

가동 슬관절을 갖는 동력보행보조기의 임상적 평가 Clinical Evaluation and Gait Analysis of Unlockable Knee joint for PGO

*#김규석¹, 류제청¹, 강성재¹, 문무성¹, 조강희²

*#G. S. Kim (gskim@korec.re.kr)¹, J. C. Ryu¹, S. J. Kang¹, M. S. Mun¹, K. H. Cho²

¹ 재활공학연구소, ²충남대학교 재활의학과

Key words : Powered gait orthosis, Reciprocating gait orthosis, Spinal cord injury, Paraplegic, Gait analysis

1. Introduction

척수손상에 의한 대부분의 하반신마비의 환자는 운동 및 감각 기능의 이상 이외에 방광과 대장기능을 조절하는 자율신경 기능에 문제가 발생한다^{1,2}. 하반신마비 환자의 재활치료로는 척추의 손상부위에 따라 보조기를 이용한 보행훈련을 실시한다. 보행훈련은 운동기능에 있어서 관절의 구축방지 및 강직의 감소에 효과적이고, 마비환자에게서 발생하는 합병증을 예방하는데 효과적이다³. 하지마비의 보행훈련 목적으로는 치료적 보행과 기능적 보행으로 크게 두 가지로 구분 할 수 있다. 하지만 보조기를 사용한 보행은 많은 에너지를 소모하고, 이동하기에 편리하지 못하여 치료적 보행훈련이 종료된 이후에는 사용을 중단하는 사례가 많다⁴. 따라서 치료적 보행훈련 이후에 기능적 보행에 효과가 있는 보조기를 필요로 한다.

본 연구의 목적으로는 치료적 보행 이후에 지속적인 기능적 보행 훈련을 통하여 나타나는 보행 훈련의 효과를 검증하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 보행시 에너지 소모가 적고, 환자의 기능적 보행을 위해 2000년대부터 활발하게 연구되고 있는 동력형 왕복보행보조기에 대한 보행효과를 분석을 하고자 한다. 이를 위해 Kang, Kim⁵ 등에 의해 개발된 PGO에 자연스런 보행이 가능하도록 굴곡 가능한 슬관장치를 개발하여 훈련기간에 따른 운동학적 개선 효과와 임상학적 개선 효과를 평가하고자 한다.

2. Unlockable Knee Joint Design

슬관절이 고정된 PGO보행에서는 입각기 지지시에 안정성은 주지만 보행시 슬관절의 굴곡이 불가능하여 골반의 움직임이 커진다. 이는 하반신 마비환자의 기능적 보행에 영향을 주어 보행을 어렵게 한다⁶. 기능적 보행 효과를 위해 슬관절 굴곡에 리니어 모터 또는 전자석을 이용한 브레이크 장치가 사용된 예가 있다. 하지만 장치가 크고 무거워서 보행시 신체에 부담을 주고 기능적 보행 효과를 저하시킨다. 이러한 문제점을 동시에 해결하기 위해 입각기에서는 슬관절의 굴곡을 방지하고, 유각기에서만 굴곡과 신전이 허용되도록 하였다. 보행주기에서 슬관절의 잠금과 해제에는 소형 솔레노이드(DC24V, 20N max, 스트로크 15mm, 한국)를 사용하였다.

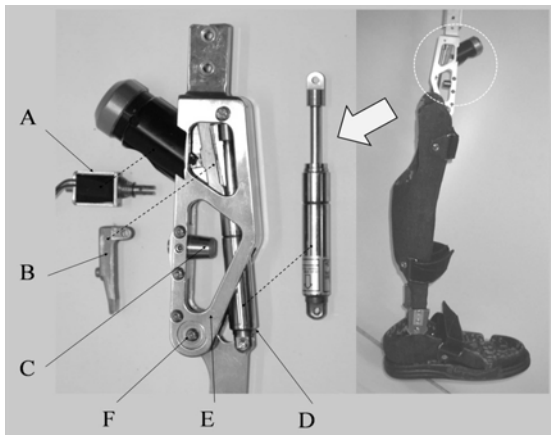


Fig. 1 Photographs of the moveable knee joint: A, Solenoid; B, Lock; C, Stopper; D, Gas spring cylinder; E, Knee body (TiAl6V4); F, Knee joint.

솔레노이드는 발끝들기(Toe-off)시에 슬관절을 풀어주고 뒷꿈치 접지(heel contact) 직전에 슬관절을 잠구어 준다. 유각기에서 솔레노이드에 의한 슬관절은 잠금이 해제되고, 이후 굴곡 작용은 유각기에서 발생하는 후방 관성력에 의해 동작하도록 하였다. 유각기 이후 입각기를 위한 신전 보조는 일정한 힘이 작용하는 가스식 스프링 실린더(무게 70g, 외경 15mm, 길이 130mm, 스트로크 30mm, 한국)를 사용하였다. 입각기 상태에서의 슬관절은 솔레노이드와 연결된 금속 멈치에 의해 굴곡 할 수 없게 되며, 유각기 보행 상태에 도달하면 솔레노이드에 의해 멈치는 해제되고 슬관절은 다리의 자중에 의한 후방 관성력에 의해 스프링 실린더의 반발력을 상쇄시키며 자연스럽게 굴곡하게 된다(Fig. 1). 유각기 구간에서는 가스식 스프링 실린더가 체중에 의해 저장된 압축 에너지를 복원하여 신전을 돕게 된다. 슬관절이 신전에 의해 완전히 펴졌을 때 솔레노이드는 슬관절을 잠그고 입각기 상태에서의 안정성을 유지하게 된다. 슬관절의 최대 굴곡각은 보행의 안정성을 고려하여 40°를 넘지 않도록 설계하였다.

3. Powered Gait Orthosis

고관절 구조는 Kang, Kim⁵ 등에 의해 개발된 공압근육을 이용한 PGO 구조를 사용하였으며, 보행시 보조기에 상용되는 재료의 강성에 따른 변형의 영향을 최소화하기 위해 티타늄 합금을 이용하여 제작하였다. 공압근육은 공기의 압력을 이용하여 생체 근육과 유사한 기능을 하도록 고안된 구동장치로써 무게에 비하여 큰 힘을 발휘하는 장점을 가진다⁷. 사용된 동력식 왕복보조기에서는 고관절 장치의 회전축 사이에 공압근육(Shadow Robot Co., 무게, 40g 직경 20mm, 길이 210mm, 수축력 200N, UK)을 설치하여 굴곡을 가능하게 하였다. 고관절 회전중심을 기준으로 흉추보조기와 연결되는 금속 링크와 장하지 보조기와 연결되는 업라이트 바 사이에 금속 브라켓을 사용하여 고정한다(Fig. 2). 동력식 보행보조기는 보행시 골반밴드의 회전을 위해 몸통을 회전시키는 대신에 인공근육으로 보조하여 하반신 마비 환자의 보행시 에너지 소모를 줄인다.

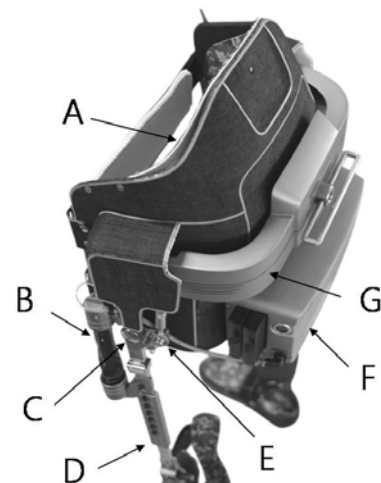


Fig. 2 Photographs of the air-compression powered hip joint : A, Spinal orthosis; B, Air-muscle; C, Hip joint(64Ti); D, Up-right bar(64Ti); E, Link joint(64Ti); F, Driving system; G, Pelvic band

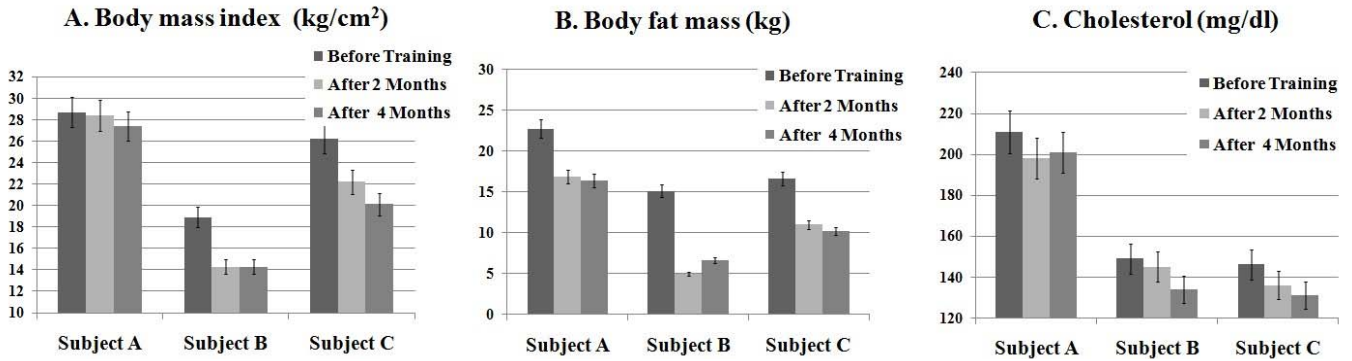


Fig. 3 Comparison of body composition change in unlockable joint knee for PGO: (A) Body Mass Index, (B) Body Fat Mass, (C) Cholesterol

4. Subjects

동력보행보조기를 이용한 마비환자의 임상적 효과를 분석하기 위해서 실험 대상자 3명을 선정하였다(Table 1). 선정된 대상자는 남성 2명과 여성 1명으로 보행 실험실과 병원에서 실험하였다. 보행 훈련에 따른 임상적 효과를 측정하기 위해 평가 프로토콜은 보행 훈련기간에 따른 임상적인 효과가 기대되는 항목을 선정하였다. 보행 운동 효과에 의한 심박수 및 체중의 변화를 기록하고 변화된 체중에 따라 체지방(Body Fat mass)과 BMI(Body Mass Index) 값의 변화를 측정하였다. 또한 보행 운동효과를 위해 방광기능의 변화를 측정하였다. 방광은 배설성 방광 조영술(VCUG : Voiding Cystourethrography)을 이용하여 측정하였다.

Table 1. Details of subjects included in the study

Subject	Sex	Injury level	Age	Weight (kg)	Time since injury (years)
A	M	T4	34	78	6
B	F	T4	21	45	3
C	M	T6	25	55	2

5. Results

체 성분에 대한 측정에서는 실험 지원자 모두 보행 훈련기간이 지날수록 비만도를 나타내는 체질량 지수(BMI=Body Mass Index)가 감소하였다(Fig. 3A). 특히 Subject B의 경우는 측정값이 훈련 2개월 후에 32%로 크게 감소하였으며 이후 훈련에 의한 BMI 값의 차이는 크지 않았다. 체 성분 중 지방 및 콜레스테롤은 훈련 기간 2개월 이내에 모든 수치가 감소함을 나타낸다. 이는 보행 훈련에 의해 체내의 지방이 효과적으로 소모됨을 알 수 있다. 지방 및 콜레스테롤량은 운동기간에 따라 감소되고 있다.(Fig. 3B, 3C) 훈련에 따른 방광의 변화를 측정하였다. 방광 측정은 배설성 방광 요도 조영술(VCUG : Voiding Cystourethrography)을 이용하였다(Fig. 4). 다수의 척추마비환자는 합병증의 하나로 자율 신경계 이상에 의한 방광기능의 약화나 위축 등의 발생한다. Subject B, C는 보행훈련 이후 방광의 위축이나 용적 변화가 없었고, Subject A는 훈련 2개월 후 방광의 용적이 11.5% 커짐을 나타내고 있다.

6. Conclusions

본 연구에서 치료적 보행 이후에 지속적인 기능적 보행훈련을 통하여 나타나는 보행 훈련의 효과를 검증하고자 Kang, Kim⁵등에 의해 개발된 PGO에 굴곡이 가능한 슬관절 장치를 개발하여, 훈련기간에 따른 임상학적 효과를 평가하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 가동 슬관절을 갖는 PGO를 통한 지속적인 보행 훈련은 운동량의 증가에 따라 신체의 비만도를 나타내는 체질량 지수(BMI)를 감소시키고, 지방 및 콜레스테롤의 체 성분의 수치를 감소시켜 체 성분 변화에 영향을 줄 수 있음을 확인하였으며, 또한 보행훈련을 통하

여 방광 기능의 위축을 지연시키고 방광의 용적이 개선 될 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서의 임상건수는 제한적임으로 인하여 추후 개선효과의 검증을 위해 임상사례를 확대하여 실험 할 예정이다.

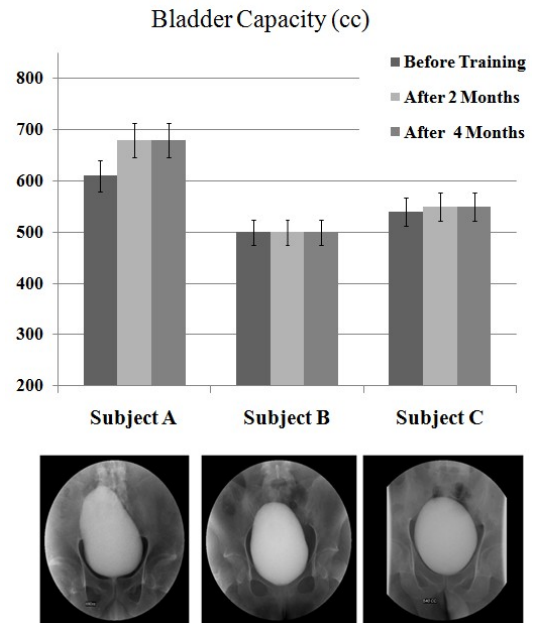


Fig. 4 Comparison of bladder capacity: Bladder capacity(cc) and Photograph of VCUG

References

1. MacDiarmid S., Arnold E., Palmer N., Anthony A., "Management of spinal cord injured patients by indwelling suprapubic catheterization," J. of Urol., 154, 492-494,1995.
2. Weld K., Dmochowski R., "Effect of bladder management on urological complications in spinal core injured patients," J. of Urol., 63, 768-72, 2000.
3. Rosman N., Spira S., "Paraplegic use of walking Braces. A survey," Arch Phys Med Rehabil, 55, 310-314, 1974.
4. Coghlan J., Rabinson C., Newmarch B., Jackson G., "Lower extremity bracing in paraplegia," A follow up study. Paraplegia, 18, 25-32, 1990.
5. Kang, S., Ryu, J., Kim, G., Mun, M., "Hip Joint Control of PGO for Paraplegics." Key Engineering Material, 326/328, 735-738, 2006.
6. Ralston H., "Effects of immobilisation of various body segments on energy cost of human locomotion," Proceedings of 2nd International Congress on Ergonomics, Supplement to Ergonomics, 53-60,1965.
7. Klute, G., Czerniecki J., Hannaford B., "McKibben Artificial Muscles: Pneumatic Actuators with Biomechanical Intelligence," Proceeding of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Atlanta, GA, 19-22, 1999.