

Przegląd współczesnych rozwiązań technicznych wspomagających mobilność człowieka

Review of modern technical solutions for walk assist devices

JACEK S. TUTAK *

Omówiono techniczną stronę problematyki inżynierii biomedycznej pod kątem rozwiązań do wspomagania chodu. Przedstawiono m.in. mechatroniczne ortozy i egzoszkielety. Zamieszczono przykładowe kryteria, według których można podzielić dostępne obecnie urządzenia do wspomagania chodu. Zwrócono również uwagę, czy prezentowane rozwiązania spełniają oczekiwania potencjalnych odbiorców.

SŁOWA KLUCZOWE: mechatroniczne ortozy, wspomaganie chodzenia, rehabilitacja

The article presents technical aspect of the biomedical engineering in solutions of walk assist devices (e.g. mechatronic orthosis, exoskeletons). There are presented a few criteria which can be used to select the walk assist devices. Attention is also paid to whether the presented solutions would meet the expectations of potential customers.

KEYWORDS: mechatronic orthosis, walk assist device, rehabilitation

Niesprawności ruchowe spowodowane chorobami, urazami i wadami wrodzonymi dotyczą coraz większej rzeszy osób. Przykładowo, udar mózgu, który jest tylko jedną z wielu chorób powodujących problemy z lokomocją, rozpoznaje się w naszym kraju u ok. 70 000 osób rocznie. Z szacunkowych danych wynika, że ponad 400 000 osób żyje z trwałymi następstwami tego schorzenia [7]. W krajach wysoko rozwiniętych spośród osób, które przeżyły udar mózgu, nawet 31÷50% nie powraca do samodzielności, a 17÷25% musi przebywać pod stałą opieką. W Polsce wskaźnik ten jest o 20% wyższy [5]. Ponad 54% osób po udarze ma problemy z chodzeniem.

Przegląd rozwiązań

Przykładami urządzeń wspomagających chodzenie są propozycje Hondy. Honda Walking Assist Device (rys. 1a) składa się z siedzenia, ramy i butów. Rozwiązanie to pomaga zmniejszyć obciążenie mięśni nóg i stawów podczas chodzenia, również po schodach. Walking Assist Prototype (rys. 1b) opracowano dla obręczy miednicy i uda. Podstawowym celem prezentowanego rozwiązania jest odtworzenie prawidłowego chodu dzięki zaproponowanemu sterowaniu, napędom bezszczotkowym i zestawowi czujników. Z naładowanymi bateriami możliwe jest ciągłe używanie tego urządzenia przez ponad godzinę [11].

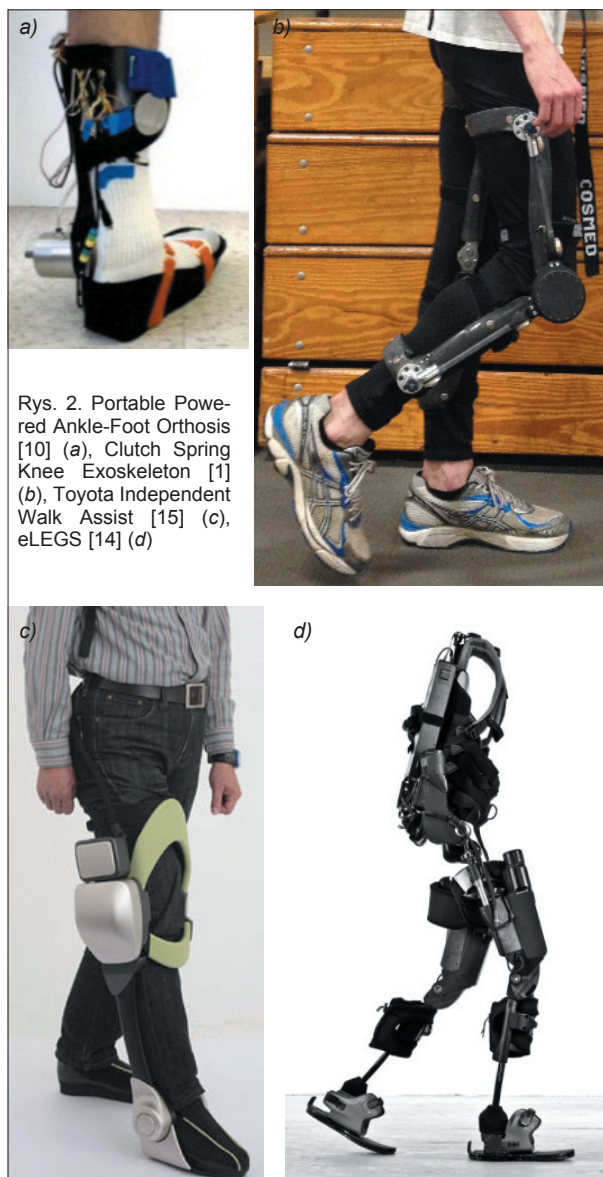
W odróżnieniu od propozycji Hondy, które skomercjalizują się w najbliższym czasie, pojawia się również wiele takich, które pozostają jedynie w fazie projektów – np. Zombi [18] czy Walking Assistant [16]. W przypadku Walking Assistant pacjent opiera swoją kończynę górną na urządzeniu znajdującym się po jego prawej lub lewej stronie – autor tego projektu przedstawia jedynie ogólny model CAD, bez jakichkolwiek szczegółów (rys. 1c).

Kolejną grupę stanowią mechatroniczne ortozy. Wśród nich są rozwiązania wspomagające tylko jeden wybrany staw, np. skokowy – Reconfigurable Ankle Exoskeleton Device [9] czy Portable Powered Ankle-Foot Orthosis [10] (rys. 2a), jak i opracowane dla kilku stawów, np. kolanowego i skokowego – Toyota Independent Walk Assist [15] (rys. 2c). W większości przypadków rozwiązania te zostały opracowane dla jednej kończyny (Clutch Spring Knee Exoskeleton [1] – rys. 2b), choć można również spotkać rozwiązania stworzone dla obu kończyn dolnych (Pneumatically Actuated Robot System [6]).



* Dr inż. Jacek S. Tutak (tutak_j@prz.edu.pl) – Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

▲ Rys. 1. Honda Walking Assist Device [17] (a), Walking Assist Prototype [17] (b), Walking Assistant [16] (c), Pneumatically Actuated Robot System [6] (d)



Rys. 2. Portable Powered Ankle-Foot Orthosis [10] (a), Clutch Spring Knee Exoskeleton [1] (b), Toyota Independent Walk Assist [15] (c), eLEGS [14] (d)

Niektóre urządzenia umożliwiają przemieszczanie się bez dodatkowych elementów wspomagających chód (AlterG Bionic Leg [12]), inne zaś wymagają zastosowania pomocniczo konwencjonalnych kul czy chodzika (Crutch-Style Walking Support Machine [13]).

Do napędu w proponowanych rozwiązaniach zastosowano moduły elektryczne lub pneumatyczne. Silniki elektryczne wykorzystano w ortezie Toyota (rys. 2c), przygotowanej z myślą o pacjencie ze sparaliżowaną nogą. Dzięki odpowiedniemu sterowaniu oraz zamontowanym na udzie i stopie czujnikom następuje automatyczne zgięcie kolana i wykonywany jest krok.

Przykładem projektu, w którym zastosowano napędy pneumatyczne, jest Pneumatically Actuated Robot System [6]. Bazuje on na wykorzystaniu bieżni i dwóch mechatronicznych ortez kończyn dolnych. Analiza literaturowa chodu pozwoliła opracować rozwiązanie mające 10 stopni swobody (liczba stopni swobody dla jednej kończyny wynosi: dwa – staw biodrowy i obręcz miednicy, jeden – staw kolanowy, dwa – staw skokowy). Do napędów zastosowano cztery siłowniki pneumatyczne. System sterowania przygotowano na podstawie sztucznych sieci neuronowych.

Rozwiązania wspomagające mobilność można też podzielić według kryterium stopnia odciążenia kończyny. Istnieją zatem takie, które powodują częściowe odciążenie kończyny, pozwalające m.in. zachować poprawność chodu (np. Clutch Spring Knee Exoskeleton [12]), lub całkowicie ją odciążające, m.in. w celu wyeliminowania efektu opadają-

cej stopy (np. Portable Powered Ankle-Foot Orthosis [10]). W omawianej grupie projektów można wyróżnić urządzenia stacjonarne, przeznaczone m.in. do nauki chodu na bieżniach (np. Lokomat Pro Gait Training System [8]). Wszelkie możliwe moduły (m.in. moduły sterowania czy zasilania) zamontowano na konstrukcji bieżni, aby dzięki temu ograniczyć gabaryty ortez. Z kolei w rozwiązaniach mobilnych – np. w AlterG Bionic Leg [12] – moduły napędowe, czujniki i sterowanie znajdują się na konstrukcji ortez. Ceny większości takich rozwiązań są bardzo wysokie – np. koszt zakupu AlterG Bionic Leg to 150 000 zł [3].

Rozbudowa mechatronicznych ortez o następne moduły wymuszające ruch w pozostałych stawach kończyny dolnej prowadzi do wyszczególnienia kolejnej grupy urządzeń – egzoskieletów. Są to sztuczne szkielety zewnętrzne mocowane na ciele człowieka, wzmacniające siłę jego mięśni (np.: ReWalk Exoskeleton, Rex – Exoskeleton, HAL 5 Cyberdyne czy eLEGS [14]). Sprawność poruszania się w egzoskiecie zależy m.in. od formy ruchowej użytkownika, dopasowania egzoskieletu do ciała, a także od oprogramowania. Za ruch urządzenia odpowiadają systemy silników elektrycznych, pneumatycznych lub hydraulicznych. W stabilizacji i zachowaniu pionu pomagają czujniki. W niektórych przypadkach producenci – np. producent urządzenia ReWalk [2] (rys. 3) – zalecają dodatkowo używanie kul. Ograniczenia w stosowaniu dotyczą dopuszczalnego wzrostu użytkownika (1,6÷1,9 m) oraz masy ciała (do 100 kg). Zamierzony ruch kończyną jest wykrywany za pomocą czujników kontrolujących umiejscowienie środka ciężkości danej osoby. Uzyskana w ten sposób informacja jest wysyłana do układu sterowania, który za pomocą modułów napędowych, umieszczonych w poszczególnych stawach kończyny dolnej, wykonuje konkretny ruch. Na nadgarstku użytkownika umieszczony jest dodatkowy moduł sterujący urządzeniem, nadzorujący m.in. czynności wstawania czy siadania. Jest to jedyny egzoskielet medyczny, który umożliwi użytkownikowi kierowanie samochodem. Cena ReWalk opiewa na ponad 200 000 zł [4].



Rys. 3. ReWalk [14]

Podsumowanie

W artykule pominięto tradycyjne urządzenia wspomagające chodzenie (ortezy, laski czy kule), natomiast skoncentrowano się na bardziej zaawansowanych rozwiązaniach – m.in. mechatronicznych ortezach – wykorzystujących najnowsze osiągnięcia techniki. Omawiany temat jest wielopłaszczyznowy i tak został zaprezentowany. Przedstawiono więc aspekty

techniczne (podano przykłady konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych) i medyczne (zwrócono uwagę na usprawnianie stawy).

Wśród prezentowanych rozwiązań można odnaleźć takie, które z punktu widzenia medycznego nie zostały do końca dopracowane (chodzi m.in. o współliniowość osi rehabilitowanego stawu z przegubem urzędnienia), a także nietuzinkowe projekty, niemające większych szans na aprobatę ze strony pacjenta. Osoby po udarze mózgu wymagają odtworzenia każdego etapu chodu, a urządzenie zapewniające jedynie możliwość podtrzymywania się na nim często okazuje się niewystarczające. W procesie rekonwalescencji bardzo ważne jest nie tylko prawidłowe zaplanowanie rehabilitacji, lecz także pierwsze wrażenie pacjenta na temat urządzenia rehabilitacyjnego. Właśnie dlatego ważną cechą projektu jest estetyka rozwiązania, możliwie małe gabaryty i wygoda użytkowania.

W przypadku urządzeń do nauki chodu istotnymi elementami są moduły odpowiedzialne za dodatkowy biofeedback (chociażby sprzężenie zwrotne na podstawie obrazu i dźwięku – wirtualna rzeczywistość wykorzystywana w tego typu rozwiązaniach), co pozwala skrócić czas rekonwalescencji.

Wadami części obecnych projektów są duże gabaryty i masa. Ponadto użytkownicy zarzucają dostępnym urządzeniom, że nie można ich ukryć pod ubraniem oraz że są mało praktyczne i niewygodne podczas dłuższego użytkowania. Na te niedogodności zwracają uwagę zwłaszcza kobiety.

Jak zatem widać, mimo dużej różnorodności urządzeń wspomagających mobilność człowieka, pacjenci wciąż oczekują rozwiązania na miarę XXI wieku.

LITERATURA

1. Elliot G., Sawicki G.S., Marecki A., Herr H. "The biomechanics and energetics of human running using an elastic knee exoskeleton". *IEEE Int Conf Rehabilitation Robotics*, June 2013.
2. Havas J. "The ReWalk System". *BME* (2012).
3. Hodgekiss A. "Stroke survivor learns to walk again thanks to revolutionary bionic leg which predicts her movements". *MailOnline health*, December 2013.
4. Holloway J. "ReWalk ushers in the age of the exoskeleton. Powered exoskeleton gives paralyzed woman new mobility". *ARStecnica* 9 (2012).
5. Kania E. „Badania rynku polskich dostawców wybranego sprzętu do kinezyterapii”. *Majówka Młodych Biomechaników* (2007).
6. Koceska N. "Gait Training Using Pneumatically Actuated Robot System". *Advances in Robot Navigation*, June (2011), pp. 223+238.
7. Lo H.S., Xie S.Q. "Exoskeleton robots for upper – limb rehabilitation: State of art and future prospects". *Medical Engineering & Physics*, Vol. 34, No. 3 (2012), pp. 261+268.
8. Mehrholz J., Elsner B., Werner C., Kugler J., Pohl M. "Electromechanical-assisted training for walking after stroke". *Cochrane Database Syst. Rev.*, 7 (2013).
9. Patolu V. "Reconfigurable ankle exoskeleton device. US 8366591 B2 Patent" (2013).
10. Shorte K. "A portable powered ankle-foot orthosis for rehabilitation". *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Vol. 48, No. 4 (2011), pp. 459+472.
11. Sullivan K.J. "Effects of task-specific locomotor and strength training in adults who were ambulatory after stroke: results of the steps randomized clinical trial". *Physical Therapy*, Vol. 87 (2007), pp. 1580+1602.
12. AlterG Bionic Leg (dostęp *on-line*: 03.09.2014): www.alterg.com
13. Crutch-Style Walking Support Machine (dostęp *on-line*: 03.09.2014): www.titech.ac.jp/english/outreach/community/robot_technology.html
14. Egzoszkielety – dokumentacja (dostęp *on-line*: 03.09.2014): <http://www.infoniac.com/hi-tech/top-10-robotic-exoskeletons.html>
15. Toyota Independent Walk Assist (dostęp *on-line*: 03.09.2014): www.wired.co.uk/news/archive/2011-11/02/toyota-nurse-bots
16. Walking Assistant (dostęp *on-line*: 03.09.2014): www.rnrassociates.com/wordpress/product-invention-rehabilitation-for-mobility
17. Walking Assist Device, Walking Assist Prototype (dostęp *on-line*: 03.09.2014): world.honda.com/Walking-Assist
18. Zombi (dostęp *on-line*: 03.09.2014): tech.pgs-soft.com/2011/10/27/zombie-robot-ktory-jest-samowystarczalny ■