

인공의족의 외반 특성이 하퇴절단자의 무릎과 발목에 미치는 영향

배태수[㉠]·장윤희^{*}·김신기^{*}·문무성^{*}

Effect of Foot Eversion on Knee and Ankle of Trans-tibial Amputees

Tae Soo Bae, Yun Hee Chang, Shin Ki Kim and Mu Seung Mun

Key Words: Transtibial Amputees (하퇴절단자), Prosthetic Foot (인공의족), Eversion (외반)

Abstract

One of the important functions of prosthetic foot is the foot inversion-eversion which is so important when walking on uneven surfaces. The aim of our study was to evaluate the effect of foot eversion angle especially on knee and ankle joint for transtibial amputees by motion analysis. The experimental data were collected from three transtibial amputees and then ten healthy individuals. To simulate walking on side sloping ground, we used custom-made slope (5, 10, 15 degrees). Motion analysis was performed by 3-dimensional motion analyzer for 6 dynamic prosthetic feet. The results showed that knee abduction moments of amputated leg were decreased but those of sound leg were mainly increased as foot eversion angle increased. And ankle abduction moments of sound leg were inconsistent in magnitude and tendency between control and experimental group. Therefore foot eversion characteristics should be considered to develop advanced prosthetic foot.

1. 서 론

산업재해와 교통사고로 인해 하퇴부위가 절단된 환자의 경우 적절한 재활치료 및 운동을 통해 사회로 복귀하고 있으며, 일상생활의 환경을 넘어 스포츠의 영역에 이르기까지 다양한 영역에서 참여의 기회를 넓히고 있는 실정이다. 그러나 현재 상용화되어 있는 여러 하퇴절단자용 인공의

족의 경우 다 기능성을 가지고 있는 정상인의 발과 발목관절의 움직임을 정확히 모사하지 못하는 단점을 가지고 있음으로, 환자가 활동영역에 따라 인공의족의 형태를 교체 후 착용해야만 하는 실정이다.

사람의 발과 발목은 다양한 지면 환경에 적응하여 움직이기 위해 복잡한 골격 구조, 근육조직, 그리고 결합 조직 등으로 구성되어 있다. 일반 보행시 주요 관절에서 걸리는 부하(moment)를 보면 약 0.5배의 무릎관절, 약 1.0배의 고관절에 비해 체중대비 발목관절에서는 약 1.5배 정도의 많은 근력이 일반보행시 필요한 것으로 알려져 있다. 따라서 노면상태가 좋지 못한 환경에서는 일반보행시의 부하에 비해 더 큰 부하가 발목관절에 걸리기 때문에 하퇴절단자용 인공의족을 개발할 경우 노면상태에 따른 영향을 고려하는 것이 필수적이다.

㉠ 정희원, 한국산재의료원 재활공학연구소
E-mail : bmebae@korec.re.kr
TEL : (032)500-0771 FAX : (032)512-9794

* 한국산재의료원 재활공학연구소

일반적으로 인공의족의 기계적 특징은 크게 5 가지-발목관절의 배굴 각도(dorsiflexion), 외반각도(eversion angle), 에너지 복원 효율(energy return efficiency), 회전토크(torque), 그리고 충격 흡수력(impact absorption)-정도로 요약해서 평가한다. 그 가운데서도 굴곡된 노면에 노출된 하퇴절단자들의 경우 착용하고 있는 인공의족의 외반 각도 특성에 따라 환측(amputated limb) 및 건측(sound limb) 관절에 미치는 영향이 매우 중요함에도 불구하고 관련된 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 일반보행과 더불어 스포츠 활동에서도 사용가능한 새로운 개념의 하퇴환자용 인공의족을 개발하기 위하여, 측면 노면 굴곡각도 변화에 따른 인공의족의 외반특성이 환자의 무릎관절과 족부관절에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험대상

본 연구에서는 모두 편측절단환자이며, 평균 나이 51.7세, 신장 166.3cm, 그리고 몸무게는 72.7Kg이며, 인공의족 착용기간은 평균 9년 이상으로 단단부의 이상이 없는 하퇴절단환자 3명을 그 대상으로 삼았다. 또한 대조군으로는 보행에 영향을 주는 근골격계 및 신경계 질환이 없는 정상인 10명(평균나이 24.4세, 신장 174.7cm, 몸무게 64.5Kg)으로 정하였다.

또한 본 연구에서는 하퇴절단자용 인공의족로 상용화되어 현재 환자들이 착용하고 있는 외산 4개의 제품들(Kingsley ES Dynamic foot, Ottobock 1D35 Dynamic motion foot, Freedom Senator, Endolite Elite foot)과 재활공학연구소(KOREC)에서 자체 개발한 2개의 의지(KOREC I, II)를 하퇴절단자에게 제공하고 해당 실험들을 진행하였다.

2.2 보행분석

인공의족에 대한 보행분석에는 8개의 적외선 카메라와 4개의 힘측정판(900mmX600mm, Kistler Instrument Corp. & AMTI Inc., USA), 10mm 반사 마커, CCD 카메라, PC 등으로 구성된 3차원 동작분석기(Eagle4, Motion Analysis Ltd., USA)를 사용하였다. 피험자는 평상 시 본인이 착용하던 의지와 신발 그리고 보행에 지장을 주지 않도록 짧은 하의를 착용하고 실험에 임하였다.(Fig. 1)

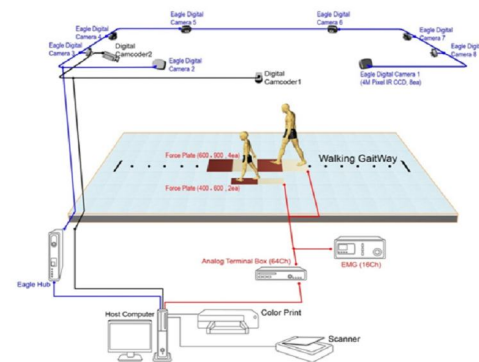


Fig. 1 Schematic diagram of motion analysis system

실험 전 신장, 체중, 발길이, 발 폭 등의 인체 계측학적 변수들을 측정하였으며, 발 길이는 측면에서 가장 긴 길이를, 발 폭은 발의 가장 넓은 곳을 수평으로 측정하였다. 보행분석을 실시하기 전 오차를 최소화하기 위해 보정(calibration)을 실시하였으며, 적외선 카메라가 인식할 수 있는 지름 10mm의 반사 마커를 Helen Hayes Marker Set을 참고하여 인체의 해부학적 위치에 부착하였다. 19개의 반사 마커 부착 후 각 관절의 위치를 확인하기 위해 정적(static) 검사를 실시하였고, 정적 검사 후 좌우 내측 대퇴관절 용기와 좌우 족관절 내과의 마커를 제거한 후 동적(dynamic) 검사를 실시하였다(Sampling rate 120 Hz).(Fig. 2)

2.3 외반특성 분석

외측 경사로에 대한 인공의족의 외반특성을 분석하고자 외반 경사를 모사할 수 있는 장비를 자체제작 하였으며, 이를 이용하여 평지에서 15°까지 5°간격으로 경사를 주고 외반 특성분석을 실시하였다.(Fig. 2)



Fig. 2 19 reflective markers were used in motion analysis (left) and custom-made slop(right)

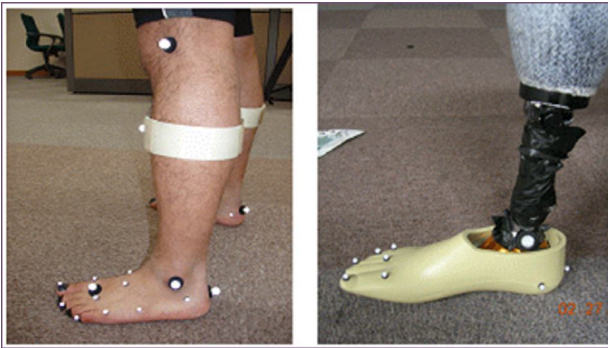


Fig. 3 Marker set for detail analysis of foot

발 부위에 대한 세부적인 움직임 추적을 위하여 발을 8개의 부위(segment)로 나누어서 추가적으로 16개의 3mm 반사마커를 족부 주요 부위에 부착한 후 보행분석을 실시하였다. (Fig. 3)

2.4 통계학적 분석

본 연구는 통계 프로그램(SPSS Ver 12.0, SPSS Inc., USA)을 사용하여, 독립표본 t-검정 (independent t-test) 을 실시하였다. 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 토론

보행분석을 통하여 측면 노면 굴곡 각도 변화에 따라 건측과 환측의 무릎관절과 발목 관절에 어떠한 영향을 미치는지 정량적으로 분석해 보았다. 일반적으로 시상면에서의 관측보다는 내반 및 외반관련 연구로 인해 관상면에서의 모멘트를 위주로 분석해 보았다.

3.1 외전모멘트 (abduction moment, AM)

절단된 다리의 무릎 외전 모멘트의 경우 측면 노면 굴곡각도가 증가함에 따라서 모든 인공의족에서 감소하는 현상이 나타났으며, 최대값을 기준으로 비교해 보았을 때 Kingsley ES Dynamic foot 이 가장 낮은 외전모멘트를 KOREC I 이 가장 높은 외전모멘트를 나타내었다. 하퇴절단환자의 무릎 관절 외전모멘트의 경우에는 대조군과 실험군 간의 크기와 각도에 따른 크기변화 추이가 일관성이 있는 패턴을 보여주지 않았다.

3.2 외전모멘트 증감율(Rate of AM)

실험군과 대조군을 서로 비교해 보았을 때, 측면 노면 굴곡 각도가 증가함에 따라 증가 혹은 감소하는 추이는 비슷한 경향을 나타내지만, 크기 증감율에 있어서는 유의한 차이가 나타났다. ($p<0.05$)

무릎 외전 모멘트의 경우 절단된 다리에 대한 실험군의 외전 모멘트 증감율이 대조군의 증감율에 비해 39.24%로 크게 나타났으나, 정상다리에 대해서는 오히려 52.61%로 적게 나타났다. 또한 정상다리에 대한 발목 관절 외전 모멘트의 경우에는 실험군의 증감율이 대조군에 비해 30.54% 적게 나타났다. 이는 측면 노면 굴곡 각도의 변화에 대해서 무릎외전 모멘트의 경우 절단된 부위의 다리에서 정상인에 비해 많은 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 이와는 반대로 정상다리와 발목관절에서는 오히려 덜 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 절단된 다리에서 발생하는 보행의 불안정성을 정상다리의 무릎과 발목의 자유도를 줄임으로 말미암아 보행의 안정성을 확보하고자 하는 보상보행으로 사료된다.

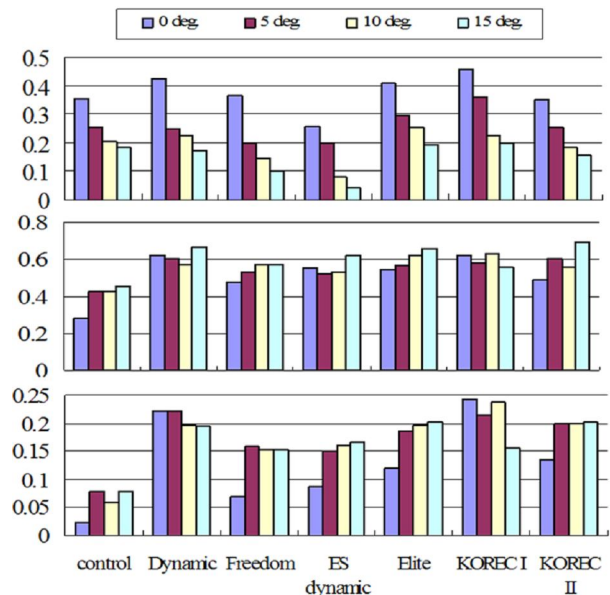


Fig. 3 Peak knee abduction moment of amputated leg(top), sound leg(mid), ankle abduction moment of sound leg(down) at loading response.[Unit:Nm/Kg]

4. 결 론

본 연구를 통하여서 측면 노면 굴곡 각도의 변화에 따른 스포츠용 인공의족의 외반 특성을 살펴 보았다. 굴곡각도 변화에 따라 무릎관절과 발목관절의 외반모멘트 크기에 있어서 대조군과 실험군간의 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 각 외반모멘트의 증감율에 대한 분석을 통하여 하퇴절단자의 경우 절단된 다리의 무릎관절 외반모멘트가 굴곡각도에 민감하게 반응하는 반면, 정상다리의 무릎관절과 발목관절에서는 보행의 안정성을 확보하기 위한 보상보행 경향이 나타났다. 따라서 향후 보다 진보된 인공의족 개발시 굴곡각도에 따른 하퇴절단자의 외반특성을 필수적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

후 기

위 논문은 문화체육관광부의 스포츠 산업기술 개발사업에 의거 국민체육진흥기금을 지원 받아 연구되었습니다.(과제번호 # 2008-3)

참고문헌

- (1) Ece Aydog., Sedat Tolga Aydog., Aytul Cakci, Mahmut Nedim Doral, 2004, "Reliability of isokinetic ankle inversion and eversion-strength measurement in neutral foot position, using the Biodex dynamometer, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, Vol 12, pp.478~481
- (2) S D Perry, M A LaFortune, 1996, "Influences of inversion/eversion of the foot upon impact loading during locomotion", *Clinical Biomechanics*, Vol. 10(5), pp. 253~257
- (3) P Ball, G R Johnson, 1996, "Technique for the measurement of hindfoot inversion and eversion and its use to study a normal population", *Clinical Biomechanics*, Vol. 11(3), pp. 165~169
- (4) Frank L. Buczek, Matthew R. Walker, Michael J. Rainbow, Kevin M. Cooney, James O. Sanders, 2006, "Impact of mediolateral segmentation on a multi-segment foot model", *Gait & Posture*, 23, pp. 519~522