

# 정상인의 보행특성분석 : 성인 및 어린이

김 영호, 양 길태, 임 송학  
재활공학연구센터

## Gait characteristics of normal people : Adults and children

Y.H. Kim, G.T. Yang, and S.H. Lim

Research Center of Orthopedics & Rehabilitation Engineering

### Abstract

The present study was performed to investigate gait characteristics of 30-39 year-old normal adults and 9-10 year-old children. The results focused on joint motions in the sagittal plane and ground reaction forces. The results will play an important role as a valuable data to determine normal and abnormal gait patterns as well as gait characteristics of Korean people.

하고 있지 않은 실정이다. 이를 위해서는 체계적으로 수년간 보행분석 데이터를 수집하여 데이터베이스를 구축하여야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 한국인의 보행특성을 연령별, 성별로 구분하여 파악하고, 비정상적인 보행을 하고 있는 사람들과 비교할 때 표준 데이터로 사용하고자 한다. 본 논문에서는 성인들과 어린이들에 대한 보행특성 중에서 sagittal plane에서의 관절의 움직임과 지면반발력에 관하여 보고하고자 한다.

### 방 법

### 서 론

보행은 인간이 활동하는데 있어 가장 기본적인 행위 중의 하나이며, 이같은 행위를 체계적으로 연구하는 학문을 보행분석이라 한다. 보행분석은 19세기 중반부터 체계적인 연구가 시작되었으며, 컴퓨터와 전자기술, 센서의 개발로 인하여 초기의 시각적인 연구로부터 점점 더 복잡한 측정방법을 통해 수학적 분석 및 모델링까지 꾸준히 발전하여 왔다. 최근에 들어 물리치료, 생명공학, 정형외과, 류마치스학, 신경과학, 재활의학, 스포츠과학 같은 전문분야에서 임상적 이용에 관한 관심이 증가하고 있다<sup>(1,2)</sup>.

비정상보행을 이해하기 위해서는 정상보행에 관한 연구가 필요한데, 이는 평가하려고 하는 환자의 보행에 대한 표준을 제공하여 주고 있기 때문이다. 또한 정상이란 용어는 성별, 연령별 그리고 다양한 신체적 조건들이 포함되어 있기 때문에, 피검자에 관한 적절한 기준이 필요하다. 즉 노인과 어린이의 보행은 정상인이라 해도 다르며, 남자와 여자의 보행 역시 다르다<sup>(3,4)</sup>. 이와 같이 비정상적인 보행을 평가할 때도 평가하려는 대상과 비슷한 정상보행에 대한 자료가 필요하다. 그러나 보행분석이 국내에 소개된 지 얼마 되지 않았고, 따라서 신체적, 문화적으로 서양인들과 상이한 한국인의 정상보행 데이터가 존재

실험에 참여한 피검자들은 총 21명으로 30대 성인들과 초등학교 4학년 남녀 어린이들을 대상으로 선정하였다. 피검자들의 기본적인 자료는 표 1에 소개되어 있다.

피검자에 대한 임상적 자료는 시각적 검토와 개인별 병력을 조사하고 특별한 외관상의 이상이 없고, 보행 역시 특별한 이상이 없는 사람들로 선정하였다.

실험장치로는 4개의 piezoelectric force plate (600 x 900 2개, 400 x 600 2개), 적외선 카메라 6대, 25mm 반사마커, CCD 카메라 2대, VCR, 데이터 처리장치 (VICON 370<sup>(5)</sup>), 컴퓨터 등이 사용되었다.

먼저 적외선 카메라가 인식할 수 있는 마커들을 피검자의 천골(sacrum), 좌우 anterior superior iliac spine (ASIS), 좌우측대퇴부, 좌우측무릎, 좌우측경골부, 좌우측발목, 좌우측발가락, 좌우측발뒤축<sup>(5)</sup>에 부착하고<sup>(6)</sup> force plate가 설치되어 있는 walkway를 보행하도록 하였다. 피검자가 실험실에서 각종 실험기들을 몸에 부착하면 경직된 보행을 하므로 실험실에서 충분한 보행연습을 시켜 자연스러운 보행을 유도하여 평상시의 자유보행이 되도록 하였다.

피검자가 보도(walkway)를 보행하는 동안, 적외선 카메라는 신체에 부착되어 있는 마커의 위치를 감지하고 force plate는 피검자의 신체 하중에 의한 지면반발력을 실시간으로 처리하여 컴퓨터에 저장하였다.

동시에 VCR을 이용하여 피검자의 보행을 녹화하고 차후 데이터 분석에 사용하였다. 피검자에 대한 실험은 실험오차를 줄이기 위하여 개인별 5회 이상 실시했으며, 피검자가 매번 실험을 할 때마다 보행특성이 변하기 때문에 이들에 대한 자료를 평균하였다.

결과 및 고찰

본 연구는 한국인의 보행특성을 성별, 연령별로 나누어 파악하고, 표준 데이터를 만들기 위한 것으로 비정상적인 보행과는 비교하지 않았다. 또한 성인과 어린이의 보행 특성을 보행주기에 따라 신체 하지의 주요 관절의 시상면(sagittal plane)에서의 움직임과 지면으로부터의 반발력들을 4개의 영역으로 구분하여 왼쪽 발을 기준으로 나타내고자 한다.

시상면에서의 관절운동

그림 1은 정상인이 보행하는 동안 골반, 고관절, 슬관절, 족관절의 각도를 보여주고 있다. 본 논문에서는 한 보행주기를 1) 발뒤축접지기에서 반대발의 발가락들림기, 2) 반대발의 발가락들림기에서 반대발의 발뒤축접지기, 3) 반대발의 발뒤축접지기에서 발가락들림기, 4) 발가락들림기에서 발뒤축접지기의 4개 영역으로 나누어 설명하고자 한다.

1) 발뒤축접지기(heel contact) - 반대발 발가락들림기(opposite toe-off).

발뒤축접지기에서 반대발 발가락들림기 사이는 보행주기의 제 1 양하지지지기(first double limb support phase)로써 발뒤축이 지면에 접촉하여 신체의 하중이 전이되고 발바닥접지기(foot flat)로 진행되는 시기로 보행주기의 약 0% - 10% 사이이다<sup>(1,7)</sup>. 발은 신체의 하중이 이동함에 따라 충격을 완화하기 위하여 저굴(plantarflexion)이 생기다가 발바닥접지기가 진행되면서 배굴(dorsiflexion)이 발생한다. 무릎 역시 신체 하중이 전이됨에 따라 충격을 완화하기 위하여 첫 번째 굴곡(flexion)이 일어나며, 반대발 발가락들림기에서 최대굴곡이 발생한다. Hip은 최대로 굴곡되어 있다가 신체를 앞으로 이동시키기 위하여 신전(extension)을 시작하며, 골반의 경우 양하지지지기 동안에 가장 낮게 위치한다. 성인에 비하여 어린이들은 분속수(cadence)가 크고 step length가 작기 때문에 고관절과 무릎관절의 굴곡이 크게 나타난다.

2) 반대발 발가락들림기(opposite toe-off) - 반대발 발뒤축접지기(opposite heel contact)

반대발 발가락들림기에서 반대발 발뒤축접지기는 단하지 지지기(single limb support phase)로써 보통 보행 주기의 10% - 50% 사이에서 일어난다<sup>(1,7)</sup>. 이 기간에는 신체 하중이 완전히 전이되어 신체의 무게

중심이 바깥쪽으로 이동되어 움직이고, 발은 배굴이 서서히 진행되다가 발뒤축들림기에서 최대배굴이 발생한다. 무릎은 입각기(stance phase)의 최대굴곡에서 서서히 신전이 되면서 신체의 하중을 받아 신체를 전방으로 이동하면서 발뒤축들림기에서 다시 굴곡이 생긴다. Hip은 계속해서 신전이 일어나며, 골반은 발뒤축들림기에서 최대로 앞쪽으로 이동되다가 뒤쪽으로 이동한다.

3) 반대발 발뒤축접지기(opposite heel contact)에서 발가락들림기(toe-off)

반대발 발뒤축접지기에서 발가락들림기는 제 2 양하지지지기(double limb support phase)로써 보행 주기의 50% - 60%사이에서의 움직임을 말한다<sup>(1,7)</sup>. 이 기간은 체중이 다시 반대발로 전이되는 기간으로 짧은 보행주기 동안 많은 변화가 발생한다. 발의 경우 매우 급격한 저굴이 발생하는데 이는 반대쪽 발로 체중을 전이하기 위하여 신체의 무게중심을 다시 반대쪽으로 이동시키면서 전방으로 신체를 이동시키에 기인한다. 또한 최대저굴은 발가락들림기 직후에 발생하는데 어린이들에 비해서 성인들의 경우에 저굴이 많이 되는 것을 알 수 있다. 무릎은 굴곡이 급격하게 진행되어가고, hip은 최대로 신전되었다가 다시 굴곡이 일어나는 시기이다. 골반은 발가락들림기 이후에 최대로 뒤쪽으로 이동하였다가 다시 앞쪽으로 이동한다.

4) 발가락들림기(toe-off)에서 발뒤축접지기(heel contact)

발가락들림기에서 발뒤축접지기는 보행주기의 약 40% 정도를 차지하며<sup>(1,7)</sup>, 보통 유각기(swing phase)라고 한다. 이 시기의 체중은 반대쪽 발에 전이되어 있고, 하지 전체는 공중에 떠 있는 상태이다. 발이 지면에 끌리는 것을 방지하기 위하여 급속하게 배굴이 진행되다가 다음 보행주기에 대비하기 위하여 중립의 위치로 이동한다. 무릎 역시 발을 지면으로부터 들어올리기 위하여 굴곡이 지속되다가 발뒤축접지기를 대비하기 위하여 급속히 신전이 발생한다. Hip 또한 유각기에서는 굴곡이 급속히 진행되다가 유각기 말기에 다음 보행을 준비하기 위하여 약간의 신전이 발생한다. 골반은 입각기의 단하지지지기와 마찬가지로 유각기에서도 앞쪽으로 이동하다가 유각기 말기에 최대정점을 이룬다.

지면반발력(ground reaction force)

그림 2에서는 보행주기동안의 지면반발력을 보여 주고 있다. 힘측정판(force plate)은 보행분석시 사용되는 장비 중의 하나로 발바닥이 지면에 작용하는 힘의 총합을 측정한다. 힘측정판은 평균 지면반발력 벡터를 세 방향(수직, 측방, 전후)에서 기록하고, 전기적 출력신호를 처리하여 수직축에 대한 모멘트, 압력중심 등을 계산한다. 그림에서는 보행 주기에 대

## 정상인의 보행특성분석 : 성인 및 어린이

한 힘의 세 가지 요소를 나타낸 것으로 일반적인 표현 양식에 의해 지면반발력이 상방, 전방, 우측으로 향할 때 "+"의 값으로 나타낸 것이다<sup>(1,8)</sup>. 본 논문은 왼쪽 발을 기준으로 도시한 것이다.

힘의 전후요소는 발뒤축접지기에서 반대발 발가락들림기까지는 뒤쪽으로 이동하므로, 제동이 되다가 반대발 발뒤축접지기까지 급격히 가속이 된다. 그후에는 신체하중이 반대발로 전이되므로 감속이 진행된다. 유각기 동안에는 힘측정판에 힘의 성분이 측정되지 않으므로 힘의 전후요소 역시 나타나지 않는다. 오른발은 왼발과 동일한 형태의 힘의 분포를 보이고 있다.

힘의 측방요소는 발뒤축접지기에 순간적으로 몸의 무게중심을 오른쪽으로 가속하다가 입각기 전반에 걸쳐 왼쪽으로 가속되고 있다. 오른발은 왼발과 반대방향으로 나타난다.

힘의 수직분력은 두 개의 최대값을 가지는 전형적인 패턴을 보이는데 첫 번째 최대치는 입각기 초기에 급격히 증가하다가 반대발 발가락들림기에서 나타난다. 입각기 중반에 체간이 다리를 빠르게 지나는 동안 수직분력이 감소하다가 반대발 발뒤축접지기에 두 번째 최대 수직분력이 나타난다. 입각기 말기에는 반대발로 체중이 전이되므로 힘의 수직분력은 급속히 감소하게 된다.

본 연구에서는 한국인의 보행특성을 표준화하기 위해서 30대 성인과 9-10세의 남녀 어린이들에 관한 보행분석 데이터들을 소개하였다. 현재 타 집단에 관한 데이터들도 계속 수집 중이며, 이러한 연구결과가 임상 뿐 아니라 기타 관련산업에도 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

### 결 론

본 연구를 통해서 30대 성인과 9-10세의 남녀학생들의 보행특성을 파악하였다. 30대 성인과 9-10세의 남녀학생들의 보행패턴은 매우 유사하며, 이는 9-10세 정도이면 이미 보행에 관한 일반적인 요소들이 결정된 상태라는 것을 알 수 있다. 9-10세의 성별에 따른 보행차이는 미미하지만 약간씩 나타나고 있다. 그러나 아직까지는 현저한 남녀별 보행특성이 나타나지 않고 있으며, 성장함에 따라 성별에 따른 보행특성이 나타나리라고 예상된다.

### 참고문헌

1. Whittle M.W. *Gait analysis : An introduction*. Butterworth-Heinemann, 1991.
2. Winter T.F. Gage J.R., and Hicks R. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and adults. *J. Bone Joint Surg* 69-A: 437-441, 1982.

3. Nigg B.M., Fisher V., and Ronsky J.L. Gait characteristics as a function of age and gender. *Gait & Posture* 2: 213-220, 1994.
4. Murray M.P., Kory R.C., Sepic S.B., Walking patterns of normal women. *Arch Phys Med & Rehab* 51: 637-650, 1970.
5. VICON clinical manager user manual. Oxford Metrics, 1995.
6. Davis R.B., Ounpuu S, Tyburski D., and Gage J.R. A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Sci* 10: 575-587, 1991.
7. Inman V.T., Ralston H.J., and Todd F. *Human walking*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1981.
8. Bresler B., Flankel J.P. The forces and moments in the leg during level walking. *Trans ASME*, 72: 27-36, 1950.

표 1. 피검자의 나이, 키, 체중의 분포

집단	피검자수	나이(세)	키(cm)	체중(kg)
30 - 39 (Male)	6	31.3 (30.3-33.9)	169 (163-175)	66 (53-89)
9 - 10 (Male)	6	9.4 (9.1-9.9)	138 (129-148)	38 (28-67)
9 - 10 (Female)	9	9.1 (7.1-10.1)	131 (113-139)	28 (20-34)

표 2. 피검자의 보행 인자.

	30 - 39 (male)		9 - 10 (male)		9 - 10 (female)	
	left	right	left	right	left	right
cadence (step/min)	112	112	123	123	126	127
walking velocity (m/s)	1.26	1.26	1.25	1.26	1.21	1.21
stride time (s)	1.06	1.06	0.96	0.96	0.94	0.94
step time (s)	0.52	0.54	0.48	0.48	0.47	0.46
single limb support(s)	0.43	0.42	0.40	0.40	0.39	0.39
double limb support(s)	0.21	0.22	0.15	0.15	0.16	0.16
stride length (m)	1.34	1.34	1.21	1.21	1.14	1.14
step length (m)	0.65	0.68	0.6	0.6	0.56	0.57

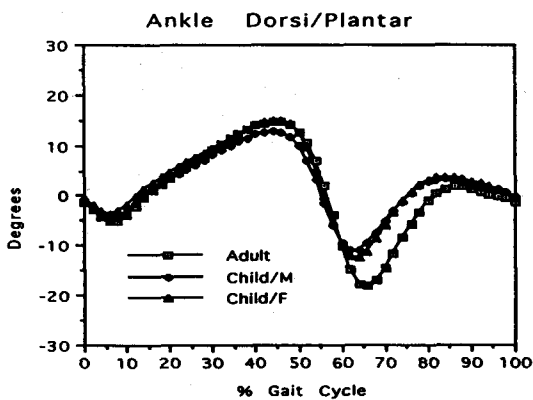
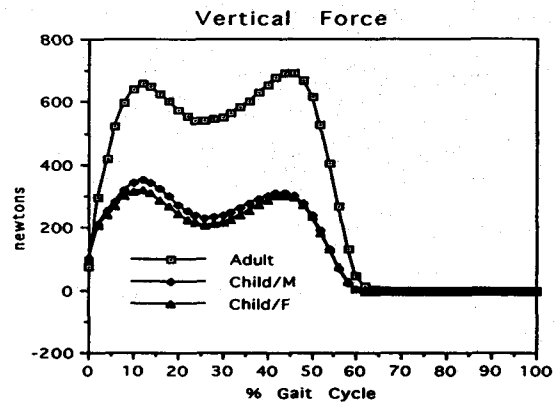
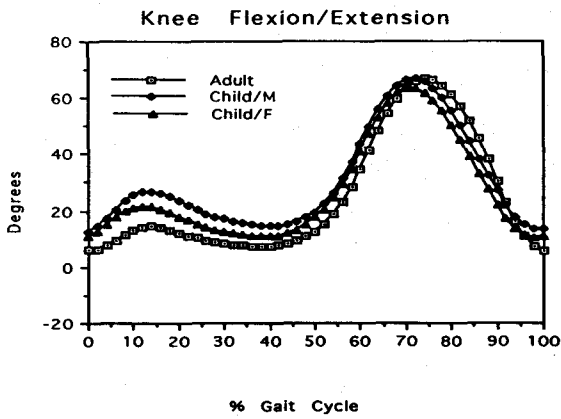
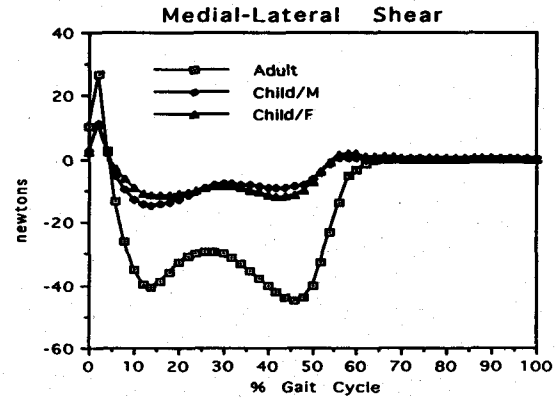
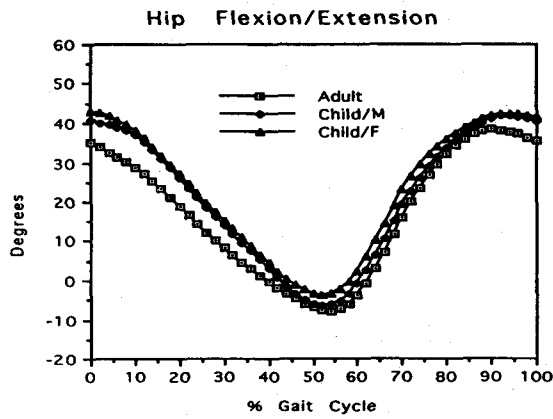
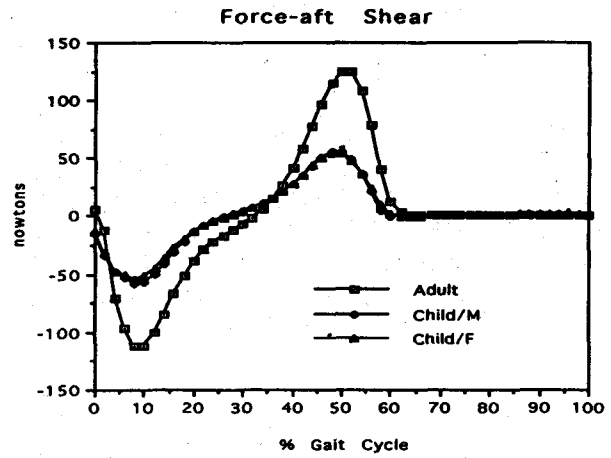
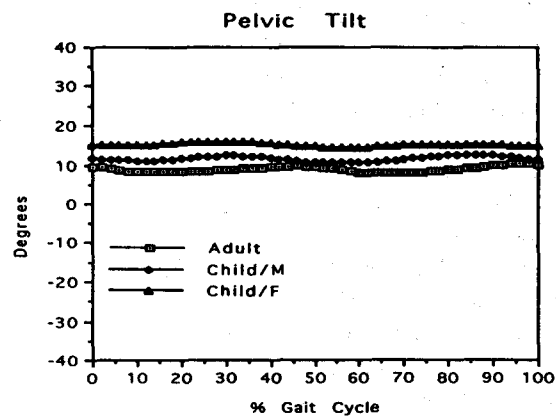


그림 2. 정상인의 보행주기 동안의 지면반발력.  
Fig. 2. Ground reaction forces during one gait cycle of a normal subjects.

그림 1. 정상인의 골반, 고관절, 슬관절, 족관절의 각도.  
Fig. 1. Pelvic, hip, knee, and ankle joint angle of normal subjects.