

보행시 족저압 분포와 척추 측만의 상관관계 연구

박재현 · 장화선 · 정재우 · 노시철* · 최흥호*†

The study of correlation between foot-pressure distribution and scoliosis

Jae-hyun Park, Hwa-seon Jang, Jae-woo Jung, Si-chul Noh*, and Heung-ho Choi*†

Abstract

The propose of this study is evaluating which correlation of foot pressure distribution and scoliosis that happen by walking to 20'th Mens that have not experienced a scoliosis. The propose of this study is evaluating which correlation of foot pressure distribution and scoliosis that happen by walking to 20'th Mens that have not experienced a scoliosis. Measurement and analysis of Foot Pressure was executed by using by F-scan System. Degree of scoliosis was expressed as a angle used x-ray image of 5-lumbar from 4-thoracic vertebra The correlation between result of foot pressure and degree of scoliosis was evaluated under 0.05 interrelationship, and variables used for analysis were showed high correlation.

Key Word : foot pressure, f-scan system, scoliosis

1. 서 론

보행이란 인간의 움직임 중에서도 가장 평범한 것이며 무의식적으로 학습되는 것이다^[1]. 보행은 양 하지에 의해 이루어지는 한 걸음을 보행주기가라 하고, 입각기와 유각기로 구분된다. 입각기는 발이 지면에 닿고 있는 상태이며, 유각기는 발이 지면에서 떨어져 공중에 있는 상태를 말한다. 정상 보행은 한쪽 발뒤꿈치가 지면에 닿는 시기에서 반대쪽 발뒤꿈치가 지면에 닿는 시기까지의 동작 과정의 반복이다^[2]. 보행이 이루어지게 되면 발의 구조적, 기능적 상태 혹은 신발이나 노면 상태에 의해 족저압이라는 압력 분포가 나타난다^[3]. 족저압은 인체의 균형정도에 반영하는 하나의 지표로서, 운동과학의 임상분야, 연구분야에서 많은 관심을 갖고 있는 측정대상 중 하나이다^[4]. 족저압을 측정함으로써 발의 특정부위에 가해지는 압력을 관찰할 수 있는데^[5], 바르지 않은 자세의 보행 패턴은 생리학적 장애를 가져와 근육과 관절에 피로를 주며, 척추에 반복적인 비정상

충격을 전달하여 척추질환의 직접적인 원인이 되기도 한다^[6].

족저압 측정 방법에는 힘판을 이용한 족저압 측정 방법, 압력판을 이용한 족저압 측정 방법, 신발 내에 센서를 삽입하는 삽입형 족저압 측정 방법이 대표적이다. 그러나 힘판이나 압력판을 이용한 족저압의 측정은 발의 각 부위별 압력을 측정하는데 한계가 있으며, 족저압에 대한 다양한 정보를 제시하지 못한다는 단점이 있다^[4]. 신발 삽입형 족저압 측정 방법은 족부의 주기적인 보행 상태에서의 족저압 변화에 대한 정보 획득에 유용하다고 평가되어 1990년대부터 신발 삽입형 족저압 측정 방법이 주를 이루고 있다. 족저압의 측정은 최근 발의 건강에 대한 관심이 고조되면서 족부 통증 환자, 당뇨병 환자, 류마티스 등의 관절염 환자에서의 분포 분석을 위하여 연구되고 있으며, 각종 족부 질환에 의한 발의 변형과 뇌성마비, 관절염 등에 의한 하지 절단 환자, 편마비 등의 이상 보행을 보이는 환자들을 대상으로 발에 미치는 영향을 분석하는 등 다양한 분야에서 연구되고 있다^[7].

본 연구는 보행 습관에 따른 척추 변형 및 척추 변형에 의한 족저압 분포 변화의 상관관계 평가를 목적으로 수행되었다. 이를 위하여 모든 피험자에게 동일한 족저압 측정 프로토콜을 제공하여 족저압을 측정하고

인제대학교 의생명공학과(Dept. of Biomedical Engineering, Inje University)
*인제대학교 BK21 바이오조직재생사업팀(BK21 Bio-Organ Tissue Regeneration Project Team, Inje University)

†Corresponding author: hhchoi@bme.inje.ac.kr

(Received : January 17, 2008, Revised : March 24, 2008,

Accepted : April 2, 2008)

표 1. 피험자 특성

Table 1. Characteristic of Subjects

Subject	Age (yr)	Stature (cm)	Weight (kg)
1	25	177	84.5
2	26	181	84
3	25	179	84
4	23	180	68

척추 측만 정도에 대한 데이터를 획득하여 상관관계를 분석하였다.

2. Material and Method

본 연구에서는 족저압 분포 데이터 측정을 위하여 F-scan[®]VersaTek System (Tekscan Inc., USA)을 사용하였으며, Research Foot ver 5.23 (Tekscan Inc., USA)을 이용하여 획득된 데이터의 분석을 수행하였다. 피험자는 척추질환 병력이 없는 20대 성인 남성 4명으로 설정하였으며, 측정 변수의 최소화를 위하여 신체조건이 유사한 피험자를 대상으로 실험을 수행하였다.

표 1은 피험자의 일반적인 신체 조건을 보여주고 있으며, 그림 1은 각 피험자의 척추 영상과 측만 방향, 측만정도를 보여주고 있다. (a)~(d)는 각 피험자별 x-ray 영상으로 (a)의 경우 흉추 12번까지 우측으로

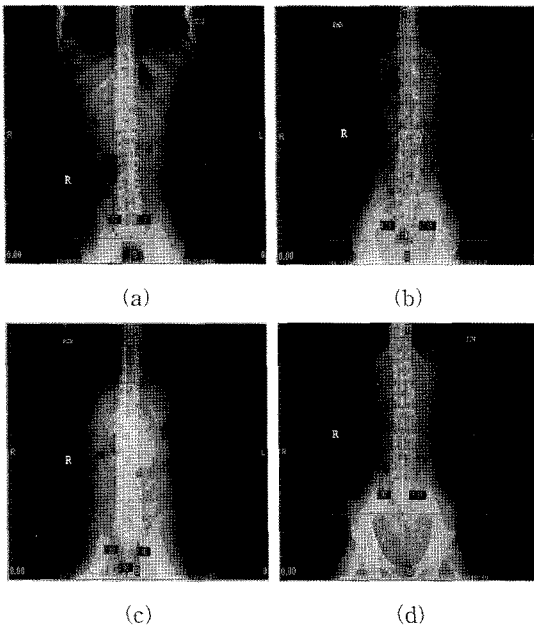


그림 1. X-ray 영상을 이용한 척추 측만도 분석
Fig. 1. Analysis of scoliosis using X-ray image.

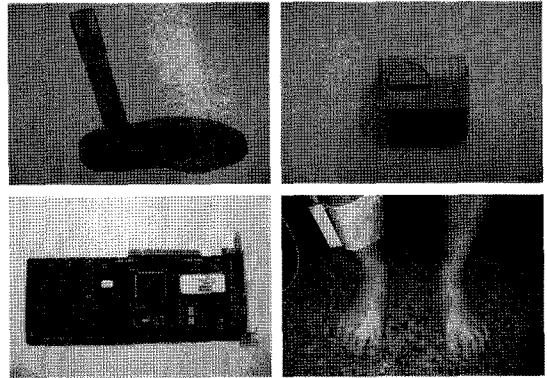


그림 2. 족저압 측정 하드웨어 및 측정 사진
Fig. 2. Measurement Hardware of Foot-Pressure and Measurement Picture.

2.25° 측만 정도를 보였으며, (b)의 경우 요추 2번까지 좌측으로 3.96°, (c)의 경우 영상으로 흉추 7번까지 좌측으로 1.61°, (d)의 경우 요추 2번까지 좌측으로 3.32°가 측만되어 있음을 보여주고 있다.

2.1. 족저압 측정 하드웨어

족저압의 측정을 위하여 본 연구에서 사용된 F-scan-VersaTek System (Tekscan Inc., USA)은 족저압 분포 측정을 위한 센서 어셈블리, PC 인터페이스 장치, 신호처리 보드로 구성되었다. 압력 센서 어셈블리는 일반적인 발의 형태와 유사하고, 크기 조절이 가능하며, 얇고 변형이 쉬운 재질로 이루어져 있다. 족저압 측정을 위한 센서의 분해능은 5 mm×5 mm로 배열 형태로 구성되었다. 피험자의 자유로운 동작 상태를 보장하기 위하여 10 m 정도의 케이블이 포함되어 있으며, 발목에 탈/부착이 용이한 형태의 인터페이스로 구성되었다. 인터페이스 장치는 가벼운 소재로 구성되어 보행 시 족저압에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 설계되어 있다. 신호처리 보드는 획득된 족저압 신호를 PC로 전송하며, 850 Hz 샘플링 주파수로써 데이터를 수집하도록 설정되었다. 그림 2는 족저압 측정을 위한 시스템 및 측정 모습을 보여주고 있다.

2.2. 분석 소프트웨어

족저압 분포 특성을 분석하기 위하여 Research Foot ver 5.23 (Tekscan Inc., USA)을 사용하였으며, 척추 측만 정도를 판단하기 위해 Mimics ver 8.1 (Wikimedia Foundation Inc., USA)을 이용하였다. 족부로부터 획득된 데이터로부터 족저압 중심의 이동 경로, 영역별 압력 분포 및 최대 압력, 면적을 수치화하였다. 피험자의

척추 측만 정도는 Mimics ver 8.1과 요추 5번부터 흉추 7번의 X-ray 영상을 이용하여 분석하였다. 영상에서 요추 5번의 중심과 횡방향으로 가장 많은 위치 차이를 보이는 요추 또는 흉추까지의 각도 변화량을 측정하였으며, 족저압과 측만정도의 데이터를 분석하였다. 데이터 분석 및 상관관계 평가는 SPSS ver. 12.0과 MicroSoft社의 Excel ver. 2003을 이용하여 평가하였다. 그림 1과 같이 횡방향으로 요추 1번과 가장 큰 위치차를 보이는 요추 또는 흉추의 번호가 낮을수록, 요추 또는 흉추의 크기가 클수록 각의 변화량은 큰 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.

2.3. 측정 프로토콜

족저압을 측정하기 전 센서를 피험자의 족부 크기에 맞도록 조정하였다. 측정 시스템이 센서가 부착된 신발, 피험자의 양발, 바닥의 마찰 상태 등에 영향을 받고 맨발일 때 센서의 감도가 최대임을 고려하여 피검자의 맨발에 센서를 부착시켜 족저압을 측정하였다. 데이터 획득은 좌/우 족부에 대하여 독립적으로 진행하였으며, 동일 프로토콜과 신호 처리과정을 이용하여 데이터의 신뢰성을 확보하였다.

데이터 측정은 피험자의 체중을 Research Foot ver 5.23에 입력하고, 보정(calibration)을 위해 5초간 움직임 없이 센서가 부착되어진 족부로만 서 있도록 하여 족부 영상의 가시화(image mapping)가 이루어지게 하였다. 이후 피험자는 미리 지정해둔 공간에서 자유 보행을 시작하도록 하여 가장 자연스러우면서도 편안한 보행을 연습하였다. 피검자 스스로 변화된 환경에 충분

히 적응하였다고 판단되어지면 피검자는 10 m의 실험 공간에 그어져 있는 선을 따라 10회의 자유 보행을 연속적으로 수행하였다. 회전 및 방향 전환으로 발생 가능한 변수를 제거하기 위하여 직선 보행을 수행하였다. 획득된 전체 데이터 중 처음과 마지막 데이터는 제외하였다. 보행 중 입각기에 나타나는 족저압 분포는 마스크 이미지를 사용하여 모든 피험자에게 동일한 위치에서 나타나도록 하였다.

관심 영역은 총 7개의 영역으로 설정하였다. 전족 2부위(M1,M2), 중족 3부위(M3,M4,M5), 후족 2부위(M6,M7)로 구분하였으며, 해당 영역에 하중이 전달되면 압력의 최대값을 나타내도록 설정하였다. 그림 3은 설정된 7개의 영역을 보여주고 있다.

표 2. 족저압 이동경로의 기본 정보

Table 2. Basic Information of Mobility Route in Foot-Pressure

Subject	Distance		Slope		Direction
	Left	Right	Left	Right	
1	194.6±4.2	189.8±3.3	17.16	30.27	inner
2	172.0±5.0	179.5±1.5	27.56	48.38	inner
3	157.0±8.0	174.0±2.0	8.76	7.92	inner
4	162.0±9.6	163.5±9.1	26.38	16.04	inner

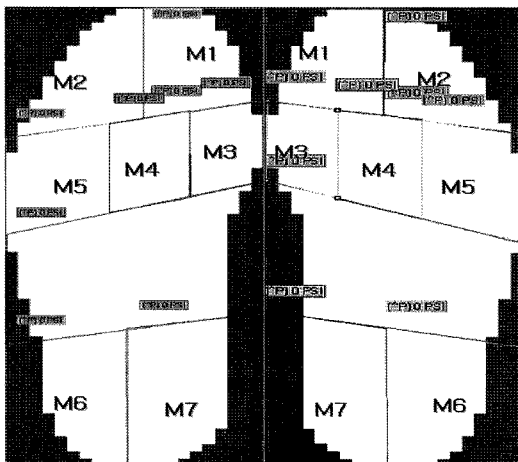


그림 3. 관심영역 설정
Fig. 3. Demarcation of ROI.

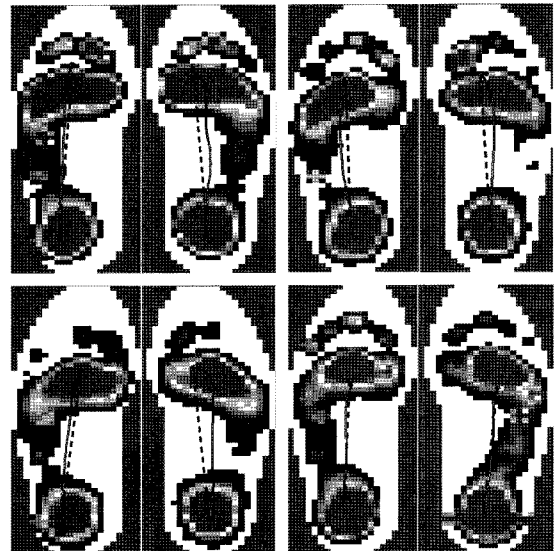


그림 4. 족부영상; 피험자 1(좌측상단), 피험자 2(우측단), 피험자 3(좌측하단), 피험자 4(좌측우단)
Fig. 4. Image of foot-pressure; subject 1(top-left), subject 2(top-right), subject 3(bottom-left), subject 4(bottom-right).

3 결과 및 고찰

본 연구의 피험자는 척추질환을 경험하지 않은 대상으로 타 질환이 없는 정상인에 해당한다. 한명의 피험자 별로 좌/우 족부에서 10회씩, 총 20회의 족저압 데이터를 획득하였으며 이 중 족부의 땀에 의한 센서와의 미끌림 현상이 발생하지 않은 4~6개의 데이터를 족저압 분석에 사용하였다. 획득한 데이터를 바탕으로

척추 측만 정도와의 상관관계를 위해 족저압 중심의 이동 경로에 대한 기본 정보(이동 거리, 좌표점, 기울기, 방향 등)를 획득하였다. 획득된 값은 표 2와 같다.

이동거리는 평균적으로 왼 족부의 경우 172.4±2.4 cm, 우 족부의 경우 177.7±2.4 cm를 나타내었으며 이는 전체 접촉 길이의 65% 정도에 해당하였다. 족저압 중심의 이동 경로에서 유일하게 방향만이 모든 피험자에게서 동일하게 내측방향으로 나타남을 알 수 있

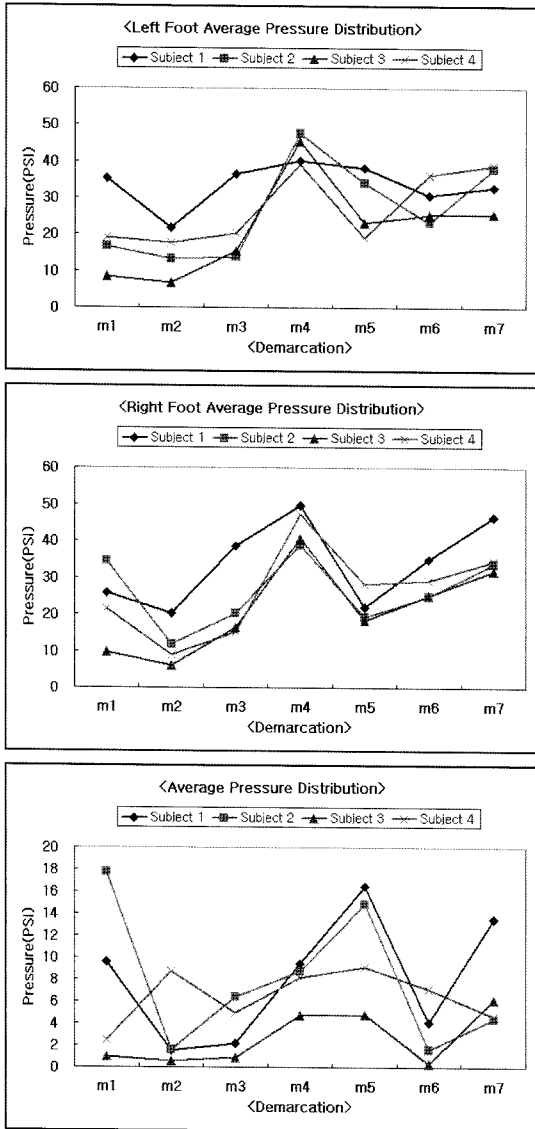


그림 5. 영역별 평균 압력 분포; 왼발(상), 오른발(중), 압력 차(하)
 Fig. 5. Average pressure distribution; left foot(top), right foot(middle), difference pressure(Bottom).

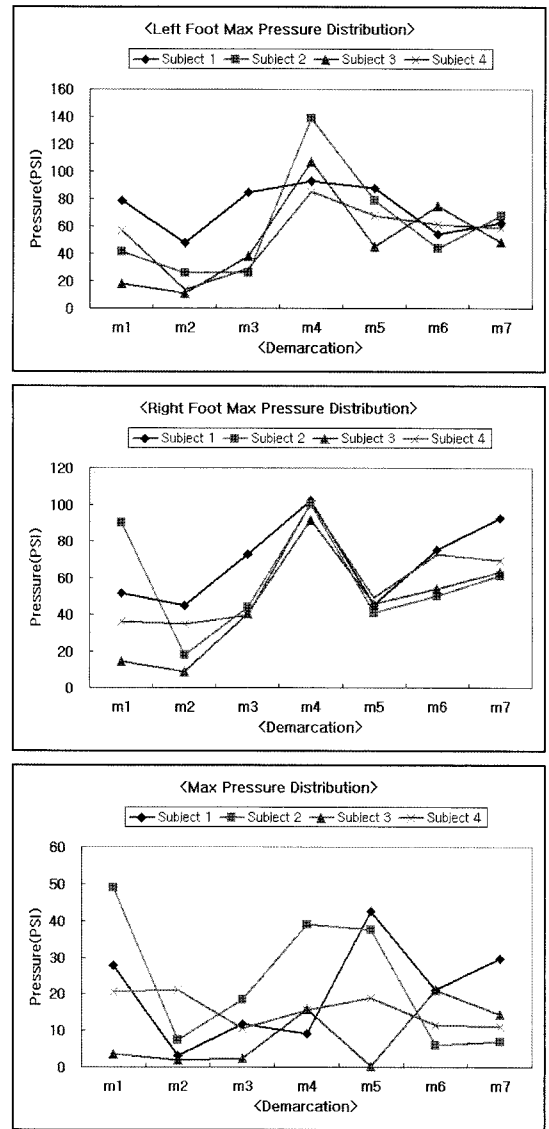


그림 6. 영역별 최대 압력 분포; 왼발(상), 오른발(중), 압력 차(하)
 Fig. 6. Max pressure distribution; left foot(top), right foot(middle), difference pressure(bottom).

었다. 영역별로 나타나는 압력 분포와 최대값을 입각기에 해당하는 경우만을 추출하여 평균화 및 좌/우 차이 값을 도출하였다.

그림 4는 피험자들의 족부 영상으로, 이동 경로와 압력 분포 정도를 영상화 한 것이다. 이외에도 족부 영상은 보행 시 사용되는 영역을 나타내었다. 공통적으로 후족부와 중족부를 사용하는 것으로 나타났으며, 좌/우 족부영상의 비교를 통해 보행에 따라 사용되어지는 족부의 영역과 족저압 중심의 이동 경로가 파악되었다.

그림 5와 그림 6은 영역별 압력 분포 및 최대값을 평균화시켜 나타낸 것으로 좌/우 족부의 구분 없이 M4 영역에서 최대값을 가졌으나, 값의 차이는 M5 영역에서 가장 크게 나타났다. 면적값은 입각기 때 나타나는 족부의 접촉 상태를 나타낸 것이며, 좌/우 족부 독립적으로 보행 시 유사한 값을 지녔으나 기본적으로 중족부와 후족부를 주로 사용하는 피실험자보다 중의측족부와 전족부를 사용하는 피실험자가 높은 면적값을 나타내는 것으로 확인되었다.

표 3은 후족부(M6,M7),와 중족부(M~35)를 제외한 영역에서 높은 압력 값을 지니는 영역을 보여주고 있다. 표시된 영역은 좌/우 평균압력 또는 최대 압력의 차이가 큰 것을 의미하였다. 영역별 평균 압력과 최대 압력이 높은 영역은 보행 중에 해당영역을 많이 사용하는 것으로 판단되었다. 표 3을 통해 M1이 높은 경우

표 3. 전족부 평균 압력 및 최대 압력 비교

Table 3. Compare Average and Max Pressure in Front Foot

Subject	Dominant of Max and Average Pressure	
	Left	Right
1	M1	M2
2	M2	M1
3	None	None
4	M2	None

입각기에서 유각기로 넘어갈 때, 엄지발가락을 이용하는 것을 알 수 있었다. M2가 높은 경우는 가운데발가락 쪽을 이용하는 것으로 판단되었다.

표 4는 분석에 사용된 모든 변수들을 보여주고 있다. 척추는 측면에서 S자 형태를 하고 정면에서는 곧은 형태이다. 측면 정도가 크다는 것은 신체의 좌/우 불균형으로 나타나며 족저압의 분포에 있어서 차이를 나타낸다. 이에 본 연구는 자유 보행에 따른 족저압을 측정하였고, 변수별 분석을 통해 척추 측만과의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 표 4와 같이 측만정도가 커질수록 변수들의 차이 값도 커짐을 알 수 있었다.

표 5는 측만 정도와 분석에 사용된 모든 변수들에 대한 상관관계를 유의 수준 0.05 하에서 Pearson 분석한 결과를 보여주고 있다. 분석 결과 기울기는 족저압 중심의 이동 경로에 대한 수치적 분석값으로 측만정도

표 4. 족저압과 측만정도 분석결과

Table 4. Result of Analysis in Foot-Pressure and Scoliosis

Subject	Slope	Area (cm ²)	Average/Max Pressure (PSI)							Scoliosis (°)
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
1	13.11	275.58	9.6/27.7	1.5/3.0	2.17/11.7	9.42/9.0	16.5/42.7	4.1/21.0	13.5/29.7	2.25(R)
2	20.82	322.38	17.8/49.0	1.63/7.5	6.4/18.5	8.75/39.0	14.9/37.5	1.6/6.0	4.4/7.0	3.96(L)
3	0.84	98.75	1.0/3.7	0.6/2.0	0.9/2.3	4.8/15.7	4.8/0.3	0.3/21.0	6.2/14.3	1.61(L)
4	10.34	222.5	2.5/20.5	8.8/21.0	5.0/10.5	8.1/15.5	9.1/19.0	7.1/11.5	4.6/11.0	3.32(L)

표 5. 상관성 분석결과

Table 5. Result of Analysis in Correlation

	Slope	Average Pressure of Demarcation						
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Correlation	.754*	.678*	.247	.563	.444	.410	-.058	-.359
Sig.(2-tailed)	.012	.070	.491	.090	.199	.239	.873	.309
N	10	10	10	10	10	10	10	10
	Different Area	Max Pressure of Demarcation						
		M1	M2	M3	M4	5	M6	M7
Correlation	.594	.692*	.218	-.534	-.227	-.594	-.268	-.583
Sig.(2-tailed)	.070	.027	.546	.112	.529	.070	.455	.077
N	10	10	10	10	10	10	10	10

가 커질수록 이동 경로의 변화가 커짐을 알 수 있었다. 유의성은 0.006으로 나타났다. 좌/우 족저압의 면적차는 유의성 0.035로 측만 정도에 의해 한쪽으로 치우침이 생겨, 좌/우 족저압의 면적 차가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 영역별 평균 압력과 최대 압력의 분포에서는 중족 영역에 해당하는 M4영역과 후외측 영역에 해당하는 M6영역, 새끼발가락에 해당하는 M2 영역에서는 측만 정도에 따른 유의성이 낮게 나왔다. M4의 경우 중족부 영역 중, 중앙부에 해당하며 보행시 모든 피험자들이 공통적으로 사용하는 영역이므로 척추 측만 정도에 상관없이 좌/우 족저압에서 차이가 작기 때문에 유의성이 낮게 나타난 것으로 사료되었다. M2의 경우 피험자 중 보행시 새끼발가락의 사용유무에 의해 개인적인 차이가 발생하므로 유의성이 낮게 나온 것으로 사료되었다. M6의 경우 후족부중 외측에 해당하며, 보행 중 피험자들의 발목 각도 차이에 의해 후족부의 족저압 분포 차이가 발생하기 때문으로 사료된다. 나머지 영역에서는 높은 유의성을 나타내며 측만 정도에 따라 좌/우 하중의 차이가 발생하여 보행 중 족저압의 분포로 나타나는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구는 인간의 기본적인 움직임이며 무의식적으로 학습, 습관화 되는 보행 시 발생하는 족저압과 골격 질환의 상관성 분석을 수행하였다. 이에 본 연구에서는 척추 측만도와 족저압 분포 및 족저압 중심이동과의 상관관계를 분석하였다.

족저압 분포에 영향을 미치는 신발, 족부의 기능적/해부학적 구조, 기타 질병의 원인을 배제하기 위하여, 유사한 신체조건인 피험자 4명에 대하여 결과를 분석하였으며, 측정 프로토콜을 정량화하여 데이터의 독립적 반복 측정의 오차를 최소화하였다. 족저압 측정은 자유 보행 상태를 유지하되, 방향 전환 따른 족저압 변화의 영향을 제거하기 위하여 직선 보행 상태에서 데이터를 획득하였다. 총 20개의 데이터 중 보행 시 미끌림, 불필요한 동작 등에 의한 데이터를 제외한 5개의 데이터에 대하여 분석을 수행하였다. 획득된 족저압 데이터는 X-ray 영상을 이용하여 척추 측만 정도를 측정하였으며, 측만 정도와 압력관계의 상관관계를 분석하였다.

본 연구에서는 족저압 분포 특성과 척추 측만 정도와의 상관성 분석을 위하여 족저압 중심의 이동 경로, 영역별 평균 압력, 영역별 최대 압력, 입각기 면적, 척추 측만도를 사용하였다. 분석 결과, 족저압 중심 이동 경로의 방향성은 모든 피험자에 있어서 유사하며, 족저

압 중심 이동 거리에 대한 상관성은 확인되지 않았다. 또한, 피험자 간의 이동 경로 방향과 길이는 척추 측만과의 상관성이 없는 것으로 확인되었다. 하지만, 양측 족부에서의 족저압 중심 이동 추세의 편차는 척추 측만 정도와 유의한 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. 이는 척추 측만이 인한 족부의 불균형에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 족부 영상에 나타난 분포 면적을 통해 척추 측만의 정도에 따라 좌/우 족부의 접촉면이 달라 질 수 있는 것을 확인하였다. 수치화된 변수의 값은 측만 정도와 비례적인 관계를 나타냈다.

상관관계 분석을 통해 총 16개의 변수 중, 3개를 제외한 나머지 변수에서는 높은 유의 수준을 나타내어, 보행 시 나타나는 족저압과 측만 정도는 인체 불균형에 의해 나타나는 질병을 조사하는데 유의한 평가로 사용될 것이라 사료되었다.

족저압의 이용 분야는 재활 의학, 운동 분야, 임상 분야 등 다양하다. 따라서 본 연구에서 제시한 보행시 족저압 분포 특성과 척추 측만과의 상관관계에 대한 평가는 간단한 측정 장비로 척추 및 무릎, 기타 근골격계 질환의 유무를 판별할 수 있을 것으로 사료되며, 보행 습관 관찰 및 보정을 통한 척추질환의 예방 및 치료에 도움이 될 것이라 판단된다. 또한, 좌/우 균형성 평가 및 걸음길이 보정을 통하여 하지 재활 환자의 정성적 평가 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

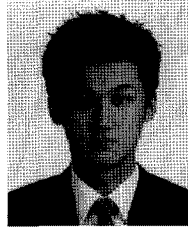
참고 문헌

- [1] Winter, D. A, *The Biomechanics and Motor Control*, University of Waterloo, 1988.
- [2] Grundy M, Tosh PA, McLeish RD, and Smidt L, "An investigation of the centers of pressure under the foot while walking", *J. Bone Joint Surg*, pp. 93-103, 1975.
- [3] 백남중, 임민식, "보행시 족저압 중심의 이동 경로에 관한 연구", *대한재활의학회지*, 제21권, 제4호, pp. 762-770, 1997.
- [4] 노정석, 김택훈, "Parotect System을 이용한 족저압 측정의 신뢰도", *한국전문물리치료학회지*, 제8권, 제3호, 2001.
- [5] 김정태, 박성현, "성인 여성의 체중별 족저압 중심이동 분석", *경남체육연구*, 제10권, 제1호, pp. 59-65, 2005.
- [6] 강길령, 보향각의 정도에 따른 발의 압력분포에 관한 연구, *이화여자대학교 대학원*, 1993.
- [7] 이규한, "족저압 측정에 의한 정상인 Stance Phase", *대한재활의학회지*, 제20권, 제2호, pp. 524-531, 1996.



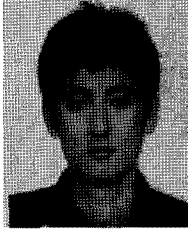
박재현

- 2007년 2월 인제대학교 의용공학과 졸업 (공학사)
- 현 인제대학교 대학원 의용공학과 석사과정
- 주관심분야 : 진단 초음파, 이미지 프로세싱



장화선

- 2007년 2월 인제대학교 의용공학과 졸업 (공학사)
- 현 인제대학교 의용초음파 연구실 연구원
- 주관심분야 : 로봇제어, ARM System



정재우

- 현 인제대학교 의용공학과 학사과정
- 주관심분야 : 의용초음파, 초음파 영상



노시철

- 2001년 2월 인제대학교 의용공학과 졸업 (공학사)
- 2004년 2월 인제대학교 대학원(공학석사)
- 현 인제대학교 대학원 박사과정
- 주관심분야 : 초음파 치료, 고강도 집속 초음파



최흥호

- 1984년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1986년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)
- 1991년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 박사)
- 현 인제대학교 의용공학과 정교수
- 주관심분야 : 진단 초음파, Tissue Characterization, 초음파 치료, 노인복지기술