerokość urządzenia do rozmiaru ręki. Płyta dolna połączona jest z górną czterema śrubami M4, zamocowanymi w taki sposób, żeby możliwe było rozsuwanie elementów płyty dolnej.

Płyta górna wyposażona jest w prowadnice, na których umieszczone są mocowania serwomechanizmów. Mocowania te przytwierdzone są do płyty za pomocą wkrętów. W przypadku palców 2, 3, 4 i 5 istnieje możliwość przesuwania serwomechanizmu razem z mocowaniem w przód i w tył, przy palcu 1 (kciuk) dodatkowo istnieje możliwość obrotu. Mocowania serwomechanizmów wykonane zostały w taki sposób, aby osie obrotu ramion ustawione były pod odpowiednim kątem. Mocowania przygotowane zostały w dwóch rozmiarach, dla obu wybranych serwomechanizmów, i mogą być stosowane zamiennie. Widok kompletnego egzoszkieleletu wraz z ramionami i serwomechanizmami przedstawiony został na rys. 1–2.

Wykonanie egzoszkieleletu

Funkcjonalny model mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji wykonany został w technologii druku 3D. Wymagało to odpowiedniego przygotowania modeli każdego z elementów, tak aby wydrukowanie było możliwe. Następnie dokonano konwersji modeli z formatu obsługiwanego przez program Blender do znormalizowanego języka zapisu poleceń dla urządzeń CNC (tzw. G-Code). Tak przygotowane modele zostały wczytane do drukarki 3D i wydrukowane. Po wydrukowaniu poszczególne elementy zostały zmontowane przy użyciu śrub wykonanych z ABS oraz wkrętów z oksydowanej stali (rys. 2a). Poszczególne elementy egzoszkieleletu wykonane zostały w technologii druku 3D na urządzeniu DDD BOT Bigger



Rys. 2. Funkcjonalny model mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji (1) oraz sposób przymocowania końcówki ramienia do palca: opaska z rzepem zakładana na segment palca (A), magnes neodymowy (B), ramię mechanizmu (C) (2)

będącym na wyposażeniu Pracowni Technik Rzeczywistości Wirtualnej CIOP-PIB w ramach laboratoriów TechSafeBio.

Zamocowanie urządzenia na wierzchu ręki realizowane jest za pomocą paska z rzepem. Jest to rozwiązanie na tyle proste, że większość pacjentów nie powinna mieć problemu z samodzielnym założeniem i zdjęciem urządzenia. Zamocowanie końcówki ramienia do palca jest bardziej złożonym zagadnieniem. Dla potrzeb mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji zdecydowano się wykorzystać elastyczną opaskę z rzepem umożliwiającą jej zamocowanie (rys. 2b). Opaska wyposażona jest w nieduży element metalowy, a na końcu ramienia zamocowany jest walcowy magnes neodymowy. Rozwiązanie to jest proste w konstrukcji oraz tanie. Dodatkowo jest wygodne w użyciu, gdyż umożliwia łatwe odłączenie palców z opaskami od ramion egzoszkieleletu.

Wstępne testy

W celu sprawdzenia, czy mechatroniczny system wspomagania rehabilitacji jest zgodny z przyjętymi założeniami i możliwe będzie przeprowadzenie testów z udziałem pacjentów, przeprowadzono wstępne testy z udziałem 2 osób. Pozwoliło to na ocenę możliwości wykonywania ćwiczeń oraz sprawdzenie zakresu ruchu i maksymalnej siły. Testy pokazały, że egzoszkielelet może być z powodzeniem użytkowany. Wskazały jednak na kilka problemów i wad konstrukcyjnych, z których najpoważniejsza dotyczy ustawienia serwomechanizmu odpowiedzialnego za ruch kciuka. Ruch tego palca był co prawda możliwy, jednak naturalniejsze wydaje się przechycenie serwomechanizmu w większym stopniu niż jest to obecnie możliwe. W dalszej części prac przeprowadzone zostaną modyfikacje systemu zgodnie z zebranymi uwagami.

Dalsze prace

W ramach dalszych prac przeprowadzone zostaną testy z udziałem pacjentów oraz rehabilitantów mające na celu ocenę możliwości prowadzenia rehabilitacji z wykorzystaniem mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji. W trakcie testów ocenione zostaną: dobór i ustawienie serwomechanizmów, możliwość dopasowania egzoszkieleletu dla różnych pacjentów oraz możliwość wykonywania biernych ćwiczeń rehabilitacyjnych.

* * *

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014+2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

1. Budziszewski P. „A Low Cost Virtual Reality System for Rehabilitation of Upper Limb”. *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Systems and Applications*. Springer, 2013, pp. 32+39.
2. Budziszewski P. „System wspomagania rehabilitacji górnej z wykorzystaniem gier komputerowych”. *Mechanik*. R. 86, nr 7 CD, 2013.
3. Budziszewski P. „Założenia mechatronicznego systemu wspomagania rehabilitacji palców wykorzystującego rzeczywistość wirtualną i gry komputerowe”. *Mechanik*. Nr 7, 2015, s. 556/65+556/72.
4. Iqbal J., Khan H., Tsagarakis N.G., Caldwell D.G. „A novel exoskeleton robotic system for hand rehabilitation – Conceptualization to prototyping”. *Biocybern. Biomed. Eng.* Vol. 34, No. 2, 2014, pp. 79+89.
5. Gedliczka A. *Atlas miar człowieka: dane do projektowania i oceny ergonomicznej: antropometria, biomechanika, przestrzeń pracy, wymiary bezpieczeństwa*. CIOP, 2001. ■