

입각기에서의 지면반발력과 에너지 소모를 이용한 대퇴의지별 생체역학적 평가

○김 성 민, 박 창 일*, 최 성 오, 신 지 철, 김 덕 용*, 김 남 현
연세대학교 의과대학 의용공학교실, 연세대학교 의과대학 재활의학과*

Biomechanical evaluations of four different AK prostheses by using GRF(Ground Reaction Force) and energy consumption at Stance Phase

○S. M. Kim, C. I. Park*, S. O. Choi, J. C. Shin*, D. Y. Kim*, N. H. Kim
Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Yonsei University
Department of Rehabilitation, College of Medicine, Yonsei University*

ABSTRACT

In this study, variation of ground reaction force and energy consumption are investigated while walking with four different AK prostheses in order to obtain basic biomechanical data for developing AK prosthesis for Korean. It is a important information to investigate ground reaction force(GRF) and energy consumption to evaluate efficiency and stability of the prostheses.

서 론

보행분석의 입각기에 있어서 중요한 파라미터는 지면반발력의 측정이라 할 수 있다. 이것을 이용하여 정상인의 보행분석시 지면반발력의 패턴과 비교하여 병적보행의 분석이 가능하며 환자의 수술전후의 예후를 평가할 수 있다. 지면반발력의 측정과 함께 또한 중요한 문제는 바로 의지의 Energy Consumption이라 할 수 있다. 의지의 종류에 따른 Energy Consumption에 대한 연구는 국내에서는 상대적으로 취약한 실정이며 따라서 앞으로 많은 연구가 수행되어야 할 것이라고 사료된다. 우리는 이번 실험에서 한국인의 체형에 맞는 의지를 개발하기위한 선행작업으로 공압식, 유압식, 단축식, 다축식의 네가지 슬관절을 장착한 대퇴의지를 이용하여 지면반발력과 Energy Consumption을 측정하였다.

연구방법

1. 지면반발력의 측정 (1) 연구대상

신경근골격계질환의 병력이 없는 건강한 절단 환자(남자) 3명을 대상으로 하였다. 이들은 평균 34세였고, 평균체중은 60.3kg, 평균신장은 166.7cm 이었다.

(2) 검사방법

각각의 피검자에게 단축식, 다축식, 공압식, 유압식 등의 슬관절을 장착한 대퇴의지를 제작한 후 4 종류의 대퇴의지에 모두 적용하도록 보행훈련을 충분히 시행한 후[1] 3 차원 동작분석 장비인 VICON 370 SYSTEM(Oxford Metrics Ltd., Oxford, United Kingdom)을 이용하여 동작분석실 내에 설치되어 있는 10 m 거리의 직선 보행로에 내장되어 있는 2 종류, 3 개의 힘측정판(Kistler type 9865B, Kistler Ltd., Winterhur, Swiss X 1, AMTI, Advanced Medical Technology, Inc., Watertown, Massachusetts, U.S.A. X 2)을 사용하여 입각기(stance phase)의 안정성을 고려한 지면반발력(Ground reaction force)을 측정하였으며 Sport Tester PE300(Polar Electro KY, Kempele, Finland)을 사용하여 휴식 중 및 보행중의 Heart Rate를 원격 측정하여 Physiologic Cost Index를 측정하였다.

2. Energy Consumption

(1) 연구대상

오른쪽 다리가 절단된 32세의 남성으로, 키는 166cm, 몸무게는 53kg이었다. 절단된 다리이외에 특별한 임상 소견상의 문제는 없었다.

(2) 검사방법

각각의 슬관절을 착용한 상태에서 20분간 의자에 앉아 휴식을 취한 후 Treadmill에서 각각 6분간 걷게 하면서 Sport Tester PE300(Polar Electro KY, Kempele, Finland)을 사용하여 휴식 중 및 보행중의 Heart Rate를 원격 측정하여 Physiologic Cost Index((보행중 심박수-안정기

심박수)/보행속도)를 측정하였다. 또한 Oxylog (P.K. Morgan Ltd.,UK)를 사용하여 보행시 산소 소모량을 측정한다. 각각의 검사는 하루중 일정한 시간인 오전 10시에서 오후 12시 30분 사이에 시행하고 검사 2시간 전부터는 검사 결과에 영향을 줄 수 있는 음식물이나 커피 등의 섭취를 하지 않도록 하였다. 각각의 검사사이에는 5분 이상의 휴식기간을 두고 분당심박수가 안정기 심박수 +/-5가 되면 다음 검사를 시작하도록 하였다.

결과 및 분석

1. 지면반발력의 측정

4가지 다른 형태의 대퇴의지를 사용하여 세 가지 방향의 지면반발력을 측정하여 본 결과 절단지와 정상인을 비교할 때 정상인의 보행에서 나타나는 대칭성의 결여가 두드러지는 것을 관찰하였다. 환자의 절단지에서의 힘의 균형을 나타내주는 좌우측지면반발력(mediolateral GRF) 측정결과 힘의 크기에 대한 특성은 공압식의지가 시간적인 특성은 유압식 의지가 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 입각기의 대퇴의지의 균형에 대한 특성은 공압식과 유압식이 우수한 것으로 나타났다. 환자의 앞으로 나아가려는 추진력(Forwarding Force)과 후진력(Braking Force)을 나타내주는 전후측 지면반발력(Antero-posterior GRF)은 공압식과 유압식 의지가 가장 우수한 것으로 나타났으나 추진력은 정상인의 경우와 비교할 때 현저한 감소를 나타내었다. 보행중 몸무게의 적절한 이동을 나타내 주는 수직방향의 지면반발력은 공압식, 유압식이 우수한 것으로 나타났는데, 모든 경우에서 공히 두 개의 피크가 정상인에 비해 조기에 발생하였으며 최소피크값은 정상인에 비해 크게 나타났다. 피크값의 조기발생은 너무 일찍 하중의 이동이 발생하기 때문인데 이것은 환자가 의식적으로 의지를 착용한 절단단을 의식적으로 신속히 움직이려는 현상에 의한 결과로 추정할 수 있다.

2. Energy Consumption

속도 0.42m/s 에서는 다축식과 유압식이 oxygen uptake(ml/kg/min)가 적었으며, oxygen uptake가 가장 작은 다축식과 가장 큰 공압식의 차이는 27%로 나타났다.(각각 9.37ml/kg/min, 11.87 ml/kg/min) 속도 0.69m/s 에서는 다축식과 단축식이 우수했으며 다축식과 공압식의 차이는 20%였다.(각각 11.13ml/kg/min, 13.33ml/kg/min) 많은 학자들[2,3,4]에 의해 밝혀진 바와 같이 oxygen uptake와 speed사이에는 이차함수의 관계가 성립하는 것으로 알려져 있으며, 우리가 실험한 결과에 의하면 공압식을 사용한 경우 $y=7.13x^2+10.36$ 의 값을 얻었다. 다축식은 $y=9.83x^2+7.17$, 단축식은 $y=8.32x^2+8.44$, 유압식은 $y=7.17x^2+8.68$ 으로 계산되었다. 이 식들은 우리가 실험에서 얻은 데이터를 최소자승법(Least Square Method)을 이용하여 구한 것이다. 이 수식을 통하여 우리는

0.75m/s의 속도로 걸을 때까지는 다축식을 사용하여 걷는 것이 가장 적은 에너지를 소모하며, 0.75m/s보다 큰 속도에서는 유압식이 가장 적은 에너지를 소모한다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 각 환자의 상태에 따라서 적합한 의지를 처방하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 가령 0.75m/s 이하의 속도에서는 다축식이 가장 에너지 소모가 적다. 그리고 다축식의 경우는 무게도 가볍기 때문에 활동성이 크지 않고 체력이 약한 노인환자들에게 사용되는 것이 적당할 것으로 사료된다. 반면에, 유압식은 무거운 대신 빠른 속도에서 에너지 소모가 적기 때문에 활동성이 큰 건강하고 젊은 환자들에게 적당할 것으로 사료된다. 즉, 의지를 처방하는데 있어서 각 환자의 사회적 활동성향과 나이, 건강상태등을 종합적으로 고려할 필요가 있으며 환자의 의지 착용시의 느낌도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서 우리는 지면반발력패턴에 대칭성의 결여, Fz & Fx 의 두번째 peak의 현저한 감소와 보행속도에 따른 시상면, 관상면, 횡단면에서의 힘의 크기, 분포의 변화가 있음을 관찰하였다. 본 연구의 결과가 향후 여러 가지 형태의 다양한 의지를 착용한 환자의 보행에 대한 운동역학적 기전의 이해와 운동형상학적 해석을 돕고 향후 한국인의 체형에 적합한 대퇴의지의 개발에 필요한 생체역학적 기초자료로 쓰일 수 있을 것이며 동적 근전도를 이용하면 훨씬 더 정교한 분석을 해 낼 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. A.M Boonstra, J. Schrama, V. Fidler, W.H. Eisma, "Energy cost during ambulation in transfemoral amputees: A knee joint with a mechanical swing phase control vs a knee joint with a pneumatic swing phase control", Scand J. Rehabil. Med., Vol. 27, pp. 77-81, 1995
2. Workman JM, Armstrong BW, "Metabolic cost of walking: equation and model", J. Appl. Physiol., Vol. 15, pp. 1015-21, 1960
3. James U., "Oxygen uptake and heart rate during prosthetic walking in healthy male unilateral above-knee amputees", Scand. J. Rehabil. Med., Vol. 5, pp. 71-80, 1973;
4. Jaegers SMHJ, Vos LDW, Rispens P, Hof AL, "The relationship between comfortable and most metabolically efficient walking speed in persons with unilateral above-knee amputation", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 74, pp. 521-525, 1993