

하이브리드 보행보조장치의 에너지 소모도 비교분석

강 성재, 류 제철, 김 규석, 문 무성(재활공학연구소)

Analysis of energy consumption for Hybrid Gait Orthosis

S. J. Kang , J. C. Ryu, K. S. Kim, M.S. Mun (KOREC)

ABSTRACT

It is a challenging task to make the paraplegic to walk with out the assist of the caregiver. So, we have developed various type of gait orthosis for paraplegic during the five years lately. The purpose of this study ultimately is energy consumption test of serveral type gait orthosis for developing the high efficiency gait orthosis. From the experimental results, the oxygen consumption rate were $6.9\pm 3.3\text{ml/kg}$ in RGO gait, $5.3\pm 1.3\text{ml/kg}$ in PGO, and $6.2\pm 3\text{ml/kg}$ in HGO gait. The maximum hip flexion angle were 16° in RGO , 15° in PGO, and 47.5° . in HGO. As a result It was found that. Hybrid Gait Orthosis need high energy consumption more than PGO for walking, but it is small weight and strengthened muscle.

Key Words : Hybrid Gait Orthosis(하이브리드 보행보조기), Powered Gait Orthosis(동력보행보조기), Rehabilitation(재활), Orthosis(보조기), Reciprocating Gait Orthosis(왕복보행보조기)

1. 서론

교통사고, 산업재해 등으로 인해 척수에 손상을 입어 하지 및 사지 마비가 일어나는 인구가 꾸준히 증가하고 있다. 대부분의 하반신 마비환자는 운동기능의 상실로 인하여 근력의 약화, 감각기능의 소실, 방광 및 장 기능 통제 소실, 자율 신경의 이상 등의 증상을 나타낸다. 이들의 재활치료를 위하여 보조기를 이용한 보행훈련은 하지관절의 구축방지 및 강직의 감소, 피부 욱창방지 효과 뿐만 아니라 일상생활 동작 및 이동을 스스로 유지할 수 있도록 향상시킨다.

Douglas [1] 등은 골반 밴드의 양쪽에 장하지보조기가 부착된 교차 보행보조기를 개발하였다. 이는 골반과 고관절에 연결된 밴드의 기계적 작동에 의해 고관절 굴곡 또는 신전을 유도하였다. Solomonow [2] 는 기능적 전기자극장치(FES)와 보행보조기를 결합한 최초의 혼합형 보행보조장치를 만들어 척수손상 환자를 대상으로 근육의 반응도, 훈련조건, 비용, 근육의 강직도 감소 등을 연구하였다. 클리블랜드 FES 센터와 케이스 웨스턴 리저브대학 연구팀은 임플랜

트 일렉트로드를 가진 16채널 전기자극장치와 보행기를 이용하여 하반신 마비환자를 8분동안 서있게 하고 20m를 보행하게 하였다[3]. 그러나 전기자극을 이용한 혼합형 보행보조기는 운동신경 손상이면서 적당한 강직이 있는 경우만 보행이 가능했으며 전기자극으로 인한 근육의 피로 및 과도한 에너지 소모의 문제점이 있었다. Ruthenberg [4] 등은 4절 링크와 CAM 시스템을 사용한 동력 보행보조기를 개발하였다. 외부의 선형 DC모터에 의하여 1자유도로 고관절 굴곡 및 신전을 보조하였으며 이를 이용하여 마비환자의 보행분석과 에너지 소모도를 분석하였다. 실험 결과 지면반발력 및 최대 일률, 고관절 및 슬관절의 보행패턴이 정상보행과 유사하게 나타났다. 하지만 이 경우도 큰 소비전력과 크고 복잡한 구조 때문에 실생활에서 사용하는데 많은 제약이 있었다.

하반신 마비환자의 보행능력 향상을 위하여 사용되는 생체신호 제어형 동력보행보조기[5]는 고관절 위치에 인공근육을 부착하여 고관절 신전을 보조한다.

따라서 본 연구에서는 에너지 과다 소비 및 근육의 피로를 줄이고 실효성이 높은 동력형 보행 보조장치

를 개발하기 위하여 기존의 여러 가지 형태의 보행 보조장치의 보행특징을 비교하고 에너지 소모를 비교 평가하고자 한다.

2. 유형별 보행보조기

2.1 왕복 보행보조기

RGO는 하반신 마비환자의 보행을 위하여 고안된 장치로서 두개의 장하지보조기와 그림 1과 같이 골반밴드가 부착된 체간고정부로 구성된다.

체중심의 10cm 아래에 부착된 회전장치를 이용하여 몸통을 뒤로 젖혀 입각기측 고관절이 신전되면 고관절 조인트와 연결된 측면 회전바의 상호작용에 의하여 반대측이 굴곡되어 보행을 유도한다.

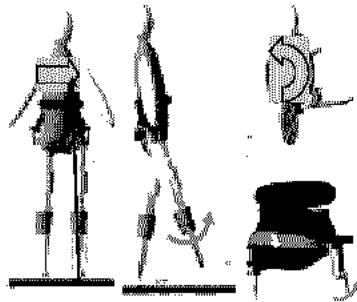


그림 1. RGO 보행 원리

2.2 동력 보행보조기

동력보행보조기(PGO)는 왕복보행보조기의 고관절 위치에 공압 근육을 부착하여 보행을 보조하도록 구성되어 있다(그림 2). 공압근육은 체간고정부와 대퇴부에 연결되어 유각기시 수축되어 고관절 굴곡을 도와준다. 따라서 동력보행보조기는 왕복보행보조기보다 적은 힘으로도 보행이 가능하다.

압축공기 공급시스템은 솔레노이드 밸브(MAC, 미국), 에어펌프(한진에어텍, 한국), 근전센서로 구성되어 근전신호입력에 따라 해당부위의 공압 근육에 공기를 공급한다.

개발된 근전도제어형 동력보행보조기는 왕복보행보조기의 골반뒷부분에 공압펌프 및 리튬전지, 제어기를 부착하였으며 양팔에 부착된 근전센서의 신호에 의해 보행을 보조하였다. 사용된 공압펌프는 12W 2.5bar 출력의 경량 저전력 펌프로서 제어시스템의 총무게가 2.2kg의 경량으로 4시간 이상의 사용이 가능하다.



그림 2. RGO 체간고정부

2.3 하이브리드 보행보조기

복합 보행보조기는 동력보행보조기와 마찬가지로 왕복보행보조기의 단점을 개선한 것으로서 보행시 고관절 굴곡근에 전기자극을 가하여 보행을 보조한다. 왕복보행보조기의 경우 몸통의 과도한 움직임이 필요하지만 전기자극기를 사용할 경우 마비환자의 잔존근육을 이용하기 때문에 근육의 퇴화예방이 될 뿐만아니라 적은 전력으로 보행이 가능해진다. 본 연구에서는 8채널 기능성전기자극기(Microstim, MEDEL, Germany) 왕복보행보조기를 착용한 환자의 고관절 굴곡근과 슬관절 신전근에 부착하여 유각기시 고관절 굴곡을 유도하여 보행을 보조하였다.

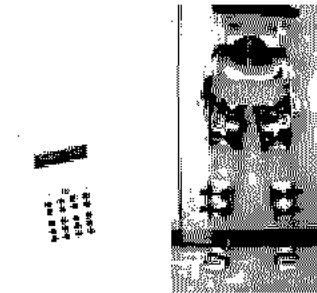


그림 3. 8채널 전기자극기

3. 실험 방법

본 연구에서는 하이브리드 보행보조기와 왕복보행보조기 동력보행보조기 착용시 보행특성 비교를 위하여 에너지 소모도 분석과 보행분석을 실시하였다. 평균 나이, 키, 몸무게는 각각 33.25 ± 11.5 세, 170 ± 1.7 cm, 60.5 ± 7.5 kg 이었다.

각 피검자는 3가지 보행보조기에 대하여 호흡가스 분석기(K4, KOSMED, Italy)를 착용하고 5m 평행 봉 위를 3분간 왕복 운동하였다. 호흡가스 분석기는 그림4와 같이 터빈이 부착된 마스크와, 가스분석기, 배터리로 구성되어 있다[7]. 실험 시작 전 각 피검자는 호흡가스 분석기를 착용하여 불편한 점을 배제하기 위하여 익숙해지도록 착용 훈련하였



그림 4. 호흡가스 분석기

으며 심박수와 V_{O_2} 가 안정 상태가 된 후부터 측정하였다(그림 5).

3가지 종류의보행보조기를 평가하기 위하여 하반신 마비환자 2명에 대하여 보행분석을 하였다. 왕복보행보조기의 경우 다른 보조 없이 보행을 반복하는 동안 보행을 측정하였다. 족관절과 슬관절의 경우 고정된 상태로 보행을 하기 때문에 보행분석인자로는 고관절 굴곡 각도와 입각기, 유각기 비율, 보행속도, 최대 굴곡 각도로 설정하였다. 동력보행보조기의 경우 좌우에 부착된 공압근육을 이용하여 고관절 굴곡을 보조한다. 양측 손가락 굽힘근에 부착된 근전센서를 이용하여 착용자의 보행의도 시점을 검출하여 보행을 보조하였다. 각 피검자는 유도하고자하는 보행속도, 보행보폭에 따라 근전센서를 이용하여 조절할 수 있도록 되어 있다.

하이브리드 보행보조기의 경우 고관절 굴곡근에 전기자극을 자극할 수 있도록 8채널 FES system을 왕복보행보조기와 같이 사용하였다. 각 피검자는 보행에 필요한 근력이 충분하도록 2주간 근력운동을 수행하였다. FES를 이용한 보행시 부착된 스위치를 이용하여 고관절 굴곡근에 전기 자극을 하였다.

동작분석을 위하여 적외선 CCD 카메라들이 인식하는 반사 마커들은 피검자의 엉치뼈(sacrum), 좌우 위 앞 엉덩가시(ASIS ; Anterior Superior Iliac Spine), 좌우측 큰 뼈돌기(Great

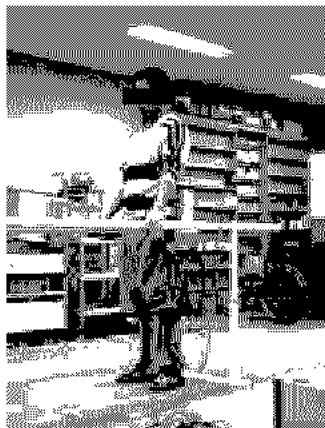


그림 5. 보행분석

trochanter), 좌우측 넓적다리(thigh)의 중간부, 좌우측 무릎관절, 좌우측 정강뼈(tibia)의 중간부, 좌우측 발목관절, 좌우측 발가락, 좌우측 발뒤꿈치에 부착하고 힘 측정판이 설치되어 있는 보도에서 평행봉을 설치하고 실험하였다. 피검자의 운동학적(kinematic) 특성을 파악하기 위하여 적외선 CCD 카메라 6대, 25mm 반사 마커(reflective marker)를 사용하였으며, 컴퓨터 및 데이터 처리 장치로는 Vicon 370(영국, Oxford Metrics사)을 사용하였다.

결과 및 토의

왕복보행보조기를 착용하고 보행시 몸통을 신전시켜야 왕복보행보조기의 뒤에 부착된 골반밴드에 의하여 고관절이 수축되기 때문에 타 보행보조기에 비하여 가장 큰 에너지가 소비된다(그림6). 하지만 왕복보행보조기의 경우 보행훈련 시간이 길어질수록 몸통의 움직임이 최소화 되며 팔을 이용하지 않는다.

고관절 굴곡/신전 각도의 크기는 보행보조기 착용시가 정상보행보다 작다. 이는 정상보행에 비하여 보조기를 이용한 마비환자의 보폭이 작기 때문이다. 왕복보행보조기, 동력보행보조기, 하이브리드 보행보조기의 고관절 굴곡각도는 각각 $16 \pm 3^\circ$, $15 \pm 6^\circ$, 47.5 ± 3 이다. 왕복보행보조기와 동력보행보조기의 경우 고관절의 운동을 피검자가 조절이 가능하지만 FES를 사용하는 경우에는 전기 자극량에 따라 근육이 최대 수축이 되므로 과도한 굴곡이 발생하였다. 또한 유각기동안 근수축의 영향으로 고관절 움직임이 진동되는 특성이 나타난다(그림 7).

표 1. RGO, PGO, Hybrid RGO 보행패턴 분석

	입각기(%)	유각기(%)	최대 각도	에너지 소모도
RGO	79.4	20.6	16°	6.9
PGO	63.8	36	15°	5.3
Hybrid RGO	65.3	34.7	47.5°	6.2
Normal	60	40	30°	4.5

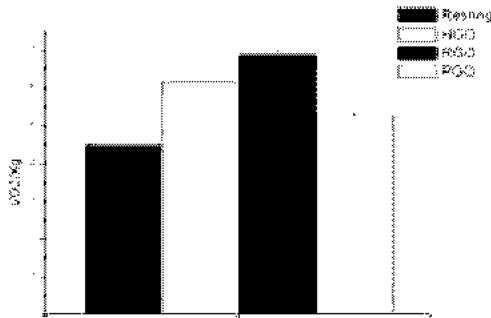


그림 6. 유형별 보행보조기 에너지 소모도

PGO 보행은 몸통의 움직임과 전기자극기에 의해 이동되는 RGO와 하이브리드 보행보조기 보행과 달리 공압근육을 이용하여 외력에 의해 보행하기 때문에 상체의 움직임이 적어지고 편한 보행이 유도된다. 이 결과 보행 주기 중 입각기 비율이 가장 정상 보행과 근사하게 된다(표 1). 하이브리드 보행보조기 보행은 동력보행보조기와 달리 자신의 근육을 이용하여 보행을 하기 때문에 PGO를 사용할때와 비교하여 에너지 소모가 증가한다(그림 7). 하지만 척수 마비 환자에게 전기자극기를 이용하여 보행할 경우 근력 강화운동이 되기 때문에 마비된 하지의 근육의 퇴화를 예방할 수 있는 임상적 의의를 가지고 있다. 하지만 오랜기간 동안 마비생활을 하여 근력이 소실되거나 감각신경이 남아 있는 환자의 경우 전기자극기를 이용한 보행이 불가능한 단점이 있다. 하이브리드 보행보조기 보행시 입각기는 65.3%이며 최대 고관절 굴곡각도는 47.5°이었다.

결론

하반신 마비환자를 위한 보행보조기를 비교평가해 보았다. 왕복보행보조기의 경우 큰 에너지 소모와 불필요한 상체의 움직임이 발생되는 특징이있는 반면에 동력보행보조기의 경우 적은 에너지 소모로 안정적인 보행을 유도한다. FES 시스템을 같이 이용하는 하이브리드 보행보조기는 왕복보행보조기의 단점을 개선하는 특성이 있지만 에너지 소모가 동력보행보조기에 비하여 크다. 하지만 하이브리드 보행보조기는 마비환자의 하지근육의 근력강화라는 강점이 있다.

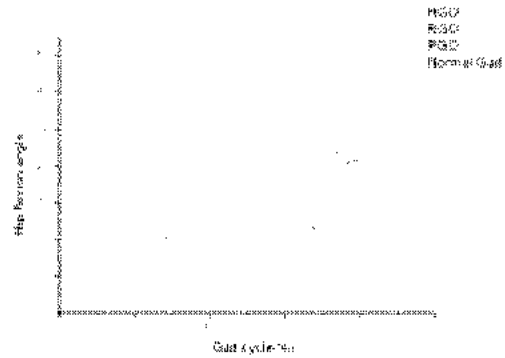


그림 7. 유형별 보행보조기 고관절 굴곡각도

후기

본 논문은 보건복지부 의료공학융합기술개발사업(과제번호: 02-PJ3-PG6-EV03-0004)의 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

1. Douglas R, Larson PF, D'Ambrosia R, McCall RE. , "The LSU reciprocation gait orthosis", Orthopedics., Vol.6, pp 834-839, 1983
2. Solomonow M, Best R, Aguilar E, et al. "Reciprocating gait orthosis powered with electrical muscle stimulation (RGO II): Part I. Performance evaluation of 70 paraplegic patients.", Orthopedics., Vol 20, pp315-324, 1997.
3. Marsolais EB ,Polando G, Lehneis HR, Tashman S., "Der gang von paraplegikern mit dem hybrid system aus FNS/orthesen Paraplegic walking with hybrid FNS/Orthotic system", Orthopadie Technik, Vol. 49, pp 372-376, 1998.
4. Ruthenberg R. M., Neil A. W., John E. B, "An experimental device for investigating the force and power equirements of a powered gait orthosis.", J. of Rehabilitation, Vol. 34, No. 2, pp 203-213, 1997
5. 강성재, 김진우, 유재훈, 문무성, "근전도를 이용한 동력보행보조기의 보행 제어", 한국정밀공학회 춘계 학술대회, 부산, 2004.4.23