

# 인공발의 외반특성이 하퇴절단자의 측면 경사 보행에 미치는 영향 Effect of ankle eversion on transtibial amputees' gait on lateral slope

\*#배태수, 장윤희, 김신기, 문무성

\*T. S. Bae(bmebae@korec.re.kr), Y. H. Jang, S. K. Kim, M. S. Mun

재활공학연구소

Key words : ankle eversion, transtibial amputee, gait analysis

## 1. 서론

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 인공발을 개발할 경우 노면상태에 따른 영향을 고려하는 것이 필수적이다.<sup>1-3</sup>

일반적으로 인공발의 기계적 특징 중 노면굴곡이 심한 국내 사정상 하퇴 절단자들의 경우 착용하고 있는 인공발의 외반 기능이 적절하게 이루어지지 않을 경우 낙상의 위험 혹은 무릎관절과 발목관절에 비정상적인 부하가 가해짐으로 관절염과 같은 추가적인 장애를 일으킬 가능성이 높다.<sup>4</sup> 그럼에도 불구하고 인공인족 개발에 있어서 의족의 외반 각도 특성에 따라 환측(amputated limb) 및 건측(sound limb) 관절에 미치는 생체역학적 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 보행시 인공발의 외반특성이 환자의 무릎관절과 족부관절에 미치는 생체역학적 영향을 정량적으로 비교/분석하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 실험군으로 하퇴절단환자 3명을, 대조군으로 정상인 10명을 각각 실험대상으로 삼았다.(Table 1) 실험군 대상자 선정 기준은 사고로 인한 외상성 하퇴절단자, 의족 착용 기간이 최소한 2년 이상인 자, 보행에 영향을 줄 만한 신경 및 근골격계 이상이 없는 자, 의지의 정렬 및 소켓의 적합성이 적절한 자, 보행 시 중대한 파행이 없는 자 중에서 선정하였다. 또한 대조군으로는 보행에 영향을 주는 근골격계 및 신경계 질환이 없는 자들로 정하였다.

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

인공발에 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.

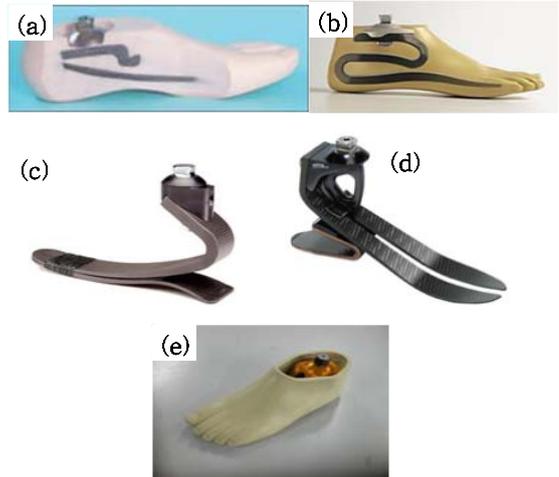


Fig. 1 Artificial feet for transtibial amputees  
(a)Kingsley ES Dynamic foot (b)Ottobock 1D35 Dynamic foot  
(c)Freedom Senator (d)Endolite Elite foot (e) KOREC foot

피험자는 평상 시 본인이 착용하던 의지와 신발 그리고 보행에 지장을 주지 않도록 짧은 하의를 착용하고 실험에 임하였다. 실험 전 신장, 체중, 발길이, 발 폭 등의 인체계측학적 변수들을 측정하였으며, 발 길이는 측면에서 가장 긴 길이를, 발 폭은 발의 가장 넓은 곳을 수평으로 측정하였다.(Fig. 2)

외측 경사로에 대한 인공발의 외반특성을 분석하고자 외반 경사를 모사할 수 있는 장비를 자체제작 하였으며, 이를 이용하여 평지에서 15° 까지 5°간격으로 경사를 주고 외반 특성분석을 실시하였다.(Fig. 3)

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.

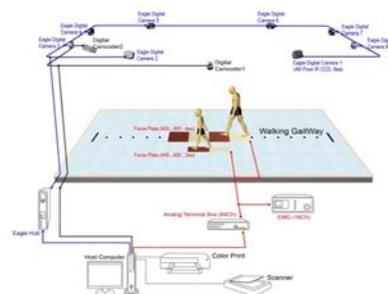


Fig. 2 Schematic diagram of motion analysis system and subjects

Table 1. General characteristics of subjects

	Experimental group	Control group
Age (yrs)	37.00 ± 1.73	24.40 ± 1.03
Height (cm)	175.50±6.14	174.76 ± 3.52
Weight (kg)	77.23±5.22	66.8 ± 3.73
Stump length(cm)	14.50±4.95	-
Usage (yrs)	9.00±5.66	-

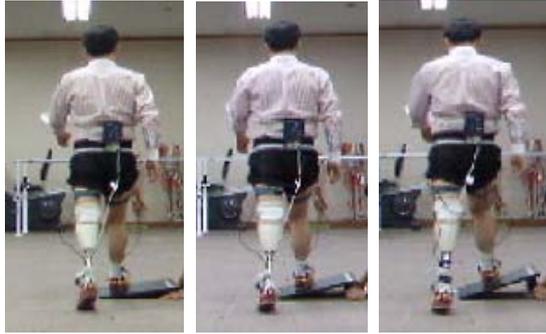


Fig. 3 Custom-made slop(up, 5, 10, 15 degrees) and 19 reflective markers were used in motion analysis (down)

### 3. 실험결과

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.

대조군의 경우 노면 굴곡각도가 평지에서 10도까지는 증가하다가 15도에서는 감소하는 현상을 보였으며, 절단된 다리의 무릎 외전 모멘트의 경우 측면 노면 굴곡각도가 증가함에 따라서 모든 인공의족에서 무릎외전모멘트가 감소하는 현상을 보였다. 최대값을 기준으로 인공의족들을 비교해 보았을 때 Kingsley ES Dynamic foot와 freedom Senator가 상대적으로 낮은 외전모멘트를 KOREC I이 가장 높은 외전모멘트를 나타내었다.

외전각도가 증가함에 따라 절단부위의 무릎외전모멘트는 전반적으로 감소하지만, 건측의 무릎외전모멘트와 발목 외전모멘트는 일부 의족 (Kingsley ES Dynamic foot, KOREC I foot)을 제외하고는 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 절단부위의 무릎 외전모멘트에 대한 건측 무릎측면에 가해지는 외전모멘트의 비율을 조사해 본 결과, 노면 굴곡 각도가 증가함에 따라 환측에 비해 건측 무릎에 걸리는 외전모멘트의 크기가 증가하는 결과를 보였으며, Es dynamic foot의 경우 굴곡각도 15도에서 급격한 변화를 보여주는 것으로 나타났다.(Table 2)

Table. 2 Ratio of AM in sound leg to amputated leg with respect to slop inclination

	0 deg	5 deg	10 deg	15 deg
control	14.00	10.41	7.73	10.11
dynamic	1.46	2.46	2.56	3.85
freedom	1.30	2.71	3.92	5.63
Es dynamic	2.15	2.65	6.54	-156.50
Elite	1.33	1.93	2.45	3.38
korec I	1.36	1.62	2.81	2.82
korec II	1.41	2.36	3.07	4.41
average	1.50	2.29	3.56	-22.73*

### 4. 토론 및 결론

외반각도가 증가함에 따라 절단부위의 무릎외전모멘트는 감소시키고 건측의 무릎과 발목의 외전모멘트는 증가시키는 경향들이 하퇴절단환자들의 보행분석을 통해서 나타났다. 따라서 외반특성을 고려하지 않은 의족을 지속적으로 사용할 경우 건측 무릎의 내측모멘트의 증가로 인해 관절염의 발생 가능성을 배제할 수 없게 된다. 최근 하지절단자들의 무릎관절염과 관련된 유병률 조사 연구에서 Norvell 등은 같은 연령대별 하지절단자의

슬골관절염 증상을 조사한 결과 절단자가 비절단자에 비해 무릎 통증이 2배 정도 높다고 하였으며(비절단자 20.2%, 하지절단자 40.3%), 특히 하지절단자 중에서도 하퇴절단자의 무릎관절염 증상이 36.4%로 매우 높은 유병률을 보이는 것으로 보고하고 있다.<sup>5</sup> 따라서 향후 인공발 개발시 외전운동에 따른 무릎과 발목 관절의 부하를 줄이는 방향으로 재료적인 측면과 구조적인 측면이 동시에 설계시 고려되어야 할 것으로 사료되며, 의족의 개선과 더불어 외전된 노면에 대한 재활보행시 체중부하의 적절한 배분 훈련이 추가적으로 병행되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 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
2. P Ball, G R Johnson, 1996, "Technique for the measurement of hind-foot inversion and eversion and its use to study a normal population", *Clinical Biomechanics*, Vol. 11(3), pp. 165~169
3. 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
4. Jaegers SMJH., Arendzen JH., de Jongh HJ., 1995, "Prosthetic Gait of Unilateral Transfemoral Amputees : A Kinematic Study", *Arch Phys Med Rehabil*, 76, pp.736~743.
5. Norvell DC, Czerniecki JM, Reiber GE, et al., 2005, "The prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis among veteran traumatic amputees and nonamputees." *Arch Phys Med Rehabil.*, 86(3), pp. 487~493.