

대퇴 절단인의 경사면 보행 분석

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

배하석 · 신지철 · 박창일 · 김용욱 · 고영훈 · 장지훈 · 이돈신

Gait Analysis of Unilateral Transfemoral Amputees with Prosthetics on an Inclined Surface

Hasuk Bae, M.D., Ji Cheol Shin, M.D., Chang Il Park, M.D., Yong Wook Kim, M.D., Young Hoon Ko, M.D., Ji Hoon Jang, M.D. and Don Sin Lee, B.A.

Department and Research Institute of Rehabilitation, Yonsei University College of Medicine

Objective: The aim of this study was to investigate the characteristics of prosthetic gait of unilateral transfemoral amputees on an inclined surface compared with those of normal persons.

Method: Five male unilateral transfemoral amputees and ten normal persons were recruited. Uphill and downhill walking of inclined surface on slopes of 10 and 20 degrees and level walking were investigated. Kinematic data were obtained with VICON 370 system (Oxford Metrics Ltd., UK).

Results: The kinematic data of the transfemoral amputees showed significantly decreased peak hip extension at all situation and peak hip flexion at 20 degrees uphill walking,

significant increased knee extension at 20 degrees downhill and all uphill walking, and significant decreased knee flexion at all situation, and significant decreased ankle dorsiflexion at all situation and plantarflexion at all situation except 20 degrees downhill walking compared with those of normal persons. Also they showed significant decreased cadence, speed and increased step time, double support at all situation compared with normal persons.

Conclusion: Analysis of prosthetic gait of unilateral transfemoral amputees on an inclined surface support the basic data for induction of normal gait pattern. (*J Korean Acad Rehab Med* 2006; 30: 69-73)

Key Words: Transfemoral amputee, Gait analysis, Prosthetic gait, Inclined surface

서 론

하지 절단은 영구적인 손상으로 인한 기능적 소실과 더불어 심리적 위축을 가져올 수 있으며 이를 최소화하기 위한 여러 연구에도 불구하고 아직도 하지 절단으로 인한 개인 및 사회적 손실은 여전히 크다고 할 수 있다.

서구에서는 1970년대에 이미 말초 혈관에 의한 절단이 가장 많이 보고되어 현재는 절단 환자의 80%를 차지하고 있는 것으로 보고되는데 반하여 국내에서는 아직 그 빈도에 대한 정확한 통계가 없는 실정이나 한국전쟁과 월남전 파병과 같은 전쟁이나 산업재해, 교통사고 등으로 인한 외상이 가장 높은 빈도로 보고되어 왔다.^{3,10,11)} 또한 Kim 등⁹⁾은 외상이 원인인 경우가 가장 흔하다고 보고하면서, 우리나라

라의 절단 장애인은 젊은 남자가 많고, 하지 절단의 빈도는 하퇴절단, 대퇴절단 순으로 보고하였다. 반면 1995년에 김 등¹⁾은 국내도 산업의 선진화와 인구의 고령화로 인해 혈관 질환이 가장 높은 빈도를 차지하는 것으로 보고하였다.

이러한 하지 절단인들은 독립적 생활과 절단 전의 사회 생활로의 복귀가 치료의 궁극적 목표라 할 수 있는데 최근 들어 하지 절단술과 의지의 발달 및 절단술 후 재활치료의 적극적 개입으로 인하여 절단인들은 예전에 비해 하지 절단에 의한 육체적 및 사회적 기능 소실이 줄어들고 많은 활동이 가능하게 되었다. 특히 편측 대퇴 절단인에서 절단 후 동반되는 기능적 소실을 최소화하기 위하여 의지 장착을 포함한 재활치료가 요구되며 또한 정상에 가까운 보행을 유도해 내기 위하여 의지에 대한 연구 및 의지장착 후 보행에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.^{7,8)} 하지만 편측 대퇴 절단인의 의지장착 후 보행에 대한 대부분의 연구가 평지에서 이루어져 왔으며 일상생활 보행 시 흔히 접하게 되는 경사면에서의 보행에 대한 연구는 많지 않다.

이에 본 연구에서는 편측 대퇴 절단인들의 경사면에서의 대퇴의지를 착용 후 보행의 특성을 분석하여 경사면 보행 시 재활 훈련 방법에 대하여 도움을 주고자 하였다.

접수일: 2005년 7월 12일, 게재승인일: 2005년 11월 11일

교신저자: 장지훈, 서울시 서대문구 신촌동 134번지

☎ 120-752, 연세의료원 재활의학과

Tel: 02-2228-6730, Fax: 02-363-2795

E-mail: doctorjih@dreamwiz.com

본 연구는 선도기술 의료공학기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(HMP-98-G-3-061-A).

연구대상 및 방법

1) 연구대상

교통사고 등의 외상으로 인한 대퇴 절단으로 최소한 3년 이상 대퇴의지를 착용하고 있으며 보행을 위한 보행 기구를 사용하지 않고, 독립적인 보행이 가능하며, 절단단에 신경종, 동통이나 환상통 등의 문제점이 없고, 절단단이 충분히 성숙되어 있는 환자로서 요통이나 척추 만곡 등의 문제점이 없으면서 현재 특별한 전신적인 질환이 없는 5명의 대퇴 절단 장애인을 대상으로 하였다. 모두 남자이고 이들의 연령은 28에서 43세로 평균 연령은 35.6세이며 절단부위는 4예에서 우측이었고, 1예에서 좌측이었다. 절단의 원인은 모두 외상이었고 절단지의 평균 길이는 32.6 cm이었다. 절단 후 기간은 5년에서 11년으로 평균 9.8년이었다. 대퇴의지는 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 다축성 공압 제어식 인공 슬관절과 동적 발(dynamic ankle foot assembly)을 이용하였다. 정상 대조군은 신경이나 근골격계 질환의 병력이 없는 건강한 성인남자 10명을 대상으로 하였고, 이들의 평균 연령이 29.4세(25~31세)였다.

2) 연구방법

경사면은 너비가 1미터이고 길이가 3미터인 금속판으로 이루어져 있으며 각각 10도 및 20도의 경사를 이룰 수 있게 특수 제작되었으며 보행 시 흔들림이 없도록 설치되어 피검사자가 각각의 각도에서 경사면을 오르거나 내릴 수 있도록 하였다.

운동형상학적 지표는 3차원 동작분석 장비인 VICON 370 3차원 동작 분석 시스템(Oxford Metrics Ltd., UK)을 이용하여 시행하였으며 검사 시행 전에 적외선 카메라에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위하여 영점조정(calibration)을 시행한 후, VICON 프로토콜(protocol)에 따라 기립 정지 상태에서 천골 표식자, 양측 골반 표식자, 양측 슬관절 표식자, 양측 대퇴 표식자, 양측 경골 표식자, 양측 족관절 표식자, 양측 전족부 표식자, 양 종골 표식자를 부착하여 검사를 시행하였다. 우선 평지를 수차례 걷게 하여 평상시의 자연스러운 보행을 유도하였으며, 검사하는 동안은 최소한 6차례 이상의 보행을 시도하여 평균값을 분석하였다. 3차원 동작분석에서 얻어진 정보로 Vicon Clinical Manager software를 이용하여 각 보행 주기에 따른 운동 형상학적 자료와 시공간적인 지표를 구하였다.

3) 분석 및 통계

통계분석은 windows용 SPSS 11.0 version을 이용하였다. 연구 대상자군과 정상인군의 특성과 보행 시 관절운동범위 및 보행의 시공간적 인자를 비교하기 위하여 independent t-test를 이용하였으며, 통계적 유의성 검정을 위한 p value는

0.05 미만으로 하였다.

결 과

1) 연구대상의 일반적인 특징

연령은 5명의 대퇴 절단 환자군은 평균 35.6세(표준편차 7.50)였고, 10명인 대조군은 평균 29.4세(표준편차 2.01)였다.

2) 운동 형상학적 분석

운동 형상학적 분석 상 평지 보행에서 대퇴 절단 환자군은 대조군에 비하여 의지축 고관절의 최대 신전 각도가 평균 1.0도로 대조군의 평균 8.6도에 비하여 통계적으로 의미 있게 감소하였고, 슬관절 최대 굴곡 각도는 평균 51.9도로 대조군의 평균 70.0도에 비하여 의미 있게 감소하였다. 족부장치의 최대 저굴 및 배굴 각도의 평균은 각각 12.8도와 1.6도로 대조군의 평균인 18.2도와 10.2도에 비하여 통계적으로 의미 있게 감소하였다.

20도 경사 내려가기 시 대조군에 비하여 고관절 최대 신전 각도는 평균 -4.3도로 대조군의 평균 8.2도와 통계적으로 의미 있는 차이를 보였으며, 대조군은 고관절의 신전 동작 시 8도까지 신전되는 양상을 보였으나 실험군에서는 굴곡에서 신전으로 넘어가기 전 -4.3도에서 신전 동작이 멈추는 양상을 보였다. 슬관절의 최대 굴곡 각도와 족부장치 최대 저굴 각도의 평균은 각각 46.6도와 9.9도로 대조군의 평균 72.5도와 24.3도와 비교 시 의미 있게 감소되었다. 슬관절의 최대 신전 각도는 평균 -4.4도로 대조군의 -11.2도와 비교하여 의미 있게 증가하였다.

10도 경사 내려가기 시 대조군에 비하여 고관절 최대 신전 각도는 평균 0.1도로 대조군의 평균 9.3도와 비교 시 의미 있게 감소되었으며, 슬관절의 최대 굴곡 각도, 족부장치 최대 저굴 및 배굴 각도의 평균은 각각 55.8도, 11.5도, 2.1도로 대조군의 평균 68.6도, 19.6도, 7.8도로 통계적으로 의미 있게 감소하였다.

10도 경사 오르기 시 대조군에 비하여 고관절 최대 신전 각도, 슬관절의 최대 굴곡 각도, 족부장치 최대 저굴 및 배굴 각도의 평균은 각각 1.6도, 50.4도, 13.1도, 1.3도로 대조군의 평균 9.9도, 67.6도, 18.1도, 15.2도에 비하여 통계적으로 의미 있게 감소하였고, 슬관절의 최대 신전 각도는 평균 -3.7도로 대조군의 평균 -10.1도에 비하여 의미 있게 증가되었다.

20도 경사 오르기 시 대조군에 비하여 슬관절 최대 신전 각도는 평균 -3.8도로 대조군의 -12도에 비하여 통계적으로 의미 있게 증가하였다. 고관절의 최대 굴곡 및 신전 각도의 평균은 48.4도와 -3.7도로 대조군의 평균 55.2도와 8.4도에 비하여 통계적으로 의미 있게 감소되었다. 슬관절의 최대 굴곡 각도는 평균 40.5도로 대조군의 평균 66.1도에 비하여 의미 있게 감소되었으며, 족부장치의 최대 저굴 및

Table 1. Joint Peak Degrees in Transfemoral Amputated and Normal Persons

	20° down		10° down		Flat		10° up		20° up	
	Exp. ¹⁾	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control	Exp.	Control
Hip fl. ²⁾	32.7±4.0	31.8±9.7	35.9±4.0	34.0±5.3	40.3±5.9	39.2±7.3	43.6±4.1	45.0±6.1	48.4±5.7*	55.2±4.8
Hip ext. ³⁾	-4.3±6.8*	8.2±6.6	0.1±1.4*	9.3±6.5	1.0±2.1*	8.6±5.9	1.6±2.7*	9.9±5.7	-3.7±1.6*	8.4±5.5
Knee fl.	46.6±19.6*	72.5±6.8	55.8±9.5*	68.6±5.5	51.9±8.1*	70.0±6.8	50.4±11.1*	67.6±6.0	40.5±8.2*	66.1±5.2
Knee ext.	-4.4±5.9*	-11.2±5.1	-4.5±5.3	-8.9±4.3	-4.0±5.5	-8.1±8.4	-3.7±5.6*	-10.1±5.1	-3.8±5.7*	-12.1±5.0
Ankle df. ⁴⁾	9.9±7.0*	24.3±2.8	11.5±3.5*	19.6±2.6	12.8±2.8*	18.2±2.1	13.1±3.1*	18.1±2.5	15.3±2.6*	23.9±1.8
Ankle pf. ⁵⁾	3.7±2.7	6.1±5.0	2.1±2.8*	7.8±4.7	1.6±2.2*	10.2±6.0	1.3±3.6*	15.2±7.4	1.3±5.2*	15.4±8.9

Values are mean±standard deviation.

1. Exp: Experimental group, 2. fl: Flexion, 3. ext: Extension, 4. df: Dorsiflexion, 5. pf: Plantarflexion

*p<0.05

Table 2. Comparison of Cadence, Speed, and Step Time

	Cadence (steps/min)		Speed (m/sec)		Step time (sec)	
	Amputated leg	Normal	Amputated leg	Normal	Amputated leg	Normal
20° down	83.6±9.3*	106.3±5.7	0.58±0.22*	1.13±0.11	0.86±0.17*	0.56±0.03
10° down	83.1±9.4*	106.4±6.6	0.67±0.22*	1.15±0.10	0.81±0.15*	0.56±0.04
Flat	79.8±6.64*	103.4±6.2	0.71±0.12*	1.14±0.10	0.80±0.04*	0.57±0.04
10° up	81.1±9.4*	101.3±6.4	0.72±0.20*	1.14±0.09	0.78±0.11*	0.58±0.04
20° up	74.6±11.6*	101.6±5.2	0.63±0.18*	1.11±0.14	0.81±0.15*	0.57±0.02

Values are mean±standard deviation.

*p<0.05

배굴 각도의 평균은 15.3도와 1.3도로 대조군의 평균 23.9도와 15.4도에 비하여 통계학적으로 의미 있게 감소하였다 (Table 1).

3) 시공간적 지표의 비교

대퇴 절단 환자군과 대조군의 시공간적 지표 중 분속수는 모든 각도에서 정상 대조군에 비하여 대퇴절단 환자의 의지 측에서 분당 20보 이상 감소되어 있는 양상을 보였으며, 통계적으로도 의미 있게 감소되었다. 보행속도도 모든 각도에서 정상 대조군에 비하여 대퇴절단 환자의 의지 측에서 0.4 m/sec 이상 감소되었으며, 통계적으로도 의미 있었다. 대조군과 비교하여 대퇴절단 환자의 의지측에서 보장 시간은 20초 이상 증가하였다(Table 2).

대퇴절단 환자의 양하지 지지기는 대조군의 양하지 지지기와 비교할 경우 평지와 모든 각도의 경사로 오르기와 내려가기 시 7.9% 이상 증가되었고, 모두 통계적으로 의미 있는 차이를 보였다. 단하지 지지기에서는 의지측이 평지 보행 시에는 차이를 보이지 않았으나 20도 경사면 내려가기

에서는 35.3%로 정상 대조군의 42.8%보다 통계적으로 의미 있게 짧았다. 이에 반해 보장은 평지 및 모든 각도의 경사면 오르기와 내려가기 시 정상 대조군에 비하여 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Table 3).

고 찰

하지절단 환자들은 수술법 및 의지의 발달과 조기 재활 치료를 통하여 보행양상의 향상을 보이고 있지만 아직도 정상인과 비교 시 보행 속도의 감소 및 보행 시 에너지 소모량이 증가하는 것으로 알려져 있다.^{5,14,15)} 하지 절단인들의 63~94%가 의지를 이용하며 이들 중 42~72%는 거의 하루 내내 의지를 착용하고 있는 것으로 알려져 있으며, 성공적인 의지 이용률은 47~94%까지로 보고되고 있듯이 연구마다 큰 차이를 보이는 것은 선택된 환자 집단, 절단 수준, 추적 관찰 기간의 차이 등에 기인한 것으로 생각한다.⁶⁾ Saap과 Little¹³⁾에 의하면 의지를 맞춘 절단인들 중 16.1%가 의지를 사용하지 않는데 그 이유는 외관의 외형이나 불편

Table 3. Comparison of Double Support, Single Support, and Step Length

	Double support (%cycle)		Single support (%cycle)		Step length (cm)	
	Amputated leg	Normal	Amputated leg	Normal	Amputated leg	Normal
20° down	36.2±13.0*	25.0±3.9	23.5±3.7*	38.4±2.5	51.1±11.4	62.5±6.3
10° down	34.7±11.5*	26.8±2.8	27.9±4.6	37.5±2.8	54.3±13.2	62.7±4.7
Flat	34.2±6.0*	26.3±3.9	29.6±2.8	37.7±2.1	57.6±12.1	64.6±4.2
10° up	35.1±8.8*	25.9±3.3	30.4±3.8	38.8±2.3	54.6±11.0	63.22±5.2
20° up	38.2±9.0*	27.2±3.7	31.2±2.9	38.6±2.1	50.7±13.5	61.9±8.5

Values are mean±standard deviation.

*p<0.05

감, 그리고 잘못 맞추어진 의지로 인한 것으로 설명되어지며, 한 등³⁾은 의지 이용자들이 평지 보행은 대부분 독립적 걷기가 가능하나 계단 등에서는 도움을 필요로 하는 경우가 35%에 이르는 것으로 보고하였다. 절단인들의 의지 착용을 결정하는 요인은 여러 가지가 있겠지만 환자의 나이, 동반된 내과적 문제나 순응도 등에 따라 이용에 큰 차이가 있는 것으로 보고되었다.⁶⁾ Mueller와 Delitto¹²⁾는 하퇴절단의 경우 대퇴절단보다 의지를 착용하는 비율이 높은 것은 대퇴절단의 경우 의지장착이 하퇴절단에서의 경우보다 어렵고 에너지 소모량도 현저히 높으며, 절단원인이 혈관 질환인 비율이 높은 것을 원인으로 들고 있다.

대퇴절단 환자들은 이처럼 하퇴절단 환자보다 보행 시 에너지 소모량이 높기 때문에 보행 시 지면의 굴곡 및 상태에 따라 착용 및 만족도에 큰 영향을 미칠 것으로 생각한다. 대퇴절단 환자의 에너지 소모량이 정상에 비해서 증가하는 것은 슬관절의 소실이 가장 중요한 이유로 알려져 있고,^{5,14)} 절단 부위에 따라 보행 시 에너지 소모량은 31%에서 67%까지 증가하는 것으로 알려져 있어 많은 연구가 인공 슬관절의 물리적 특징에 대해 이루어지고 있다.^{2,4,15)}

본 연구에서는 대퇴 절단술을 시행한 후 본원에서 의지를 착용한 후 재활치료를 시행 받은 환자들이 가장 많이 사용하고 있는 다축성 공압 제어식 인공 슬관절과 동적 발을 이용한 의지를 사용하였다.

이번 연구에서 평지 및 모든 각도의 경사면 오르기 및 내려가기에서는 의지측은 정상 대조군에 비해 분속수의 감소를 보였고, 반면 보장은 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 보행 속도에서는 의지측은 모든 경우에서 정상 대조군보다 작은 값을 나타내었다. 정상 대조군은 경사면 내려가기에서 평지보행보다 분속수가 증가하는 경향을 보인 반면 경사면 오르기에서는 평지보행보다 분속수가 감소하였으며, 이에 반해 보장은 평지 보행 시 가장 길었고 경사면 오르기 및 내려가기에서 짧아지는 경향을 보여, 결국 10도 경사면 내려가기에서 가장 빠른 보행 속도를 보였다. 대퇴 절단인의 의지측은 경사면 내려가기 및 10도 경사

면 오르기에서 평지 보행보다 분속수가 큰 값을 보인 반면 20도 경사면 오르기에서는 평지 보행보다 작은 값을 보였고, 보장은 평지 보행 시 가장 긴 값을 보이고 경사면 오르기 및 내려가기에서 짧아지는 경향을 보여 정상 대조군과 유사한 양상을 보였으나 그 변화 정도는 의지 측에서 더 현저하게 나타났다. 결국 보행 속도에서 의지측은 10도 경사면 오르기에서 가장 큰 값을 보였는데 이는 대퇴 절단인이 낙상에 대한 두려움이나 우려로 경사면 내려가기에서는 의지 및 건축 하지의 보장 길이가 짧아지고, 반면 경사면 오르기에서는 정상 대조군은 평지 보행보다 보장거리가 짧아지는 것과 달리 절단인의 건축 하지는 경사면 오르기에서 오히려 보장 거리가 길어지는 것으로 보아 경사면 오르기에서 무의식적으로 평지보행보다 더 많은 노력을 기울인 결과로 생각된다.

결 론

대퇴 절단 환자에서 대퇴의지를 착용한 후의 보행 분석에서 경사면 보행 시에는 평지 보행과 다른 운동형상학적 변화를 나타내었고, 이로 인해 실외 보행 시 에너지 소모가 적고 자연스러운 보행을 위해서는 생체 역학 및 새로운 의지 개발에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각한다. 본 연구에서는 본원 대퇴 절단환자들이 가장 많이 사용하는 다축성 공압 제어식 슬관절 및 동적 족부장치를 이용하여 평지 및 경사면에서의 보행을 분석하여 향후 더 발전된 인공 슬관절 및 족부장치의 개발과 절단환자들에게 필요한 재활치료에 대한 기초 자료를 제공하였다. 향후 다양한 연령층 및 성별을 대상으로 여러 가지 인공 슬관절 및 족부장치에 따른 보행 분석이 이루어져야 하며 이에 따른 생체 역학적 특징을 비교 검토하여 대퇴절단 환자의 자연스러운 보행을 유도하기 위한 대퇴 의지에 대한 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 김혜원, 강세윤, 고영진, 구명화: 사지 절단에 대한 임상적 고찰. 대한재활의학회지 1995; 19: 97-102
 - 2) 박창일, 신지철, 배하석, 김덕용, 최용석: 국산 다축성 입각기 및 유각기 동시제어 인공 슬관절의 평가. 대한재활의학회지 2001; 25: 1059-1068
 - 3) 한태륜, 김진호, 정성근, 임재영, 임석진, 최중경: 지역사회 하지 절단 장애인 실태 조사. 대한재활의학회지 2001; 25: 707-713
 - 4) Fisher SV, Gullickson G Jr: Energy cost of ambulation in health and disability: a literature review. Arch Phys Med Rehabil 1978; 59: 124-133
 - 5) Gonzalez EG, Corcoran PJ, Reyes RL: Energy expenditure in below-knee amputees: correlation with stump length. Arch Phys Med Rehabil 1974; 55: 111-119
 - 6) Greive AC, Lankhorst GJ: Functional outcome of lower-limb amputees: a prospective descriptive study in a general hospital. Prosthet Orthot Int 1996; 20: 79-87
 - 7) Hicks R, Tashman S, Cary JM, Altman RF, Gage JR: Swing phase control with knee friction in juvenile amputees. J Orthop Res 1985; 3: 198-201
 - 8) Kerstein MD, Zimmer H, Dugdale FE, Lerner E: Amputation of the lower extremity: a study of 194 cases. Arch Phys Med Rehabil 1974; 55: 454-459
 - 9) Kim DY, Kim TS, Kim YC, Park CI, Shin JC: Statistical analysis of amputation and trends in Korea. Prosthet Orthot Int 1996; 20: 88-95
 - 10) Laaperi T, Pohjolainen T, Alaranta H, Karkkainen M: Lower-limb amputations. Ann Chir Gynaecol 1993; 82: 183-187
 - 11) Moore TJ, Barron J, Hutchinson F 3rd, Golden C, Ellis C, Humphries D: Prosthetic usage following major lower extremity amputation. Clin Orthop Relat Res 1989; 238: 219-224
 - 12) Mueller MJ, Delitto A: Selective criteria for successful long-term prosthetic use. Phys Ther 1985; 65: 1037-1040
 - 13) Saap L, Little CE: Functional outcomes in a lower limb amputee population. Prosthet Orthot Int 1997; 21: 92-99
 - 14) Waters RL, Perry J, Antonelli D, Hislop H: Energy cost of walking of amputees: the influence of level of amputation. J Bone Joint Surg Am 1976; 58: 42-46
 - 15) Waters RL, Mulroy S: The energy expenditure of normal and pathologic gait. Gait Posture 1999; 9: 207-231
-