

# 여러타입의 신발에 대한 족저압력과 임펄스의 비교분석

안은수\*, 엄광문#, 이순혁\*\*

## Comparison of Plantar Foot Pressure and Impulse in Various Shoe Types

Eun-Soo An\*, Gwang-moon EOM#, Soon-Hyuk Lee\*\*

### ABSTRACT

We analyzed the pressure, impulse on 24 sensors location under the foot using the Parotec system. Total 7 kinds of shoes, i.e. sport shoe, high heel shoes (5cm heel, 8cm heel, 13cm heel), platform shoe, inline skate, and heelys were evaluated for 20 normal subjects. Compared with those of sport shoe, greater pressure and impulse were shown on the 1st phalange and the 1st metatarsal head and greater impulse on the medial tarsal bone in high-heel shoes. Greater pressure and impulse were shown on medial metatarsal bone and the lateral tarsal bone in platform shoe. Greater impulse was shown on the medial tarsal bone in inline-skate. Heelys shoe showed smaller impulse on the central area of foot. The result of this study is expected to provide useful information about the relationship between the shoe type and the foot pathologies.

**Key Words:** Parotec system (족압분석시스템), pressure(압력), Impulse(충격량), sport shoe (운동화), high heel shoe (하이힐), platform shoe (통굽화), inline skate (인라인 스케이트), heelys shoe (힐리스화)

### 1. 서론

최근 들어 발건강에 대한 관심과 치료의 필요성이 고조되어, 이에 관련된 신발 조건과 발의 건강상태와의 관계를 규정하는 연구가 활발해졌다.<sup>1,3</sup> 잘못된 보행습관이나 형태가 적절하지 않는 구두를 장시간 착용하는 경우 신체 역학적 스트레스로 인해 쉽게 피로를 느끼게 되며 발에 통증 및 변형이 일어날 수 있다.<sup>4,6</sup> 특히 하이힐을 신은 경우 전신에 피로를 느낀 경우가 많았으며, 굽 높이가 증가할수록 엄지발가락 대신 중족골부위의 접촉면적, 압력 및 충격량이 증가하고, 이로 인해 엄지발가락

외반증 환자의 경우 발의 피로가 심하고 변형을 초래할 수 있는 것으로 보고되었다.<sup>6-8</sup>

신발의 특성 및 질환에 관한 연구로서, 과거에는 발의 형태에 따른 특성파악을 기본으로 쾌적함, 피부온도, 에너지 대사량, 건강상태 그리고 주관적인 선호도에 관한 연구가 주를 이루었으나,<sup>1,4</sup> 최근에는 다양한 족저압 측정 시스템을 이용하여 당뇨병과 같은 질환, 깔창의 형태, 보조기 등에 따른 족저의 압력, 임펄스, 모멘트 등의 조사와 같은 객관적인 연구가 이루어지고 있다.<sup>5,9-14</sup>

그러나, 이러한 연구들에서는 특정한 타입의 깔창이나 신발에 대한 분석이 주된 것이었고, 최

접수일: 2004년 12월 22일; 게재승인일: 2005년 6월 29일

\* 건국대학교 의학공학부

# 교신저자: 건국대학교 의학공학부

E-mail gmeom@kku.ac.kr Tel. (043) 852-9890

\*\* 고려대학교 의과대학 정형외과

고압력과 같은 특정한 파라미터만에 대한 해석이 행하여져서, 여러가지 종류의 신발의 차이점을 명료하게 파악하기는 어려웠다. 따라서, 본 연구에서는 각 신발을 착용하였을 때의 족저압을 분석하여 각 신발의 생체역학적 특성을 명확히 하고자 한다. 구체적으로는, 정적압력, 보행중의 동적압력과 임펄스 및 보행상을 분석하여, 신발과 질환과의 관계에 대한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 방법

### 2.1 연구대상

연령이 높아질수록 보행중의 신발에 의한 피로도가 높아지는 경향이 있고,<sup>4</sup> 나이에 의한 보행 변화가 60-70 대에 심하다는 보고<sup>12</sup>가 있으므로, 이러한 제약이 적은 20 대 초반의 여성 20 인을 실험대상자로 하였다. 또한, 신장이나 체중 및 발크기 등이 실험결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해 이러한 신체지수가 비슷한 피험자를 선택하였다. 피험자의 평균적인 연령 및 신체특성을 Table 1 에 나타낸다.

이 외에도, 발바닥에 티눈이나 압박증이 없고, 다리나 발의 구조적인 기형이 없으며, 최근 1 년간 하지 및 족부에 골절, 인대 질환, 하지 수술 같은 정형외과적 질환을 경험하지 않은 자로 한정하였다.

Table 1 Anthropometric data of the subjects

Age	22.9 ± 0.1
Height (cm)	163.6 ± 4.0
Weight (kg)	56.2 ± 5.4
Shoes size (mm)	244.4 ± 3.8

### 2.2 측정 도구

족저압 측정장치로서 힘판(force plate), 압력판(pressure plate), 신발삽입형 족저압측정장치(pressure insole) 등이 있다. 1990 년대까지는 힘판이나 압력판을 사용했지만, 압력의 분포를 측정하지는 못하여 다양한 분석이 어려웠다. 1990 년대 중반부터 활용되기 시작한 신발삽입형 족저압측정장치는 신발 안창에 센서를 부착하여 발의 각 부위별 압력에 대한 시간적, 양적 자료들을 제공하여 다양한 목적으로 사용되고 있다. 현재 보편적으로 사용

되고 있는 신발삽입형 족저압측정장치로는 F-scan system, Pedar system, Parotec system 이 있다.<sup>11,15-18</sup> 이 기기들은 일반적으로 신뢰성 있는 측정 방법으로 인정 받고 있다. 이 중, Parotec system 은 다른 기기에 비해 보행 상태에서 양 발을 동시에 측정할 수 있으며, 그 신뢰도가 안정적이라고 보고되었다.<sup>19,20</sup>

따라서, 본 연구에서는 족저압을 측정하기 위해 Parotec system 을 사용하였다. 이 시스템의 압력 깔창(pressure sensitive flexible insole)은 좌우한쌍으로 되어있고 다양한 크기가 있지만, 본 연구에서는 위에서 서술한 바와 같이 발의 크기가 유사한 피험자만을 선택하였으므로, 245mm 한 개의 깔창만을 사용하였다. 한 개의 깔창에는 24 개의 센서가 삽입되어 있어서 발바닥의 각 부위에서의 압력을 측정할 수 있다.

### 2.3 실험 방법

모든 피험자는 Table 2 의 모든 신발에 대하여, 정적인 자세를 수초간 유지하는 실험과 동적인 보행실험을 실시하였다. 동적실험의 경우, 운동화와 구두를 신었을 경우에는 왼발을 시작으로 신호음에 따라 편안한 보행을 하였다. 인라인과 힐리스 운동화의 경우 보행길이를 10m 로 제한하였고, 인라인은 경험이 있는 자만을 선택하여 측정하였다. 피험자의 보행이 자연스럽지 않다고 명백히 판정된 경우에는 재측정하였다.

모든 실험은 실내에서 시행하였으며, 속도는 1.0m/sec 로 유지시키려고 노력했다. 시행에 따른 자세의 편차를 최소화하기 위해 복도 끝에 물건을 두고 시선을 고정시켜 편안한 걸음을 유도했다.

Table 2 Type and feature of the shoes

Type	Difference in height of forefoot and heel [cm]	
Sport shoe	2.5 - 2.5 = 0	
High-heel shoes	5cm	5.5 - 0.8 = 4.7
	8cm	8.5 - 1.0 = 7.5
	13cm	13 - 4.5 = 8.5
Platform shoe	9.5 - 4.3 = 5.2	
Inline skate	9	
Heelys	7 - 4 = 3	

Heel height - Forefoot height = Net height difference

## 2.4 분석 방법

정적자세 유지실험의 결과는 Parotec system 에서 제공하는 각 부위별 5 초간의 평균압력을 사용하였다. 5 주기의 동적보행중의 센서별 압력(10ms 간격)을 분석하여 각 센서위치에서의 압력최고치와 임펄스를 계산하였다. 또한 보행시에 족근골부, 중족골부, 족지골부의 접촉시간을 각각 start, support, push-off 상(phase)으로 정의하고, 각 보행상별 시간 비율을 산출하였다.

모든 실험에 대하여 위의 센서부위별 데이터(정적평균압력, 동적압력최고치, 동적임펄스)와 보행시간데이터(보행상별 시간비율, 총입각기시간)를 20 명의 피험자에 대하여 각각 계산하고, 이를 다시 모든 피험자에 대하여 평균하였다.

신발간의 차이점을 비교하기 위한 기준으로서 운동화를 설정하였다. 따라서, 운동화의 각 센서부위별 데이터(정적평균압력, 동적압력최고치, 동적임펄스)와 다른 신발의 각 센서부위별 데이터의 비교, 운동화의 보행시간데이터(보행상별 시간비율, 총입각기시간)와 다른 신발의 보행시간데이터의 비교를 수행하였다. 이 때, 유의차의 유무를 student t-test 로 해석하여,  $p < 0.05$  인 것을 유의차가 있는 것으로 간주하였다.

센서부위의 해부학적인 위치는 Table 3 과 같이 발끝으로부터 족지(phalanges), 중족골두(metatarsal heads), 중족골체(metatarsal body), 중족골저(metatarsal base), 족근골(tarsal bone)로 나누어 해석하였다.

## 3. 결과

### 3.1 정적 평균압력 (Static Average Pressure)

정적자세유지시의 평균압력[N/cm<sup>2</sup>]을 20 인의 피험자에 대하여 평균하여 Fig. 1 에 나타낸다. 그림에서, 각 센서부위의 농도는 압력의 크기를, 센서 안의 숫자는 센서의 번호를 나타낸다. 기준으로 설정한 운동화의 경우, 족근골(센서 2-4)에서 1N/cm<sup>2</sup> 이상의 높은 압력을, 중족골체(센서 14-16)와 중족골두(센서 18-20) 및 무지(센서 24)에서 0.6 N/cm<sup>2</sup> 이상의 압력을 보였다. 즉, 압력은 발꿈치(rearfoot)와 발끝에 집중되었다.

하이힐은 운동화에 비해 중족골두 내측(센서 19, 20), 족지(센서 21, 22, 24)의 위치에서 압력이 높은 반면, 중족골저(센서 7, 10, 12)에서 압력이 낮았다.

즉, 정적상태의 하이힐에서는 족지와 중족골두에 압력이 더욱 집중되었다.

통굽화의 정적압력은 운동화에 비해 족지의측(센서 21)에서는 높았고, 무지(센서 24)에서 낮았다. 즉, 운동화에서 무지에 집중되었던 압력이 다른 족지에도 고르게 분포하였다.

인라인 스케이트에서는, 족지(센서 21-23), 중족골체(센서 13,16), 중족골저(센서 7-10,12), 족근골(센서 5-6)에서 운동화보다 높은 압력을 보였다.

힐리스화는 운동화와 유사한 경향을 보여, 유의차를 보이는 센서부위가 없었다.

### 3.2 동적 압력최고치 (Dynamic Peak Pressure)

동적인 5 주기 보행중의 압력의 최고치[N/cm<sup>2</sup>]를 Fig. 2 에 나타낸다. 기준으로 삼은 운동화의 경우, 족지(센서 22-24), 중족골두 및 중족골체(13-20), 족근골(센서 2-4)에서 5 Nm/cm<sup>2</sup> 이상의 큰 압력을 보였고, 족저궁(아치)에 해당하는 중족골저내측(센서 8-12)에서는 3Nm/cm<sup>2</sup> 이하의 낮은 압력을 보였다.

하이힐의 경우, 운동화에 비해 중족골두 내측(센서 19, 20)과 무지(센서 23,24)의 압력최고치는 높았다. 이와는 반대로 중족골저(센서 7-8, 10-12) 및 중족골체(센서 13~16)와 중족골두 외측(센서 17-18)의 압력최고치는 낮았다. 즉, 하이힐에서는 무지와 무지의 중족골에 압력이 집중되고 나머지 부분의 압력은 감소하였다. 그러나, 구두굽의 높이에 따른 압력변화의 일관된 경향은 없었다.

통굽화에서는 족근골(센서 2-4), 중족골외측(센서 13, 17-19), 족지(센서 22-24)에서의 압력은 낮아진 반면, 중족골내측(센서 16)과 족근골외측(센서 5,7)의 압력은 커져서, 중족골내측을 제외하고는 전반적으로 운동화에 비해 압력이 고르게 분포하는 경향을 보였다.

인라인 스케이트는 아치에 해당하는 센서 4-9, 11-12 및 족지와 족근골의 일부(센서 1,21)를 제외한 나머지 부분에서 전체적으로 운동화에 비해 낮은 압력최고치를 보였다. 즉, 운동화에 비해 압력이 고르게 분포하고 최고치가 전반적으로 낮아졌는데, 이것은 인라인 스케이트는 미끄러지면서 진행하기 때문에 지면과의 접촉시의 충격이 작기 때문인 것으로 보여진다.

힐리스화에서도 족지일부와 족근골일부를 제외한 나머지 센서(센서 3, 5, 7-19, 22-24)에서 전체적

으로 운동화에 비해 낮은 압력최고치를 보였다. 이는 힐리스화의 경우도 뒤축의 바퀴를 사용하여 진행하므로 지면과의 접촉시의 충격이 작기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.3 동적 임펄스 (Dynamic Impulse)

임펄스는 압력(pressure)과 시간의 적분 값으로서, 동적 상태에서 측정된 임펄스가 발의 보행 특성을 가장 잘 반영한다는 보고가 있다.<sup>9,21</sup> 동적인 5 주기 보행중의 총임펄스[Ns]를 Fig. 3 에 나타낸다. 운동화의 경우, 동적피크압력과 유사하게 무지(센서 23-24), 중족골두/체(센서 13-20), 족근골(센서 2-4)에 임펄스가 집중되었고, 아치(센서 6, 8-9, 11-12)에서의 임펄스는 10N/s 이하로 매우 작았다.

하이힐의 경우 운동화에 비해 족지(센서 21, 24),

중족골두 내측(센서 20)과 족근골 내측 (센서 4)의 임펄스가 증가하였다. 반면, 중족골 외측 및 중심부(센서 7, 10-11, 13-15, 17)의 임펄스가 감소하였다. 즉, 하이힐의 지면과의 주된 접촉부인 족지와 중족골내측 및 족근골내측으로 임펄스가 집중하고, 다른 부위의 임펄스는 감소하였다.

통굽화에서는 족지외측(센서 21), 중족골체 내측 (센서 16), 족근골 외측(센서 5)에서의 임펄스가 운동화에 비해 높은 반면, 무지(센서 23, 24)과 중족골두 중심부(센서 18, 19)의 임펄스는 운동화에 비해 낮았다. 즉, 임펄스가 아치를 제외한 다른 부분에 전반적으로 고르게 분포하면서 운동화에서 임펄스가 높았던 무지와 중족골두에서는 감소하고 족지와 족근골의 외측에서 증가하였다.

인라인 스케이트의 경우 중족골두(센서 17~20)

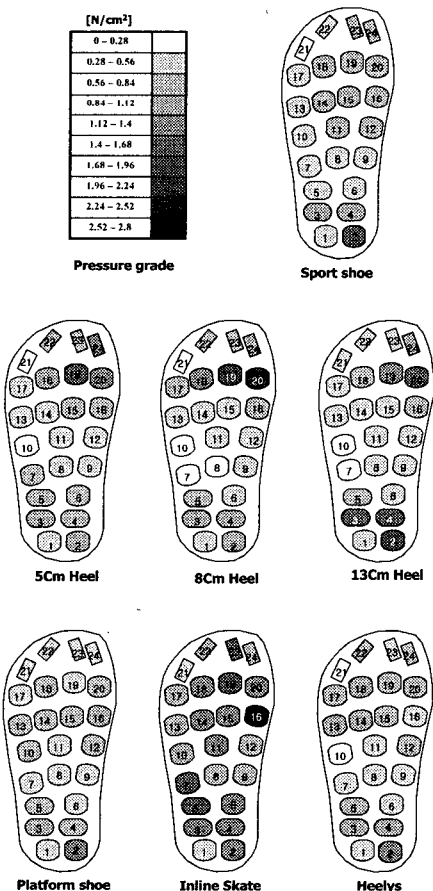


Fig. 1 Static average pressure distribution

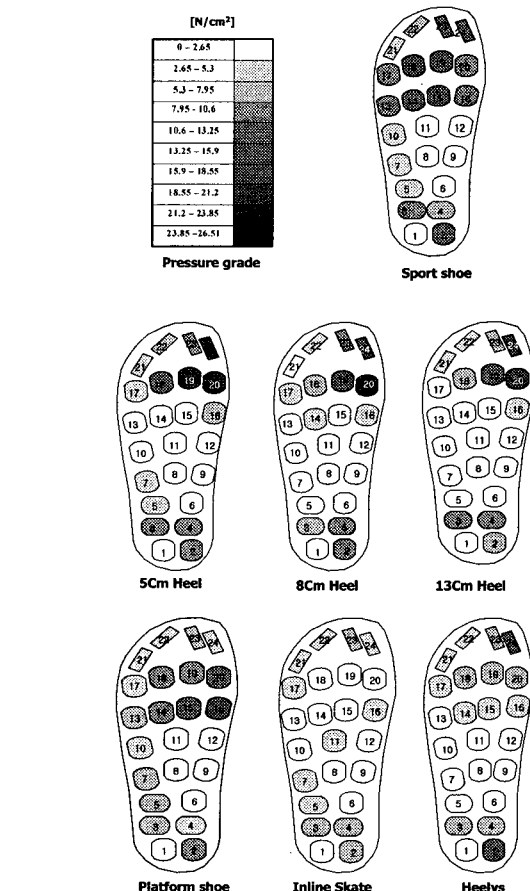


Fig. 2 Dynamic peak pressure distribution

와 중족골체(센서 13~15)의 임펄스는 운동화에 비해 감소한 반면, 중족골저와 족근골의 일부(센서 4, 6, 8)의 임펄스가 운동화에 비해 증가하였다. 즉, 피크압력에서는 알 수 없었던 시간을 고려한 부담(임펄스)이 발의 중심부에 가해지며, 중족골두/체의 부담은 상대적으로 작아졌다.

힐리스화의 경우, 족근골외측(센서 5), 중족골저와 중족골체 전반(센서 7, 9~11, 13~16) 및 중족골두(센서 19)의 임펄스가 운동화에 비해 유의하게 낮았으며, 임펄스가 유의하게 높아진 센서부위는 없었다. 즉, 시간을 고려한 족저의 부담은 힐리스가 운동화의 경우보다 작았다.

### 3.4 보행상 (Gait Phase)

일반적으로 입각기에서 지면과의 접촉은 발뒤꿈치(족근골)-발바닥(중족골)-발끝(족지골)의 순서로 이루어지고, 이를 보행상으로 정의할 수 있다. Fig.3 은 각 보행상의 입각기 전체에 대한 비율[%]을 나타낸다. 족근골(센서 1-6)의 접지기는 초기상(start phase), 중족골(센서 7-20)의 접지기는 지지상(support phase), 족지(21-24)의 접지기는 추진상(push-off phase)으로 표현하였고, overlap 은 두가지 phase 가 겹치는 기간을 나타낸다. 각 센서의 접지는 센서에 부가되는 압력이 2.5N/cm<sup>2</sup> 을 초과할 때로 정의된다.

모든 신발에서 보행상의 해석은 왼발입각기에 대하여 수행하였다. 운동화의 경우, 초기상은 7%, 지지상은 36%, 추진상은 45%이었다. 운동화의 입각기 시간은 484ms 였다.

운동화에 비해 하이힐의 초기상과 지지상은 아주 짧았고, 추진상이 길었다. 특히 13cm 하이힐은 추진상이 83%를 넘을 정도로 크게 차지했다. 즉, 하이힐은 입각기 시간의 대부분에서 족지의 접지가 이루어졌고, 상대적으로 중족골과 족근골의 접지시간은 짧았다. 총 입각기 시간은 운동화에 비해 길어서 13cm 구두의 경우 565ms 였다. 입각기 시간의 증가는 보행속도의 저하를 초래하며, 결국 일정한 거리를 보행할 경우의 임펄스를 증가시키게 된다.

통굽화는 하이힐과 유사하게 초기상이 짧고 추진상이 길었다. 통굽화의 입각기 시간은 486ms 로서 운동화와의 유의차는 없었다.

힐리스화는 운동화에 비해 지지상이 유의하게 짧았다. 이것은, 발뒤축의 바퀴로 지지하는 시간이

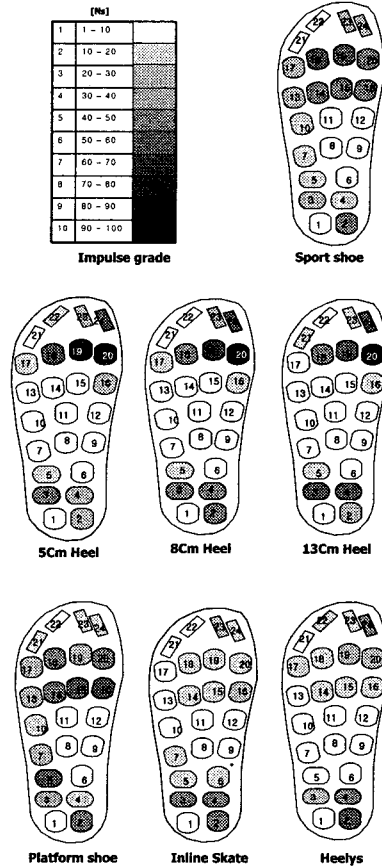


Fig. 3 Dynamic impulse distribution

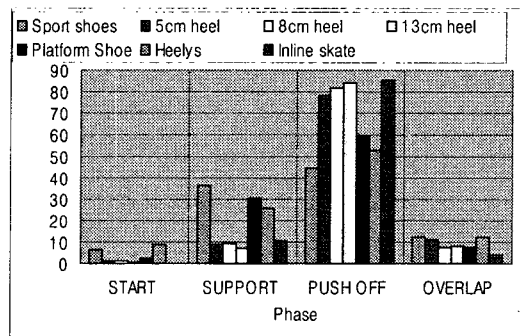


Fig. 4 Phase ratio [%]

길어서 중족골의 지지시간이 짧아진 것으로 생각된다. 힐리스화의 입각기 시간은 419ms 로서 운동화보다 유의하게 짧았다.

인라인 스케이트는 초기상이 거의 없고, 지지

상이 짧았으며, 추진상이 매우 길었다. 즉, 인라인의 경우 발뒤축으로만 접지하는 시간이 없이 발의 전반부에 발을 V 자형으로 벌리는 힘을 가해 진행력을 발생시키는 것을 알 수 있다. 인라인 스케이트의 입각기 시간은 411ms 로서 운동화보다 유의하게 짧았다.

#### 4. 고찰

Fig. 5 와 같이 발은 26 개의 뼈로 이루어져 크게 3 부위로 구성된다. Parotec system 의 안착 센서와 비교해 보면 Table 3 과 같이 센서의 해부학적 위치를 결정할 수 있다.

Table 3 Sensor's anatomical location

23 - 24	1 <sup>st</sup> Phalanges (무지)
21 - 22	2 <sup>nd</sup> -5 <sup>th</sup> Phalanges(2-5 지)
17 - 20	Head of metatarsal bone(중족골두)
13 - 16	Body of metatarsal bone(중족골체)
7 - 12	Base of metatarsal bone(중족골저)
1 - 6	Tarsal bone(족근골)

발에서 체중을 분산시키는 지점과 발자국의 형태를 보면, 족저아치에 의해 체중이 발의 앞뒤로 분산되며 내측중족에는 발자국이 찍히지 않는다. 운동화에서는 압력과 임펄스 모두 이러한 전형적인 패턴을 보였다. 또한 다른 신발에 비해 활보장

(stride)과 속도도 크게 나타났으며, 피험자들도 가장 편하다고 응답했다.

운동화에 비해 하이힐은 정적상태에서는 족지와 제 1 중족골두에서 큰 압력을, 동적보행상태에서는 무지와 제 1 중족골두 및 족근골에서 큰 압력과 임펄스를 보였으며, 족지의 접지기간인 추진상이 매우 길었다. 따라서, 하이힐 보행 중에는 발앞끝과 발뒤꿈치에 과도한 부하가 걸리게 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 무지의외반증 (Hallux Valgus)의 경우, 무지의 하중지지능력이 저하되므로, 하이힐을 신을 때 큰 부담이 될 것으로 예상된다. 한편, 일반적으로 구두굽이 높을수록 발에 무리가 있다고 생각하지만, 정적압력분포, 동적압력최고치, 동적임펄스 모두에서 구두 굽높이에 따른 유의차 및 경향 혹은 패턴은 나타나지 않았다. 이는 압력 및 임펄스가 굽높이에 영향을 받지 않는다고 해석할 수도 있으나, 이러한 해석을 위해서는 측정의 오차에 대한 검증이 필요하다. 즉, 동일인과 동일조건에 대한 압력과 임펄스의 표준편차가 커서 굽높이에 따른 미세한 변화를 표현할 수 없었을 가능성도 배제할 수는 없다.

피험자들이 일반적으로 편하다고 응답했던 통굽화의 경우, 동적보행시 중족골체 내측과 족근골 외측의 압력 및 임펄스가 운동화에 비해 높았다. 중족골체내측의 과도한 하중은 족저아치의 부담으로 이어지고, 이는 평발, 무지의외반, 족저근막염, 무릎허리통증 같은 질환의 원인이 될 수 있다.<sup>22</sup>

인라인 스케이트의 경우, 정적상태의 압력은 중족골두이외의 부위에서 운동화에 비해 높았으나, 동적상태의 압력과 임펄스는 오히려 중족골두와 중족골체를 중심으로 낮았다. 그러나, 임펄스는 중족골저의 중심부근과 족근골내측에서 운동화에 비해 높았다. 이 부분의 임펄스의 증가는 인라인 스케이팅을 할 경우, 일반적으로 진행방향에 대하여 발을 V 형태로 벌리는 동작을 위해 족부의 내측에 힘을 가하기 때문인 것으로 보인다.

힐리스화의 경우, 정적상태의 압력은 운동화와 유의차가 없었으나, 동적보행상태의 압력과 임펄스 모두 발의 중심부근에서 운동화에 비해 낮았다. 인라인 스케이트가 V 자모양으로 진행하는 데 반해, 힐리스는 진행방향과 평행하게 진행하므로 특별히 부하가 집중되지 않으며, 미끄러지듯이 진행하므로 전체적으로 부하가 작아진 것으로 보인다.

본 연구에서는, 여러가지 종류의 신발을 대상

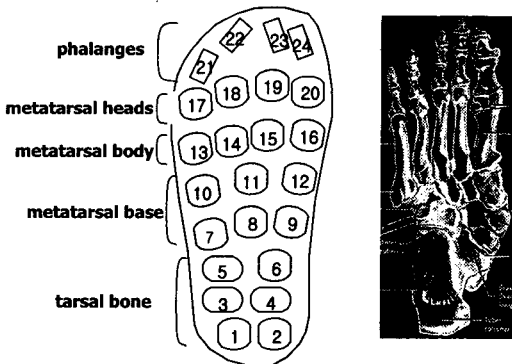


Fig. 5 Sensor locations and bone of foot

으로 정적, 동적상태의 족저압력 및 임펄스를 분석하여 운동화와의 유의한 차이를 해석하였다. 과도한 압력과 장기간의 충격(임펄스)는 피로도와 발의 후천적인 변형을 야기할 수 있으므로,<sup>7,9,15</sup> 본 연구의 결과는 족부질환의 상태과약 및 원인진단에 기초적인 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원(02-PJ3-PG6-EV03-0004)으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- Lavery, L. A., Higgins, K. R., Lanctot, D. R., Constantinides, G. P., Zamorano, R. G., Armstrong, D. G., Athanasiou, K. A., Agrawal, C. M., "Home monitoring of foot skin temperatures to prevent ulceration," *Diabetes Care*, Vol.27, No.11, pp.2642-7, 2004.
- Menz, H. B., Sherrington, C., "The Footwear Assessment Form: a reliable clinical tool to assess footwear characteristics of relevance to postural stability in older adults," *Clin. Rehabil.*, Vol.14, No.6, pp.657-664, 2000.
- Landorf, K. B., Keenan, A. M., "An evaluation of two foot-specific, health-related quality-of-life measuring instruments," *Foot Ankle Int.*, Vol.23, No.6, pp.538-546, 2002.
- Choi, S. B. and Lee, W. J., "Influences of shoe shape and gait characteristics on feet discomforts according to women's foot type," *J. Costume Culture Research*, Vol. 10, No. 3, pp.306-317, 2002.
- Kim, B. O., "Methods in clinical gait analysis," *J. Kor. Acad. Rehab. Med.*, Vol.18, No.2, pp.191-202, 1994.
- Kim, Y. H., Park, S. B., Yang, G. T., Lim, S. H., Lee, K. M. and Mun, M. S., "Plantar pressure distribution characteristics of Hallux Valgus," *J. Biomed. Eng. Research*, Vol.18, No.4, pp. 439-446, 1997.
- Nyska, M., McCabe, C., Linge, K., Klenerman, L., "Plantar foot pressures during treadmill walking with high-heel and low-heel shoes," *Foot Ankle Int.*, Vol.17, No.11, pp.662-666, 1996.
- Gastwirth, B. W., O'Brien, T. D., Nelson, R. M., Manger, D. C., Kindig, S. A., "An electrodyographic study of foot function in shoes of varying heel heights," *J Am Podiatr Med Assoc.*, Vol.81, No.9, pp.463-472, 1991.
- Bransby-Z, M. A., Stother, I. G., Wilkinson, R. W., "Peak pressure in the forefoot," *J. Bone Joint Surg.*, Vol. 72, No.4, pp.718-721, 1990.
- Jordan, C., Payton, C. and Bartlett, R., "Perceived comfort and pressure distribution in casual footwear," *Clin. Biomech.*, Vol.12, No.3, p.S5, 1997.
- Van, G. B., Danaberg, H. J., "Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging," *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.*, Vol.94, No.1, pp.1-11, 2004.
- Chung, C. S., Shin, I. S., Seo, J. S., Eun, S. D., In, K., "The Analysis of a Gait Pattern and the Mechanical Efficiency on Ages and Speed Conditions," *Korean J. Sport Biomech.*, Vol.10, No.2, pp.205-219, 2001.
- Kim, S. Y., Choi, H. K., "Biomechanical analysis of the human foot by using passive elastic characteristics of joints," *J. Kor. Soc. Precision Eng.*, Vol.21, No.1, pp.197-204, 2004.
- Kang, S. J., Kim, Y. H., "Gait improvement of polio patients using an electromechanical KAFO," *J. Kor. Soc. Precision Eng.*, Vol.20, No.1, pp.36-42, 2003.
- Kernozek, T. W., LaMott, E. E., Dancisak, M. J., "Reliability of an in-shoe pressure measurement system during treadmill walking," *Foot Ankle Int.*, Vol.17, pp.204-209, 1996.
- Hsiao, H., Guan, J., Weatherly, M., "Accuracy and precision of two in-shoe pressure measurement systems," *Ergonomics*, Vol. 45, No.8, pp.537-555, 2002.
- Ahroni, J. H., Boyko, E. J., Forsberg, R., "Reliability of F-scan in-shoe measurements of plantar pressure," *Foot Ankle Int.*, Vol.19, No.10, pp.668-673, 1998.
- Barnett, S., Cunningham, J. L., West, S., "A comparison of vertical force and temporal parameters produced by an in-shoe pressure measuring system and a force platform," *Clin. Biomech.*, Vol.15, No.10, pp.781-785, 2000.
- Bauer, J. A., Cauraugh, J. H., Tillman, M. D., "An insole pressure measurement system: repeatability of

- postural data,” *Foot Ankle Int.*, Vol.21, No.3, pp.221-226, 2000.
20. Chesnin, K. J., Selby-Silverstein, L., Besser, M. P., “Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements,” *Gait Posture*, Vol.12, No.2, pp.128-133, 2000.
21. His, W. L., Chai, H. M., Lai, J. S., “Comparison of pressure and time parameters in evaluating diabetic footwear,” *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.81, No.11, pp.822-829, 2002.
22. Lohmander, L. S., Felson, D., “Can we identify a 'high risk' patient profile to determine who will experience rapid progression of osteoarthritis?,” *Osteoarthritis Cartilage*, Suppl A, pp.S49-52, 2004.