



- 한진태
- 경성대학교 이과대학 물리치료학과

Comparison of Pathway of COP and Plantar Foot Pressures while Ascending and Descending a Slope

Jin-Tae Han, PT, PhD

Department of Physical Therapy, College of Science, Kyung Sung University

Purpose: The purpose of this study was to compare the pathway of COP and plantar foot pressure and to determine the correlation between plantar regions during the ascending and descending of a ramp.

Methods: Fifteen healthy adults who had no musculoskeletal problems participated in our study. They were asked to walk on a level surface and on an ascending and descending ramp in their bare feet. Pathway of COP and plantar foot pressures were recorded using the Matscan system (Tekscan, Boston, USA). For pressure measurements, the plantar foot surface was divided into seven regions: two toe regions, three forefoot regions, a midfoot region, and a heel region. To determine whether there was a statistically significant difference between pathway of COP and plantar foot pressures during walking, we used repeated measures ANOVA.

Results: In comparison to results for a level walking, pathway of COP while ascending a ramp had a tendency to be shifted medially in the forefoot and became longer till the big toe. Pathway of COP while descending a ramp also was shifted medially, but ended in the forefoot. Plantar foot pressure of the second and third metatarsal head and the fourth and fifth metatarsal heads was significantly decreased while descending the ramp.

Conclusion: These results indicated that plantar foot pressure is changed while ascending and descending a ramp and demonstrated that ramp walking can affect the structure and function of the foot. Therefore, gait environment is associated with significant changes in foot characteristics, which contribute to altered plantar loading patterns during gait.

Keywords: Plantar foot pressure, Ramp, Center of pressure

논문접수일: 2010년 6월 6일

수정접수일: 2010년 8월 23일

게재승인일: 2010년 9월 19일

교신저자: 한진태, jthan2001@ks.ac.kr

1. 서론

경사로는 계단을 대신할 수 있는 수직이동의 수단이며 특히 계단을 이용할 수 없는 장애인이나 노인, 임산부들을 위한 필수적인 시설이다.¹ 하지만 경사로 역시 계단과 같이 노인낙상의 원인이 되는 시설물이기도 하다.^{2,3} 특히 내림 경사로 보행은 일상 생활에서 흔히 발생하는 미끄러짐의 원인이 된다.^{4,5} 경사로는 내려올 때 미끄러지거나 균형을 잃어 낙상하는 위험이 있고 경

사로의 기울어진 면을 오르고 내리는 동안, 보행 역학을 이해하는 것은 낙상을 일으키는 요인들을 결정하기 위해 꼭 필요하다.⁶⁻⁸

족저압 측정은 다른 임상 그룹간의 보행양상을 비교하거나 신발, 또는 보조기 그리고 수술적 중재의 효과를 평가하기 위한 연구나 임상 훈련에 자주 사용하는 추세이다.⁹ 족저압은 운동과학의 임상분야와 연구 분야에서 많은 관심을 갖고 있는 측정 대상 중 하나이며 족저압을 측정함으로써 다양한 일상생활동작

과 기능적 활동 중 발의 특정부위에 가해지는 압력을 관찰할 수 있다.¹⁰ 족저압은 보행 중 발의 정적 그리고 동적 압력을 정량화하기 위해 측정한다.^{11,12} 족저압 측정기를 이용한 동적 족저 부하 분포에 대한 측정은 정상적인 발과 비정상적인 발의 생역학을 연구하는 데 필요하며 그 이유는 발의 구조와 움직임의 변수들은 발바닥의 동적 부하 분포 유형에 다른 영향을 주기 때문이다.¹³ 보행 시 발에 작용하는 압력은 여러 개의 센서로 구성된 압력 측정판을 통해, 지면과 닿아있는 부위의 센서에서 감지하는 힘으로 측정할 수 있다. 지면반발력은 힘 측정판(force platform)을 이용하여 측정하게 되는데, 힘 측정판은 앞·뒤, 좌·우, 아래·위, 세 가지 방향에서 작용하는 힘을 측정할 수 있다는 장점이 있으나, 발의 국소부위에 작용하는 압력을 측정할 수 없다. 이에 비해 압력 측정판은 입각기 동안 발바닥에 가해지는 하중을 영역별로 측정할 수 있어서 발에 말초 신경학적 질환이나 류마티스성 관절염이 있는 환자에게 사용하기 적합하다.¹⁴

족저압 측정에 관한 선행연구들을 살펴보면, 신발 조건이나 신발굽 높이 그리고 특정 동작을 수행 중에 족저압 변화에 관한 연구들이 있었고,¹⁵⁻¹⁸ Kim 등¹⁹은 구두의 굽높이가 높아질수록 족저압이 높아지며 발의 회외운동이 크게 일어날 수 있다고 보고하였다. Minns와 Craxford는²⁰ 류마티스 환자의 경우 중족골두(metatarsal head) 위의 최고 압력이 건강한 사람보다 2~3배 정도 높다고 하였으며, Park 등은²¹ 보행속도가 증가할수록 전족부와 후족부 영역의 최고 족저압은 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 또한 증가된 족저압은 직접적인 전족부 변형의 원인이 될 수 있으며, 발 기능 변화와 근력 약화 역시 전족부의 크기와 부하 형태에 영향을 미친다고 하였다.²²⁻²⁴ 하지만 평지보행과 비교하여 최근 노인들과 계단을 사용할 수 없는 사람을 위해 많이 보급되고 있는 경사로 보행 시 족저압 변화에 관한 연구는 부족하며 특히 경사로 오르고 내리는 동안 압력중심이동경로의 변화와 최고 족저압 변화에 대한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 평지보행과 비교하여 경사로를 오르고 내리는 동안 입각기 동안 압력중심 이동경로 변화와 족저압 차이를 알아보고 이를 통하여 일상생활에서 보행 환경이 발의 기능과 구조에 영향을 미칠 수 있다는 것을 증명하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에는 근골격계의 병력이 없고 보행에 문제가 없는 21~35세의 건강한 성인 15명이 참여하였고 대상자의 나이는 평균

27.84±9.43세였으며, 대상자의 키는 평균 170.23±8.21 cm였으며, 대상자의 몸무게는 평균 62.32±9.76 kg이었고, 발 크기는 평균 260.86±8.54 cm였다. 실험 전에 실험과정에 대한 충분한 설명을 하였으며 자발적인 참여 동의를 받았다.

2. 실험방법

1) 실험 경사로 설계

경사로는 폭이 120 cm, 길이가 150 cm이며, 미끄러짐을 방지하도록 제작하였고 경사로의 기울기는 편의시설의 구조재질 등에 관한 세부구조에 따라 규정하고 있는 기준에 따라 12분의 1(약 5°)로 정하였다.²⁵ 그리고 보행 중 오른쪽 발이 족저압 측정판을 밟고 지나갈 수 있도록 두 번째 디딤발이 놓이는 부위에 설치하였다.

2) 실험 절차

대상자가 실험실에 익숙하도록 5분간 보행 연습을 한 후, 평상시의 편안한 보행으로 걸도록 지시하였다. 그룹은 무작위로 배정하였으며 보행 중 입각기 동안 족저압을 측정하기 위해 오른 발로 족저압 측정판을 밟고 지나가도록 지시하였다. 그리고 모든 대상자는 신발을 신지 않고 실험에 임하도록 하였고 구두지시 하에 정해진 보행조건(평지보행, 오름경사로, 내림경사로)의 보행을 실시하였다. 각 동작 간에는 30초의 휴식시간을 가졌다.

3) 자료 수집

입각기 동안 발바닥에 가해지는 압력을 보기 위해 Matrix 조건인 저항식 압력 센서인 MatScan system (Tekscan, 미국)을 사용하였다. 압력 센서의 너비는 702.579 mm이며 센서는 가로 44개, 세로 52개로 구성되어 있다. 압력 분포는 Tekscan의 상용 프로그램을 이용하여 60 frame/sec로 자료를 수집하였고 수집한 자료는 Tekscan Pressure Measurement System Version 5.23을 사용하여 압력중심이동경로와 영역별 최고 족저압 자료를 수집하였다. 발바닥의 부위별 압력분포를 알아보기 위해 발을 7개의 영역으로 나누어 정의하였다.^{26,27} 두 개의 발가락 구역, 세 개의 전족부 영역, 그리고 하나의 중족부 영역과 하나의 후족부 영역으로 구분하였다. 발가락 영역은 엄지발가락과 새끼발가락으로 구성된 두 개의 영역으로 나누었고 중족골두(metatarsal head) 아래에 위치한 전족영역은 3등분하였다. 내측 전족 영역은 1번째 중족골두 아래, 가운데 전족 영역은 2, 3번째 중족골두 아래, 외측 전족 영역은 4, 5번째 중족골두 밑 부분이다(Figure 1).

대상자들은 평지보행과 오름 - 내림 경사로 보행을 각각 세 번씩 실시하였으며 그 평균값을 자료로 사용하였다.

3. 자료 분석

본 연구는 평지보행과 오름 - 내림 경사로를 보행 동안 압력중심 이동경로와 족저 영역의 최고 압력을 측정하여 보행 조건에 따른 압력중심이동경로 변화와 족저 영역별 최고 압력 차이에 대해 알아보았다. 따라서 Tekscan의 상용 프로그램을 이용하여 보행조건에 따라 나타나는 압력중심이동경로의 변화 경향에 대해 알아보았고 보행 조건에 따른 족저 영역별 최고 압력에 대한 유의성을 알아보기 위해 반복측정 분산분석(Repeated measurement ANOVA)을 이용하였다. 통계처리는 SPSS version 17.0을 사용하였으며 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

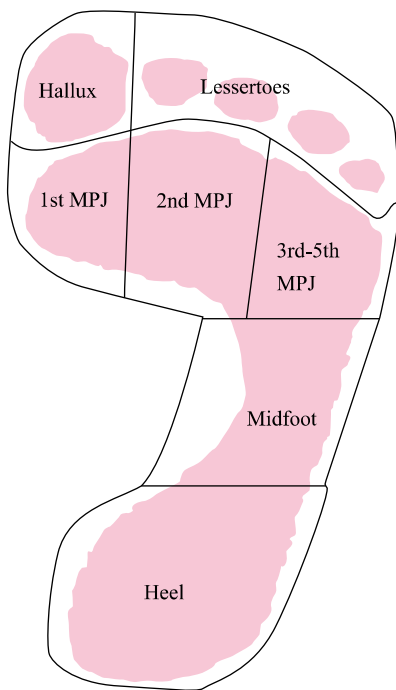


Figure 1. Seven division of plantar foot region.

MPJ: metatarsophalangeal joint

III. 결과

1. 보행 조건에 따른 압력중심이동경로 분석

Figure 2는 평지보행과 오름 - 내림 경사로 보행 시 압력중심 이동경로를 나타낸 것이다. 평지를 보행하는 경우, 일반적인 압력중심이동경로인 후족 외측에서 시작하여 전족부 가운데 부분에서 끝나며 대체적으로 발의 중심을 지나는 경로를 보여주고 있다. 오름 경사로를 보행하는 경우, 평지보행과 비슷하게 압력중심이동경로가 후족부 외측에서 시작하고 발의 중심을 지나지만 전족부 영역에서 내측으로 크게 이동하며 엄지발가락까지 압력중심이동경로가 이어지는 양상을 보인다. 내림 경사로를 보행하는 경우, 평지보행과 비교해 전체적으로 압력중심이동경로가 내측으로 이동하고 했으며 전족부에서 끝나서 짧아지는 경향이 나타났다.

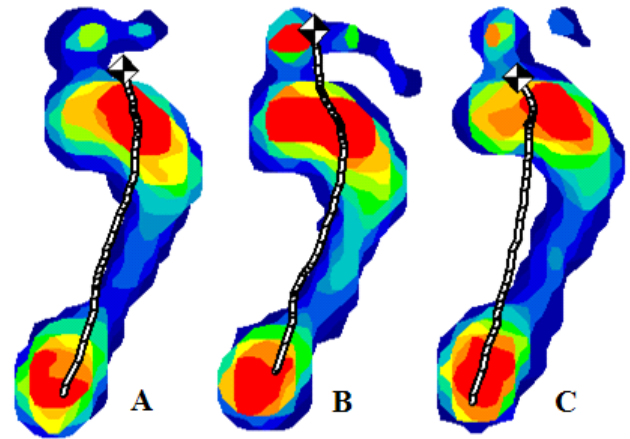


Figure 2. Pathway of COP according to gait condition. A: level walking, B: ascending ramp, C: descending ramp

Table 1. Maximum plantar foot pressure of each region according to gait condition

(unit: kPa)

| Regions | Level walking | Ascending | Descending | F | p |
|----------------|---------------|--------------|--------------|------|-------|
| Hallux | 206.76±70.62 | 213.26±74.97 | 209.36±58.84 | 0.08 | 0.92 |
| Lesser toe | 50.32±46.31 | 43.97±15.72 | 47.26±14.89 | 0.13 | 0.82 |
| Metatarsa 1 | 131.66±55.65 | 152.13±64.49 | 120.93±60.26 | 2.85 | 0.15 |
| Metatarsal 2-3 | 263.44±50.67 | 270.52±76.24 | 179.56±42.81 | 7.68 | 0.00* |
| Metatarsal 4-5 | 112.23±25.11 | 92.85±32.36 | 62.48±20.52 | 8.52 | 0.00* |
| Midfoot | 52.57±21.18 | 55.89±54.14 | 46.32±13.39 | 1.86 | 0.39 |
| Heel | 208.83±29.97 | 219.23±26.50 | 211.96±54.81 | 0.12 | 0.93 |

*p<0.05
Mean±SD

2. 보행 조건에 따른 족저 영역별 최고 족저압 비교

보행 조건에 따른 각 영역별 최고 족저압은 살펴보면(Table 1), 엄지발가락 영역(hallux)에서는 평지보행과 비교해 오름과 내림 경사로 보행 시 족저압이 약간 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었고 새끼발가락 영역(lesser toe)에서는 평지보행과 비교해 오름과 내림경사로 보행 시 대체적으로 족저압이 감소하였으나 역시 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 전족부 내측 영역(metatarsal 1) 부위는 평지보행과 비교해 최고 족저압이 오름경사로 보행 시 증가하였고 내림경사로 보행 시 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 하지만 전족부 가운데(metatarsal 2~3) 부위는 평지보행과 비교해 최고 족저압이 오름경사로 보행 시에는 큰 차이가 없었으나 내림경사로 보행 시 크게 감소하였고 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$)(Figure 3). 그리고 전족부 외측(metatarsal 4~5) 부위 역시 평지보행과 비교해 최고 족저압이 오름경사로 보행 시 조금 감소하였고 내림경사로 보행 시 크게 감소하였으며 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$)(Figure 3). 중족부(midfoot) 영역은 평지보행과 비교해 최고 족저압이 오름경사로 보행 시에는 비슷하였고 내림경사로 보행 시 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 후족부(heel) 영역은 평지보행과 비교해 최고 족저압이 오름경사로 보행 시 조금 증가하였고 내림경사로 보행 시에는 비슷하였으며 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Figure 3).

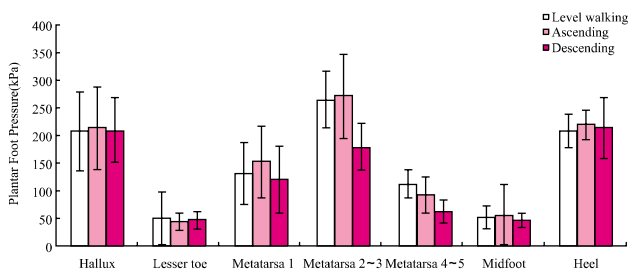


Figure 3. Results of repeated ANOVA about pressure of each plantar foot region according to gait condition. * $p<0.05$

IV. 고찰

발바닥이 지면과 접촉할 때 힘이 발바닥 전체에 작용하기 때문에 한 지점이라고는 할 수 없으므로 압력중심이라고 하는데 매 걸치 순간 마다의 압력중심을 구하여 이것을 연결한 것이 압력중심 이동경로이다. 압력중심은 지면반발력(ground reaction force)이 적용되는 순간적인 점이며 이동하는 동안 이 점의 위치는 대부분

입각기 중 발뒤꿈치에서 발가락 방향으로 움직이고 작은 움직임이 내외측 방향으로 관찰된다.^{28,29} 지면반발력은 바닥의 여러 점에서 작용하지만 압력중심(center of pressure, COP)은 인체의 무게중심(center of gravity)이 작용하는 점으로 중력이 작용하는 점에서 작용한다. 지지면 위의 압력중심 경로의 예측은 보행선(gait line)으로 알려져 있다.^{30,31} 족저압력 분포의 측정을 통해서 발의 각 부위에 전달되는 충격을 자세하게 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 이러한 압력분포의 측정과 분석을 통하여 부상의 진단 및 치료에도 이용될 수 있다.^{16,32} 또한 족저압 측정에 의한 입각기의 분석에서 족저압 측정을 보행과 관련해서 분석하는 것이 환자의 족부에 대한 문제를 정확하게 분석할 수 있고 여러 가지 치료의 경과를 알 수 있는 지표로 유용하다고 보고하였다.^{33,34} 본 연구에서는 평지 보행과 오름 - 내림 경사로를 보행하는 동안 입각기 동안 압력중심 이동경로 변화와 최고 족저압 그리고 각 보행 조건에 따른 족저영역별 최고 족저압의 상관관계를 살펴보았다.

본 연구에서 평지보행과 오름 - 내림 경사로 보행 시 압력중심 이동 경로를 살펴보면, 평지보행과 비교해 오름경사로 보행에서 전족부영역에서 내측으로 이동되고 엄지발가락 영역까지 이동하였음을 확인할 수 있고 내림경사로 보행에서는 평지보행과 비교하여 압력중심 이동 경로가 전체적으로 내측으로 이동하는 양상이 나타났다. Nagel 등³⁵은 경사로 오르기 동안 압력중심의 이동경로는 전족부에서 내측으로 내전되는 경향이 나타났고 특히 엄지발가락으로 압력중심이 이동하였다고 하였는데 이는 경사로 오르기 동안 경사면의 기울기에 의한 발가락 떼기 시점까지 접촉이 계속되었기 때문이라고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구의 결과와 유사하였으며 경사로를 올라가기 위한 추진력을 얻기 위해서라고 생각된다. 반면 내림 경사로 보행 시에는 보행의 속도가 빨라지면서 안정성을 제공을 위해 압력중심 이동경로가 전체적으로 내측으로 이동하고 전족부영역에서 끝나서 압력중심 이동경로가 짧아졌다. 이는 내림경사로 보행 시 속도와 안정성과 관련된 것이라고 생각된다. 이러한 결과와 유사한 선행연구로, Han 등³⁶은 장애물 보행 시 장애물의 높이가 높아질수록 압력중심 이동경로는 짧아지면서 전족부에서 외측으로 이동하는 경향이 있다고 보고하면서 이는 장애물을 넘기 위한 무게중심 이동으로 인한 것으로 보고하였다. 보행조건에 따른 영역별 최고 족저압을 비교해보면, 전족부 가운데 영역에서는 평지보행과 비교해 오름 경사로에서는 조금 증가하였으나 내림 경사로에서는 크게 감소하였고 전족부 외측영역에서는 오름 경사로에서는 조금 감소하였고 내림 경사로에서는 크게 감소하였다. 이는 오름 경사로의 경우 보행이 천천히 진행되면서 추진력을 얻기 위해 족저압이 전족부 가운데 영역에서 증가하였고 내림 경사로의 경우는 보행이 빠르게 진행되면서 전족부 가운데 영역과 외측 영역의 최고 족저압이 감소한 것으로 사료된다. 선행연

구에서도 계단과 경사로를 오르는 동안 족저압 변화에 대한 연구에서 계단보다 경사로 오르기 동안에 전족부에서 족저압이 증가하였다고 보고하였고, 이는 보행에 장애가 있는 사람들은 환경 변화에 대해 좀 더 조심스럽다는 것을 제안한다고 하였다.^{35,37} 따라서 보행 시에 주어지는 보행 환경에 따라 발에 전해지는 압력분포에 차이가 있음을 알 수 있고 이는 보행 환경에 적응하는 발의 중요한 기능이라고 사료된다.

본 연구는 정상인을 대상으로 경사를 오르고 내리는 동안 압력중심이동경로와 족저압의 변화에 대해 알아보았다. 일상생활에서 흔히 접하게 되는 계단이나 경사로와 같은 보행 환경이 평지 보행과는 다른 보행양상이 나타날 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 연구대상자가 정상인으로 한정된 것은 연구의 제한점으로 생각된다. 향후 비만인, 편평족, 무지외반증 그리고 당뇨병환자들과 같은 보행이 불편한 사람들을 대상으로 경사로나 계단 보행 시 압력중심이동경로와 족저압을 분석한다면 정상인과 비교하여 차이점을 발견하고 보행 개선을 위한 좋은 중재방법을 제시할 수 있을 것으로 생각한다.

V. 결론

본 연구는 일상생활에서 흔히 접하게 되는 오름 - 내림 경사로 보행 시 평지보행과 비교하여 압력중심 이동경로 변화와 영역별 최고 족저압의 차이를 알아보았다. 보행조건에 따른 압력중심이동경로는 오름경사로의 경우 전족부에서 내측으로 크게 이동하며 엄지발가락까지 이어졌으며 내림경사로의 경우 이동경로가 전체적으로 내측으로 이동하였다. 또한 보행조건에 따른 영역별 최고 족저압은 내림경사로 보행 시 전족부 가운데 영역과 전족부 외측영역이 뚜렷이 감소하였다. 본 연구는 정상인을 대상으로 평지보행과 비교하여 오름 - 내림경사로 보행 시 압력중심 이동경로와 족저 영역의 압력분포가 달라진다는 것을 확인하는 데 의미를 두었고 이는 보행 환경이 입각기 동안의 발의 구조에 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며 보행 환경에 적응하는 발의 중요한 기능을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 보행 장애가 있는 사람들에 대한 보행의 운동분석 평가 자료로 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

Author Contributions

Research design: Han JT

Acquisition of data: Han JT

Analysis and interpretation of data: Han JT

Drafting of the manuscript: Han JT

Research supervision: Han JT

Acknowledgements

이 논문은 2010학년도 경성대학교 신입교수정착연구비에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. Ryu NH. Walk ability on Ramps by Gait Analysis. J Kor Insti Lands Archi. 1995;23(2):157-66.
2. Menz HB, Morris ME. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. Gait Posture. 2006;24(2):229-36.
3. Han JT, Gong WT, Lee YS. Comparison of muscle activity with lower extremity during stairs and ramp climbing of old adults by EMG. J Kor Soc Phys Ther. 2009;21(1):35-40.
4. Kim SP, Yuan WX, Lee MH. Balance adjustments of gait pattern to prevent slip and fall. Kor J Phys Edu. 2001;40(2):821-31.
5. Chung NS, Choi KH. Cause and prevention of falling in the elderly. J Kor Acad Univ Train Phys Ther. 2001;8(3):107-17.
6. Redfern MS, DiPasquale J. Biomechanics of descending ramps. Gait Posture. 1997;6(2):119-25.
7. Kim HD. The effect of obstacle height on balance control while stepping over an obstacle from a position of quiet stance in older adults. J Kor Soc Phys Ther. 2009;21(3):75-80.
8. Kim K, Seo SK, Yoo HJ. Correlations between muscle strength of the ankle and balance and walking in the elderly. J Kor Soc Phys Ther. 2008;20(1):33-40.
9. Orlin MN, McPoil TG. Plantar pressure assessment. Phys Ther. 2000;80(4):399-409.
10. Rho JS, Kim TH. Reliability of plantar pressure measures using the parotec system. J Kor Acad Univ Train Phys Ther. 2001;8(3):35-41.
11. Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. The Foot. 1994;4(3):123-35.
12. Lavery LA, Armstrong DG, Vela SA et al. Practical criteria for screening patients at high risk for diabetic foot ulceration. Arch Intern Med. 1998;158(2):157-62.
13. Alexander IJ, Campell KR. Dynamic assessment of foot mechanics as an adjunct to orthotic prescription. In: Donatelli RA, eds, Biomechanics of the foot and ankle, Philadelphia, FA Davis, 1990.
14. Orlin MN, McPoil TG. Plantar pressure assessment. Phys

- Ther. 2000;80(4):399-409.
15. Kim YJ, Chae WS. The plantar pressure comparison between the curved rear balance shoes and normal shoes. *Kor J Spor Biom.* 2007;17(3):173-80.
 16. Han TR, Paik NJ, Im MS. Quantification of the path of center of pressure (COP) using an F-scan in-shoe transducer. *Gait Posture.* 1999;10(3):248-54.
 17. Lee DK, Lee JS, Lee BJ et al. Plantar foot pressure analysis during golf swing motion using plantar foot pressure measurementsystem. *Kor J Spor Biom.* 2005;15(1):75-89.
 18. Kim JH, Cynn HS. A study of characteristics of foot pressure distribution in trans-tibial amputee subjects. *J Kor Acad Univ Train Phys Ther.* 2001;8(3):1-10.
 19. Kim YJ, Ji JG, Kim JT et al. A comparison study for mask plantar pressure measures to the difference of shoes in 20 female. *Kor J Spor Biom.* 2004;14(3):83-98.
 20. Minns RJ, Craxford AD. Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis: A comparison of static and dynamic methods of assessment. *Clin Orthop Relat Res.* 1984;(187): 235-42.
 21. Park KH, Kwon OY, Kim YH. Effects of walking speed on foot joint motion and peak plantar pressure in healthy subjects. *J Kor Acad Univ Train Phys Ther.* 2003;10(1): 77-96.
 22. Otter SJ, Bowen CJ, Young AK. Forefoot plantar pressures in rheumatoid arthritis. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2004; 94(3):255-60.
 23. Woodburn J, Helliwell PS. Relation between heel position and the distribution of forefoot plantar pressures and skin callosities in rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1996;55(11): 806-10.
 24. Turner DE, Helliwel PS, Siegel KL et al. Biomechanics of the foot in rheumatoid arthritis: identifying abnormal function and the factors associated with localised disease 'impact'. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(1):93-100.
 25. The National Assembly of the Republic of Korea. The complete collection of laws and regulations for convenience enhancement security of disabled person, the old person, pregnant women. 2004.
 26. Kernozek TW, LaMott EE. Comparisons of plantar pressure between the elderly and young adults. *Gait Posture.* 1995; 3(3):143-8.
 27. 27 Menz HB, Morris ME. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. *Gait Posture.* 2006;24(2):229-36.
 28. Cornwall MW, McPoil TG. Velocity of the center of pressure during walking. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2000;90(7):334-8.
 29. Miller DI. Ground reaction forces in distance running. In: Cavanagh PR, eds, *Biomechanics of distance running*, USA, Human Kinetics Pub, 1990.
 30. Alexander IJ, Chao EYS, Johnson KA. The assessment of dynamic foot-to-ground contact forces and plantar pressure distribution: a review of the evolution of current techniques and clinical applications. *Foot Ankle.* 1990;11(3):152-67.
 31. Fuller EA. Center of pressure and its theoretical relationship to foot pathology. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1999;89(6): 278-91.
 32. Lee JS, Kim YJ, Park SB. A study of insole plantar pressure distribution in functional tennis shoes. *Kor J Spor Biom.* 2004;14(3):99-118.
 33. Lee GH, Park SB, Lee SG et al. Analysis of the stance phase by measurement of plantar pressure. *J Korean Acad Rehab Med.* 1996;20(2):524-31.
 34. Paik NJ, Im MS. The path of center of pressure (COP) of the foot during walking. *J Korean Acad Rehab Med.* 1997;21(4):762-71.
 35. Nagel A, Frerick S, Rosenbaum D. Plantar pressure pattern in stairs climbing. *Clin Biom.* 2008;203(5):684.
 36. Han JT, Lee MH, Kim K. The study of plantar foot pressure distribution during obstacle crossing with different height in normal young adults. *Kor J Spor Biom.* 2008;18(2):1-9.
 37. Han JT, Kim K, Lim SG. Comparison of plantar foot pressure and shift of COP among level walking, stairs and slope climbing. *Kor J Spor Biom.* 2008;18(4):59-65.