

## F-scan System을 이용한 정상인의 보행시 족저압 분포

아주대학교 의과대학 재활의학교실

문 혜 원 · 박 상 일 · 나 은 우  
이 일 영 · 임 신 영 · 김 준 환

=Abstract=

### Foot Pressure Measurement Using F-scan System in Normal Korean Adults

Haewon Moon, M.D., Sang Il Park, M.D., Ueon Woo Rah, M.D.  
Il Young Lee, M.D., Shin Young Yim, M.D., and Joon Hwan Kim, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Ajou University School of Medicine

Peak pressure, force-time integral and relative impulse of feet were measured from 14 young normal adults by a F-scan system.

The measurements were recorded from the subjects while walking on their comfortable speed with soft shoes and ordinary shoes respectively(2 cm heel for men and 4cm heel for women). The mean peak pressure measurements of middle forefoot area were higher than those of hallux area and medial forefoot area while pushing off. The force tended to deviate on heel area while walking. The weight shifting from calcaneal area and lateral forefoot area to medial forefoot area was prominent with the high heel shoes than with the soft shoes.

**Key Words:** F-scan system, Peak pressure, Force-time integral, Relative impulse

### 서 론

발의 기능을 객관적으로 평가하기 위한 foot pressure measurement system은 ① 당뇨 및 류마티스성 관절염 등의 질환의 관리가 개선되면서 환자의 발에 생기는 문제 해결을 위하여 그 필요성이 급증하였고, ② 전자 기술의 발달과 소형 컴퓨터의 보급으로 인하여 기술적으로 정확한 정적·동적 족저압 평가가 가능하여졌으며, ③ 이 시스템을 이용하여 신발이나 신발 삽입 교정물 등을 제작하는데 CAD-CAM system을 도입할 수 있고, ④ 이는 기존의 수작업보다

훨씬 경제적이고 기타 장점이 많다는 점에서 최근 수년간 괄목할만한 발전을 보였다<sup>6)</sup>.

Foot pressure measurement system은 신발이나 의족 또는 보조기를 착용하고 걸을 때 발이나 절단단의 각 부분에서 보행 주기에 따른 압력의 변화를 보여줌으로써, 당뇨나 류마티스성 관절염 등의 질환에서 혈액 순환 부진과 과도한 압력에 의하여 관절염과 괴저가 악화되는 것을 방지하고 절단율을 감소시키는 데 기여할 수 있게 하였다<sup>5,14)</sup>.

족저압은 정적 상태와 동적 상태에서 검사할 수 있으며, 정적 시스템은 동적 시스템보다 간단하고 발의 기형에 의한 압력 분포의 변이를 보여줄 수 있지만 발

의 주 기능인 보행 상태에서의 족저압 변화를 알러면 동적 시스템이 훨씬 유용하다고 할 수 있다<sup>2,4)</sup>.

지금까지 foot pressure measurement system이 개발되는 과정에서 정상인과 당뇨 및 관절염 등 환자를 대상으로 한 족저압 분포에 대한 연구가 많이 보고되어 왔다<sup>5,11,14)</sup>. 초기에는 신발을 신지 않은 상태에서 firm platform을 이용하여 족저압을 측정하는 연구가 대부분이었으나 최근들어 신발 속에 넣고 걸을 수 있는 압력 탐색자, 즉 insole system이 개발됨에 따라 신발을 신고 걷는 상태에서 족저압 측정이 가능하여 족다. 그리고 발이 정상 상태라 할 지라도 맨발 상태와 신발을 신은 상태는 차이가 있을 것으로 생각되며 보행시 신발을 신는 점을 감안할 때 정상인이 신발을 신은 상태에서 보행시 족저압의 분포를 알아 보는 것이 향후 foot pressure measurement system의 임상적 적용에 도움이 될 것으로 판단되어 본 저자들은 F-scan system을 이용하여 정상 성인 14인을 대상으로 각기 종류가 다른 신발을 신고 걸을 때 족저압의 분포를 조사 분석하여 보고하는 바이다.

## 연구 대상 및 방법

### 1) 연구 대상

연구 대상은 아주 대학 병원 근무자 중 실험에 동의하고 발에 병적 조건이 없는 20, 30대 남녀 14인으로 하였다. 정상 발의 기준은 1964년 Schwarz등<sup>9)</sup>이 제시한 4개의 조건으로서 ① 파행 보행 등과 같은 외형상 걸음걸이의 이상이 없고, ② 다리나 발의 구조적인 이상이 없고, ③ 티눈이나 압박종 등이 없으며, ④ 장시간 걷거나 서 있을 때 과도한 통증, 불편감, 피로 등의 장애가 없어야 하는 것으로 하였다.

연구 대상자의 연령 구성은 20대 10명, 30대 4명으로 평균 연령은 남녀 각각 29.3세, 26.3세이었으며 평균 체중은 남녀 각각 68.7 kg, 52.4 kg이었다.

### 2) 평가 도구

족저압의 평가는 Tekscan사의 F-scan system을 이용하였다. F-scan system은 ① 족저압을 측정할 수 있는 재단이 가능한 압력 탐색자 ② 다리에 부착할 수 있는 변환 장치 ③ 변환 장치와 컴퓨터를 연결하는 9.25 m의 케이블 ④ 족저압 분석을 위한 소프트웨어

(F-scan version 3.62)와 ⑤ 컴퓨터로 구성되어 있다.

압력 탐색자는 두께가 0.2 mm로 매우 얇고 잘 구부러지며 연구 대상자의 발 크기에 맞게 잘라 신발안에 넣고 신을 수 있게 되어 있다. 압력 탐색자는 자르지 않은 상태에서 960개의 압력 감지점으로 구성되어 있고 압력 감지점은 5 mm 간격의 격자 형식으로 균일하게 분포되어 있으며 각각의 압력 감지점으로 부터 기록된 압력은 변환 장치를 거쳐 컴퓨터에 저장되게 되어 있다<sup>9)</sup>.

F-scan system은 보행 주기에 따른 족저압의 변화를 2차원 혹은 3차원으로 나타낼 수 있으며 시간에 따른 족저압과 힘의 변화를 그래프로 볼 수 있게 되어 있고 원하는 부위를 지정하여 시간에 따른 그 부위의 압력 및 힘의 변화, 힘-시간 적분 등을 평가할 수 있게 되어 있다.

### 3) 평가 방법

여자의 경우는 굽이 없는 실내화와 4 cm 굽이 있는 구두를, 남자의 경우는 굽이 없는 실내화와 2 cm 굽이 있는 구두를 신게 하고, 연구 대상자에게 편안하고 자연스러운 속도로 걷게 한 상태에서 F-scan system을 이용하여 양측 발의 족저압을 평가하였다.

연구 대상자는 족저압 측정 장치를 양측 발에 착용한 상태에서 실내화나 구두를 신고 신발 속에 넣은 압력 탐색자의 보정을 시행한 다음 적용이 되도록 5걸음에서 10걸음을 걸은 후 검사를 시행하였다. 검사는 연구 대상자가 단단하고 고른 바닥에서 자연스러운 속도로 직선 방향으로 걷도록 한 후 중간 걸음부터 시작하여 1초당 50회씩 6초동안 기록하였고 이때 기록된 걸음수는 좌우 양측을 합하여 10~12걸음이 되도록 하였다.

### 4) 결과 분석

족저압의 평가를 위하여 족저는 내·외 종골부, 중족부, 첫번째 중족골에 해당하는 내측 전족부, 두번째·세번째 중족골에 해당하는 중앙 전족부, 네번째·다섯번째 중족골에 해당하는 외측 전족부와 무지부의 7 부위로 나누었으며, 각 부위의 크기는 내·외종골부는 4×8 cm, 중족부는 7×4 cm, 각각의 전족부는 남자의 경우는 3×4 cm, 여자의 경우는 2.5×4 cm, 무지부는

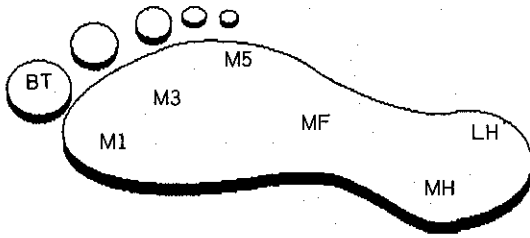


Fig. 1. Partition of foot area.

BT: big toe, M1: medial forefoot, M3: middle forefoot, M5: lateral forefoot, MF: midfoot, MH: medial heel, LH: lateral heel

3×3.5 cm으로 하였다(Fig. 1).

자료 분석은 남녀 모두 원발에서 처음과 마지막 걸음을 제외한 3걸음을 선택하여 신발의 종류에 따른 각 부위별 최대 압력(peak pressure), 힘-시간 적분(force-time integral)을 측정하고, 부위별 힘-시간 적분을 전체 발의 힘-시간 적분으로 나눈 비 값인 relative impulse를 구하여 t-test를 이용하여 남녀에서 각 신발에 따른 변화를 비교하였다.

## 결 과

### 1) 부위별 평균 최대 압력

남자의 경우는 실내화와 구두 모두 두번째·세번째 중족골에 해당하는 중앙 전족부에서 172kPa과 153 kPa로 가장 높은 압력을 나타내었으며 족저 각 부위에서 신발 차이에 따른 압력의 유의한 변화는 없었다(Fig. 2).

여자의 경우는 실내화를 신었을 때는 중앙 전족부의 압력이 156.9kPa로 가장 높았고 구두를 신을 때는 내측 전족부의 압력이 116.4kPa로 가장 높았으며, 구두를 신었을 때가 실내화를 신었을 때에 비해 내중골부, 중족부에서 압력의 유의한 감소와 내측 전족부에서 압력의 유의한 증가를 보였다(Fig. 3).

### 2) 부위별 평균 힘-시간 적분

남자의 경우는 실내화와 구두 모두에서 내중골부가 70 Newton-seconds, 79 Newton-seconds로 가장 높은 힘-시간 적분을 나타내었고 전체적으로 전족부에 비해 중골부에서 높은 수치를 나타내었다. 두 그

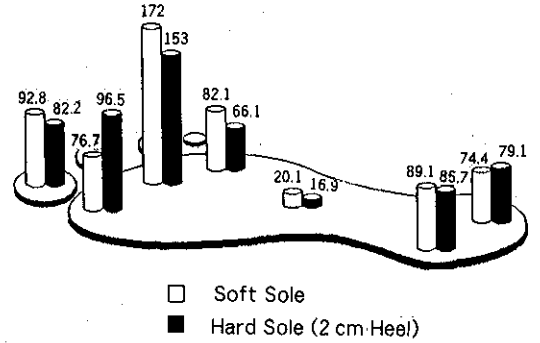


Fig. 2. Mean peak pressure in 7 parts of foot in men. unit: kPa

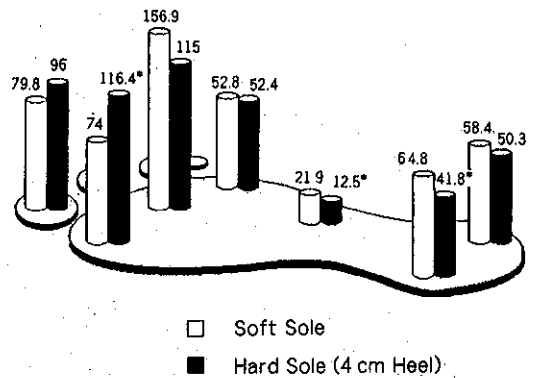


Fig. 3. Mean peak pressure in 7 parts of foot in women. \*p<0.05 unit: kPa

름간에는 중앙 전족부에서 실내화를 신었을 때에 비해 구두를 신었을 때 힘-시간 적분의 유의한 감소를 보였다(Fig. 4).

여자의 경우는 실내화를 신었을 때는 내중골부가 64.1 Newton-seconds로, 구두를 신은 경우는 외중골부가 49.4 Newton-seconds로 가장 높은 힘-시간 적분을 나타내었으며, 실내화를 신었을 때에 비해 구두를 신었을 때 내중골부, 중족부에서 힘-시간 적분의 유의한 감소와 내측 전족부에서 힘-시간 적분의 유의한 증가를 보였다(Fig. 5).

### 3) 부위별 평균 relative impulse

남자의 경우는 실내화와 구두 모두 내중골부에서

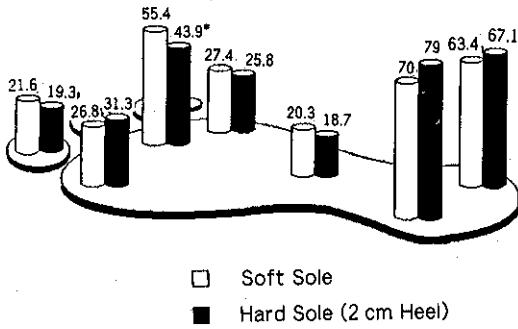


Fig. 4. Mean force-time integral in 7 parts of foot in men.  
\*p<0.05 unit: Newton-seconds

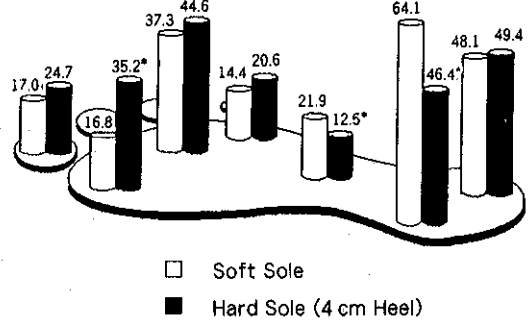


Fig. 5. Mean force-time integral in 7 parts of foot in women.  
\*p<0.05 unit: Newton-seconds

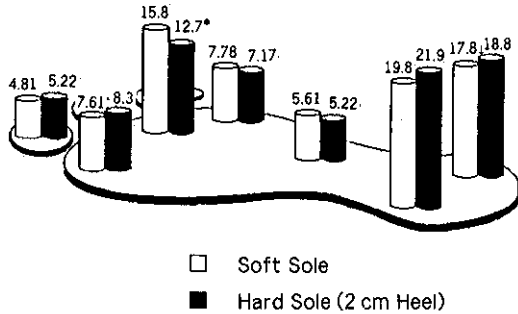


Fig. 6. Mean relative impulse in 7 parts of foot in men.  
\*p<0.05 unit: %

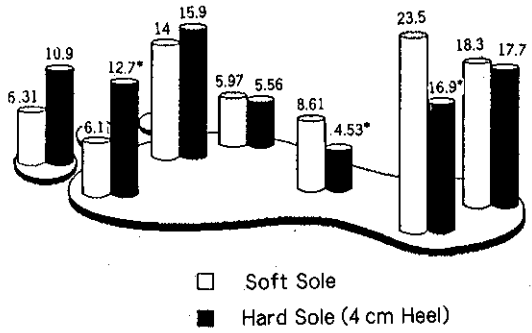


Fig. 7. Mean relative impulse in 7 parts of foot in women.  
\*p<0.05 unit: %

relative impulse가 각각 19.8%, 21.9%로 가장 높았으며, 실내화를 신었을 때에 비해 구두를 신었을 때 중앙 전족부에서 relative impulse의 유의한 감소를 보였다(Fig. 6).

여자의 경우는 실내화를 신었을 때는 내종골부가 23.5%로, 구두를 신었을 때는 외종골부가 17.7%로 가장 높은 relative impulse를 보였으며, 실내화를 신었을 때에 비해 구두를 신었을 때 내종골부와 중족부에서 relative impulse의 유의한 감소와 내측 전족부에서 relative impulse의 유의한 증가를 보였다(Fig. 7).

#### 4) 가장 높은 최대 압력(peak pressure)을 나타내는 부위별 빈도

실내화를 신었을 때는 남녀 모두 중앙 전족부에서 가장 높은 최대 압력을 나타내었으며, 구두를 신었을 때는 가장 높은 최대 압력을 나타내는 부위가 남자의 경우 중앙 전족부 6명, 내측 전족부 1명, 여자의 경우는 중앙 전족부 5명, 내측 전족부와 무지부가 각각 1명이었다(Table 1).

#### 5) 가장 높은 힘-시간 적분을 나타내는 부위별 빈도

가장 높은 힘-시간 적분을 나타내는 부위가 남자에

**Table 1. Site of Highest Peak Pressure in Sole**

Sites	No. of cases			
	Soft sole		Hard sole	
	Male	Female	Male	Female
Big toe				1
Medial forefoot			1	1
Middle forefoot	7	7	6	5
Total	7	7	7	7

**Table 2. Site of Highest Force-time Integral in Sole**

Sites	No. of cases			
	Soft sole		Hard sole	
	Male	Female	Male	Female
Medial forefoot	1			3
Middle heel	5	5	6	2
Lateral heel	1	2	1	2
Total	7	7	7	7

서는 실내화와 구두 모두 내종골부가 각각 5명과 6명으로 가장 높은 빈도를 보였으며, 여자에서는 실내화의 경우 내종골부가 5명이었으나 구두를 신은 경우는 내측 전족부, 내외 종골부가 비슷한 빈도를 보였다 (Table 2).

## 고 찰

최근 수년간 족저압 측정에 관한 관심이 고조되어 왔는데 족저압의 증가는 당뇨 환자에서 궤양의 발생과 류마티스성 관절염과 같은 발의 병적 조건을 가진 환자에서 통증을 일으키는 중요한 요소로 알려져 있다<sup>5, 11, 14</sup>. 또한 특별히 발에 이상이 없는 환자에서 발의 통증과 족저압 사이의 관계가 새로운 관심의 대상이 되고 있다<sup>9</sup>.

보행시의 족저압 분포의 측정을 위한 많은 시도들이 있어 왔지만 지금까지의 연구 방법은 force platform을 이용하여 신발을 신지 않은 상태에서 족저압을 평가한 것이었고 신발을 신은 상태에서 족저압의

변화에 대한 연구는 미비한 상태였다. 그러나 최근 신발 속에 넣을 수 있는 얇은 두께의 insole system이 개발됨에 따라 족저압 분포의 측정 방법이 한 단계 발전하게 되었다.

F-scan system은 탐색자, 변환 장치, 케이블, 컴퓨터로 구성되어 있으며 이 중 탐색자는 환자의 발에 맞게 재단하여 신발에 넣고 신을 수 있게 되어 있으며, 1992년 Rose등<sup>8</sup>은 F-scan system을 이용하여 재연성, 내구성, 탐색자간의 차이를 조사하여 임상적 유용성을 증명한 바 있다.

1980년 Clarke<sup>11</sup>는 걸음 속도를 1.33 m/sec으로부터 1.79 m/sec(약 33% 증가)로 증가시켰을 때 모든 부위에서의 족저압은 평균 7.2%만 증가한다고 보고하였으며, Hennig와 Rosenbaum<sup>9</sup>은 대상자의 걸음 속도를 제한하였을 때 보행 방법의 이상을 초래한다고 보고하여 본 연구에서는 대상자의 보행 속도는 제한하지 않았다.

Hennig와 Rosenbaum<sup>9</sup>은 정상 성인에서 가장 높은 최대 족저압은 무지부이며 그 다음으로 중앙 전족부로 보고하였으나, 본 연구에서는 중앙 전족부, 무지부순으로 나타났으며 이는 push off시에 무지부의 역할이 중앙 전족부에 비해 적기 때문인 것으로 생각되어진다. 또한 전족부 중에서, 일반적으로 보행시 가장 높은 압력을 받는다고 알려진 내측 전족부보다 중앙 전족부의 압력이 높은 것으로 나타나 보행시 전족부에 기능적 횡아치가 존재하지 않는다는 Hennig와 Rosenbaum<sup>9</sup>의 결과와 일치하였다.

정상 성인에서 족저의 각 부분이 바닥과 닿는 시간에 대하여서는 Scranton과 McMaster<sup>10</sup>가 stance phase에서 종골부가 45%, 중족부가 58%, 전족부가 63%, 무지부가 60%라고 하였으며, Soames등<sup>13</sup>은 종골부와 중족부가 60%, 전족부가 80%, 발가락 부위가 50~55%로 저자에 따라 차이는 있지만 전족부가 종골부에 비해 바닥과 닿는 시간이 긴 것으로 되어 있으며 따라서 힘-시간 적분 및 relative impulse는 전족부가 종골부에 비해 큰 것으로 되어 있다. 또한 Hennig와 Rosenbaum<sup>9</sup>은 relative impulse가 무지부 20.6%, 중앙 전족부 22.1%, 내·외측 종골부가 각각 13.2%, 11.9%로 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 relative impulse상 실내화를 신었을 때 여자의 경우는 무지부 6.31%, 중앙 전족부 14%, 내·

의 종골부에서 각각 23.5%, 18.3%, 남자의 경우는 무지부 4.81%, 중앙 전족부 15.8%, 내·외 종골부가 각각 19.8%, 17.8%로 전족부보다 종골부에서 더 큰 값을 나타내었다.

Soames<sup>13)</sup>는 높은 구두를 신었을 때에는 내측 전족부의 압력은 증가하고 외측 전족부의 압력은 감소한다고 하였으며, 본 연구에서는 남자의 경우 실내화에 비해 2cm 굽이 있는 구두를 신었을 때 최고 족저압, 힘-시간 적분, relative impulse 모두에서 의미있는 변화는 아니었지만 비슷한 경향을 보였다. 여자의 경우는 구두를 신었을 때 실내화에 비하여 최대 압력, 힘-시간 적분 및 relative impulse 등의 모든 지표에서 내측 종골부와 중족부의 의미있는 감소와 내측 전족부의 의미있는 증가를 보여 전반적으로 힘과 압력이 종골부에서 내측 전족부로 치우치는 경향을 보였다. 이는 구두굽이 높아짐에 따라 족저의 무게 중심이 전족부쪽으로 이동되고 따라서 전족부에서 족저압의 증가와 바닥에 닿는 시간이 증가되기 때문인 것으로 생각되어진다.

본 연구는 대상자의 수가 적으므로 하나의 수치가 평균에 큰 영향을 줄 수가 있으므로 각 부위별로 가장 높은 최대 압력 및 힘-시간 적분을 나타내는 대상자 수를 조사하여 보았다. 지금까지의 결과와 비슷하게 가장 높은 최대 압력의 부위별 빈도는 실내화나 구두를 신었을 때에 남녀 모두 중앙 전족부에서 가장 높은 빈도를 보였으며, 가장 높은 힘-시간 적분을 나타내는 부위별 빈도는 여자가 구두를 신은 경우를 제외하고는 남녀 모두 내종골부가 가장 높은 빈도를 보였다. 여자가 구두를 신은 경우는 3명에서 내측 전족부가 가장 높은 힘-시간 적분을 나타내었으며, 다른 4명에서도 내측 전족부로 치우치는 경향을 보였다.

이상으로 보아서 정상 성인에서는 보행시 push-off 시기에 무지부나 내측 전족부에 비해 중앙 전족부가 가장 큰 압력을 받으며, 전체 보행 주기에서 종골부에 미치는 힘이 무지부나 전족부에 비하여 높고, 높은 구두를 신었을 때에는 굽이 없는 실내화에 비해 압력과 힘이 종골부 및 외측 전족부에서 내측 전족부로 치우치는 경향을 보여 주었다.

본 연구는 대상자의 수가 적었고 발의 구조 및 걸음 걸이에 대한 분석이 없었고 실내화를 제외하고는 본인의 신발을 신음으로 인해 신발에 따른 차이가 있을 수

있으므로 이러한 요소들을 감안한 연구가 필요할 것으로 생각되어진다.

## 결 론

신발내 족저압을 측정할 수 있는 F-scan system 을 이용하여 정상 성인 14인을 대상으로 신발의 종류에 따른 각 부위별 최고 압력, 힘-시간 적분 및 relative impulse를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

정상 성인에서 보행시 push-off 시기에 무지부나 내측 전족부에 비해 중앙 전족부가 가장 큰 압력을 받으며, 전체 보행 주기에서 종골부에 미치는 힘이 무지부나 전족부에 비하여 높고, 높은 구두를 신었을 때는 굽이 없는 실내화에 비해 압력과 힘이 종골부 및 외측 전족부에서 내측 전족부로 치우치는 경향을 보여 주었다.

## 참 고 문 헌

- 1) Clarke TE: *The pressure distribution under the foot during barefoot walking. Doctoral dissertation. The Pennsylvania State University, 1980*
- 2) Duckworth T, Betts RP, Franks CJ, Burke J: *The measurement of pressures under the foot. Foot Ankle 1982; 3: 130-141*
- 3) Hennig EM, Rosenbaum D: *Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. Foot Ankle 1991; 11: 306-311*
- 4) Hughes J, Kriss S, Klenerman L: *A clinician's view of foot pressure: a comparison of three different methods of measurement. Foot Ankle 1987; 7: 277-284*
- 5) Lord M, Hosein R: *Pressure redistribution by molded inserts in diabetic footwear: a pilot study. J Rehab Res Dev 1994; 31: 214-221*
- 6) Lord M, Reynolds DP, Hughes JR: *Foot pressure measurement: a review of clinical findings. J Biomed Eng 1986; 8: 283-294*
- 7) Minns RJ, Craxford AD: *Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis. Clin Orthop 1984; 187: 235-242*
- 8) Rose NE, Feiwell LA, Cracchiolo A III: *A method for measuring foot pressures using a*

- high resolution, computerized insole sensor: the effect of heel wedges on plantar pressure distribution and center of force. *Foot Ankle* 1992; 13: 263-270
- 9) Schwartz RP, Heath AL, Morgan DW, Towns RC: A quantitative analysis of recorded variables in the walking pattern of normal adults. *J Bone Joint Surg* 1964; 46A: 324-334
- 10) Scranton DE, McMaster JH: Momentary distribution of forces under the foot. *F Biomech* 1976; 9: 45-58
- 11) Sharma M, Dhanendran M, Hutton WC, Corbett M: Changes in load bearing in the rheumatoid foot. *Ann Rheum Dis* 1979; 38: 549-552
- 12) Smith L, Plehwe W, McGill M, Geney N, Yue DK, Turthe JR: Foot bearing pressure in patients with unilateral diabetic foot ulcers. *Diabetic Med* 1989; 6: 573-575
- 13) Soames RW: Foot pressure patterns during gait. *J Biomed Eng* 1985; 7: 120-126
- 14) Vaucher J, Assal J, Ekoe JM, Kreinhofe M: Prevention and amputation level of lower limbs in diabetics. *ISPO IV World Congress, Abstract 60, London, 1983*
-