

중족골 바의 위치가 신발 내 발바닥 압력에 미치는 영향

한양대학교 의과대학 재활의학교실

이원재 · 장성호 · 이상건 · 박시복

The Change of In-shoe Plantar Pressure according to Lever-point of Metatarsal-Bar

Won Jae Lee, M.D., Sung Ho Jang, M.D., Sang Gun Lee, M.D. and Si Bog Park, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Hanyang University College of Medicine

Objective: To find the most effective lever-point to manufacture the rocker-outsole.

Method: Ten healthy men were participated. Metatarsal-bar, 12×1×0.5 cm, was clung to the outsole of shoes. In the first experimental-group, we set the center of the metatarsal-bar to an imaginary line which across the center of the 1st metatarsal head with that of the 5th metatarsal head. In turns, we experimented the other groups as moved the center of the metatarsal-bar 0.5 cm backwards, each naming 2nd, 3rd, 4th group. Plantar peak pressures were measured at T0 (whole foot), M1 (heel), M2 (midfoot), M3 (1st, 2nd

metatarsal area), M4 (3rd, 4th, 5th metatarsal area), M5 (great toe), M6 (2nd, 3rd toe) and M7 (4th, 5th toe).

Results: There was significant decrease in the peak pressure of M3 in the first experimental-group, which the center of metatarsal-bar was set to an imaginary line.

Conclusion: In the first experimental-group, there was significant decrease in the peak pressure of M3. Therefore, the lever-point of rocker-sole should be set to an imaginary line which connects the center of the 1st metatarsal head with that of the 5th metatarsal head. (J Korean Acad Rehab Med 2006; 30: 266-270)

Key Words: Peak plantar pressure, Metatarsal-bar, Rocker-sole, Lever-point

서 론

당뇨병은 현대 성인병의 많은 부분을 차지하고 있지만, 이들 당뇨환자들을 위한 당뇨화에 관한 연구는 미비한 실정이다. 당뇨와 관련된 족부질환은, 그 질환 자체가 일단 발생하면 매우 위험하고 또 절단이라고 하는, 환자에게는 사회적, 경제적, 정신적으로 중한 장애로 이어지게 된다. 당뇨환자에서 족부궤양은 하지를 절단하기 직전의 전조증상이다. 일단 족부 궤양이 발생하면 당뇨환자의 삶의 질은 급격히 감소하게 되기 때문에, 이를 방지하기 위한 여러 방법이 동원된다.⁸⁾

족부 궤양을 예방하기 위해서 피부와 발톱관리, 당뇨화의 선택, 위험인자를 감소시키는 방법 등에 관한 종합적인 환자 교육 시행 등 다양한 치료와 예방법들이 있다. 그 중 발바닥 압력 감소와 효과적인 발바닥 압력의 분산을 위한

여러 보조기의 사용에 관한 연구는 중요한 의미를 지니고 있다.^{6-10,17)}

이처럼 발바닥 압력 감소를 위한 발보조기에는 중족골 바, 중족골 패드, 중족골 돔 등을 포함하여 여러 가지가 있다. 그 중 흔들겉창(rocker-sole)¹⁴⁾은 중족골 머리 부근에 지렛점이 위치하여 체중의 전방이동을 용이하게 하고, 발 뒤축 접지기와 발가락 들림시기에 발의 압력을 줄임으로써, 자연스럽게 입각기를 지날 수 있도록 한다.

그러나 많은 종류의 흔들겉창이 있고, 이들 각각의 지렛점의 위치가 차이가 많기 때문에 지렛점의 위치에 따라 신발 내 발바닥 압력 분산 효과를 조사해 볼 필요가 있다. 하지만, 동일한 소재로 흔들겉창을, 지렛점이 다르게 제작하기에는 현실적인 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 고무 막대를 지렛대로 사용하여 지렛점의 부착위치에 따른 발바닥압력의 차이를 알아보려고 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

족부 질환이 없는 건강한 성인 남자 10명을 대상으로 하였다. 실험 대상자들의 평균 연령은 30.8±2.1세, 평균 신장은 175.6±5.5 cm, 평균 체중은 76.4±8.8 kg, 평균 신체질량지수는 25.5±2.2 kg/m²이었다.

접수일: 2005년 2월 21일, 게재승인일: 2006년 3월 29일

교신저자: 박시복, 서울시 성동구 행당동 17

☎ 133-791, 한양대학교의료원 재활의학과

Tel: 02-2290-9359, Fax: 02-2282-0772

E-mail: sibopark@hanyang.ac.kr

본 논문은 2003년도 정보통신부 IMT 2000 연구 및 개발 사업 연구비의 보조로 이루어졌음.

2) 연구방법

먼저 체중부하 상태에서 내측의 첫 번째 중족골두와 외측의 다섯 번째 중족골두를 측정하여 그 바로 구두 밑 바닥창에 압정으로 표시하여 기준점으로 삼았다. 이를 잇는 가상선을 중족골두의 기준선으로 하고, 높이 0.5 cm, 폭 1 cm, 길이 12 cm 의 고무막대를 구두 너비에 맞추어 재단한 후, 양면 테이프를 이용하여 신발바닥에 단단히 고정시켰다 (Fig. 1).

중족골 바를 부착하지 않았을 때, 중족골 바의 중심을 중족골두 중심에 맞췄을 때, 그보다 0.5 cm 후방에 중족골 바의 중심을 맞췄을 때, 1 cm 후방에 맞췄을 때, 1.5 cm 후방에 맞췄을 때, 이렇게 다섯 가지 경우의 발바닥 압력 변화를 살펴보았다. 각각을 임의로 ‘미부착 시’, ‘중심선 부착 시’, ‘0.5 cm 후방 부착 시’, ‘1 cm 후방 부착 시’, ‘1.5 cm 후방 부착 시’로 명명하여 자료 기술의 편의를 꾀하였다. 발바닥 압력 측정에 사용된 장비는 Pedar[®] system (NOVEL GmbH, Germany)을 이용하였으며, 자연스러운 보행을 유도하기 위해 각 군당 10 m 거리를 4회 왕복하여 측정하였다. 분석은 Pedar C-expert 프로그램을 이용하였다.^{1,3)}

발바닥 압력의 부위별 분석을 위해 이전 연구에서 했던 방법을 이용하여 발바닥 압력을 총 7개의 구역으로 나누어 분석하였다.^{1,3)} 후족부에 해당하는 M1 구역, 중족부에 해당하는 M2 구역, 내측 전족부에 해당하는 M3 구역, 외측 전족부에 해당하는 M4 구역, 엄지발가락에 해당하는 M5 구역, 두 번째/세 번째 발가락에 해당하는 M6 구역, 네 번째/다섯 번째 발가락을 묶어서 M7 구역으로 설정하였다.

다중분석을 통해 발바닥 구역별로 군 간 최대압력의 차이를 살펴보았으며, tests of between-subjects effects, multiple comparisons, homogeneous subset multiple range test의 결과를 토대로 가장 이상적인 중족골 바의 부착위치에 대해 고찰해 보았다. 유의수준은 p값이 0.05 미만인 경우로 하였다. 실험장비의 오류로 인해 우측 발의 자료가 일관성 없는 결과를 나타냈으며, 이로 인해 좌우 비교와 구역별 좌우 합산은 이루어지지 않았다.

결 과

중족골 바의 부착위치를 달리한 각 군마다 구역별 신발 내 발바닥 최대압력을 구하여 비교하였다.

발바닥 전 구역과 후족부(M1)의 최대 압력은 ‘중심선 부착 시’만이 ‘미부착 시’와 차이가 없었으며, 나머지 ‘0.5 cm 후방 부착 시’, ‘1 cm 후방 부착 시’, ‘1.5 cm 후방 부착 시’에는 유의한 압력 증가를 관찰할 수 있었다. 중족부(M3)의 최대압력은 ‘0.5 cm 후방 부착 시’, ‘1 cm 후방 부착 시’, ‘1.5 cm 후방 부착 시’보다 ‘미부착 시’에서 의미있게 낮았고, ‘미부착 시’보다는 ‘중심선 부착 시’에서 압력이 더 낮았다. 엄지발가락(M5)에서의 최대압력은 ‘0.5 cm 후방 부착 시’와 ‘1.5 cm 후방 부착 시’에서 ‘미부착 시’보다 의미있게 낮은 압력을 보였다. 네 번째/다섯 번째 발가락(M7)에서는 ‘1 cm 후방 부착 시’와 ‘1.5 cm 후방 부착 시’가 ‘미부착 시’보다 의미있게 낮은 압력을 보였다. 중족부(M2), 외측 전족부(M4), 두 번째/세 번째 발가락(M6)에서는 위치 변화에 따른 유의한 압력변화를 관찰할 수 없었다(Table)(Fig. 2).

Table. In-shoe Plantar Peak Pressure according to the Position of Metatarsal Bar, Left Foot

Peak pressure (N/cm ²)	Without metatarsal bar	With metatarsal bar			
		Bar at MH ¹⁾ center line	Bar at MH 0.5 cm proximal	Bar at MH 1 cm proximal	Bar at MH 1.5 cm proximal
Whole foot	20.70±12.17	28.40±17.87	38.40±15.28	38.20±14.85	40.50±10.66*
M1 ²⁾	14.30±8.79	24.00±16.92	29.90±17.23	33.40±16.10	39.40±10.69*
M2 ³⁾	14.90±12.54	14.20±15.72	9.00±9.87	9.80±12.39	12.60±14.58
M3 ⁴⁾	18.80±12.92	13.70±10.39	31.00±18.83	30.60±18.82	29.80±17.86*
M4 ⁵⁾	14.90±10.19	12.60±10.63	19.10±17.53	18.90±18.10	17.80±17.05
M5 ⁶⁾	17.00±10.55	13.50±10.96	9.00±2.11	12.20±12.01	8.70±1.42*
M6 ⁷⁾	8.20±2.25	6.30±1.49	9.70±10.72	6.40±1.58	9.70±11.48
M7 ⁸⁾	7.30±3.68	6.30±1.34	5.60±1.17	5.20±1.75	4.80±1.87*

Values are mean±S.D.

1. MH: Metatarsal-head, 2. M1: Hindfoot, 3. M2: Midfoot, 4. M3: 1st, 2nd metatarsal, 5. M4: 3rd, 4th, 5th metatarsal, 6. M5: 1st toe, 7. M6: 2nd, 3rd, toe, 8. M7: 4th, 5th toe

*p<0.05

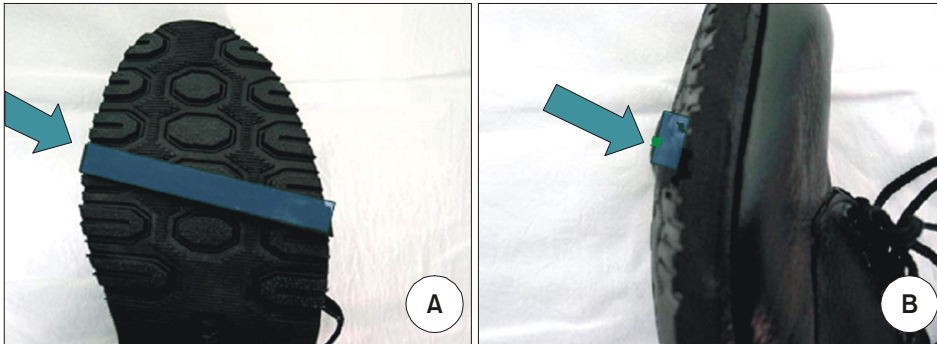


Fig. 1. The set position of metatarsal-bar, which clung to the outsole of shoes, showing (A) plantar view and (B) lateral view.

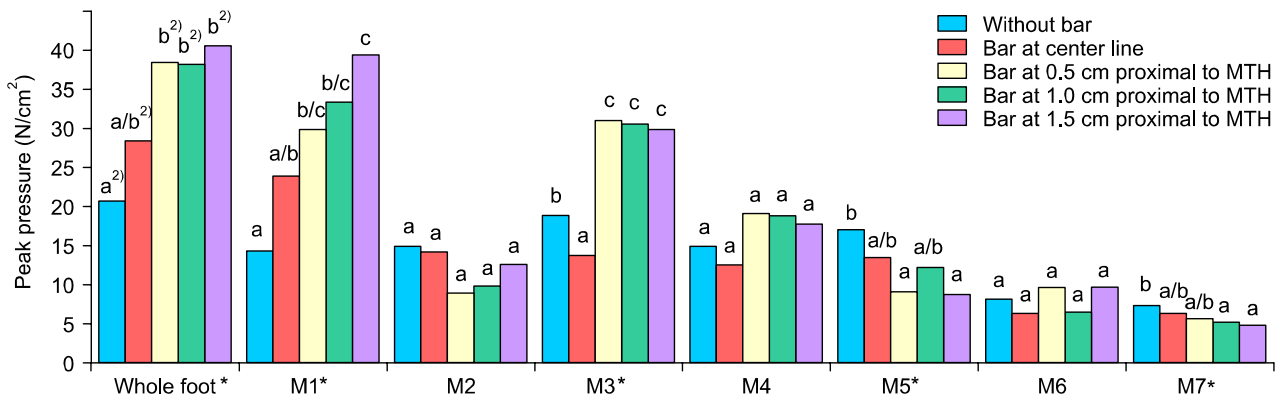


Fig. 2. Comparison of peak plantar pressure of each foot area between groups. 1. Statistical significances were tested by univariate analysis of variances among groups (* $p < 0.05$). 2. The same letters indicate non-significant difference between groups based on Tukey's multiple comparison test (MTH: metatarsal head, M1: hindfoot, M2: midfoot, M3: 1st, 2nd metatarsal, M4: 3rd, 4th, 5th metatarsal, M5: 1st toe, M6: 2nd, 3rd toe, M7: 4th, 5th toe).

고찰

족압 감소를 위한 발 보조기는 이미 서양에서는 오래 전부터 활발하게 연구가 시작된 분야이다. 그에 관한 여러 논문이 있었지만, 발압력 측정 장치를 이용한 논문은 10년 전부터 활발히 보고되기 시작하였다. 1994년 Chang 등⁷⁾은 중족골 패드를 부착하여 첫 번째와 두 번째 중족골 머리부위의 압력을 감소시키기를 확인하였고, Hyada 등⁸⁾은 중족골 패드가 신발 내 발바닥 압력을 효과적으로 줄였다는 보고를 하였다. Wainvenhaus와 Brettschneider¹⁵⁾는 중족골 골두 절제술을 통해 발바닥 최대압력을 감소시킬 수 있었다는 보고를 통해, 중족골두의 압력감소가 궤양 악화와 변형 방지에 필수적임을 역설하였고, 이후 Patel과 Wieman¹³⁾과 Bitzan 등⁵⁾이 같은 맥락의 연구결과를 발표하였다. 1999년 Hodge 등¹⁰⁾이 중족골 바를 이용한 맞춤형 발 보조기가 둘째 중족골 통증을 가진 류마티스 환자의 통증경감에 효과가 있다는 보고하였다. Abouaasha 등⁴⁾은 발바닥 압력 최고점의 두께를 높임으로써 궤양예방에 도움을 줄 수 있음을 제안하였고, Mandato와 Nester¹²⁾은 구두 뒷축의 높이와 발바닥 최대 압

력 사이의 반비례 관계에 대한 연구를, Lawless 등¹¹⁾은 fracture walker와 total contact cast 등의 보조기가 첫 번째 중족골 부위의 발바닥 압력을 효과적으로 낮췄다는 보고를 하였다. 2001년 정 등²⁾은 당뇨병 환자에서 발 궤양이 있는 경우 발바닥 압력이 높다고 보고하였고, 2003년에는 Gefen⁸⁾이 당뇨발에서 내측 뼈 용기 밑 조직이 가장 손상받기 쉽다는 논문을 발표하면서, 당뇨 환자의 발 관리에서 발 보조기의 중요성을 역설한 바 있다. 가장 최근엔 Praet과 Louwerens¹⁴⁾가 신경병증 발을 가진 환자의 앞쪽 발바닥 압력 감소의 가장 효과적인 방법이 흔들걸창이었다는 결과를 발표하였다. 이처럼 발바닥 압력 감소를 위한 발 보조기에 대한 관심이 고조되고 있고, 족부변형과 족통을 유발할 수 있는 당뇨, 류마티스 질환을 포함한 근골격계 질환별 연구도 활발히 진행 중에 있다.

1997년 Burgess 등⁶⁾은 두 번째와 세 번째 중족골두 사이에서, 중족골두 5 mm 근위부에 삽입물을 위치시킴으로써 최고점 압력을 유의하게 감소시키면서, 내측에서 외측으로 압력의 분산 효과가 있음을 관찰한 바 있고, Xu 등¹⁷⁾은 중족골 바의 위치를 변경하여 발바닥 압력의 분산과 작용시간 감소를 증명하였다.

최근 가장 주목받고 있는 발 보조기 중 하나인 흔들걸창은 중족골두 부근에 지렛점이 위치하여 체중의 전방이동을 용이하게 하고, 발뒤축 접지기와 발가락 들림시기에 발의 압력을 줄임으로써, 자연스럽게 입각기를 지날 수 있도록 한다.

본 연구에서는 족부 질환이 없는 건강한 성인 남자 10명을 대상으로 12×1×0.5 cm의 고무막대를 위치를 바꿔가며 걸창 바닥에 부착시켜 발바닥 압력을 측정하는 후, 막대를 부착하지 않은 구두를 대조군으로 설정하여 비교함으로써, 지렛점의 효과적인 위치에 대한 고찰을 시도하였다. 중족골두 중심에 중족골 바의 중심을 맞출 경우, 발바닥 전체의 총압력은 유의하게 증가시키지 않으면서, 신발 내 발바닥 압력이 일반적으로 가장 많이 쏠리고 궤양 위험이 가장 높은 첫 번째/두 번째 중족골두 부위의 최고압력을 유의하게 감소시킬 수 있었다. 그러므로 첫 번째/두 번째 중족골두 부위에 발바닥 압력이 일반적으로 가장 많이 쏠리고, 또 궤양 위험이 가장 크므로, 흔들 걸창의 지렛점 위치는 중족골두의 중심이 되어야 함을 알 수 있다. 중족골 바의 중심이 중족골두 중심보다 뒤에 위치할 경우 발바닥 총 압력이 도리어 증가하는 양상을 관찰할 수 있었는데, 중족골 바의 위치가 입각기 중심 이동을 도리어 방해하기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 따라서 개인별로 중족골두의 중심을 정확히 측정하여 그 부분에 바의 중심과 흔들 걸창의 중심점이 위치하도록 제작하는 것이 중요함을 알 수 있다.

현재 나와 있는 여러 흔들 걸창 중에 중족골두 락커의 지렛점이 본 연구에서의 고무막대의 원위부 끝을 중족골 원위부 끝에 맞춘 지렛점과 거의 일치한다. 따라서 중족골 병변이 있을 경우, 중족골 압력을 유의하게 감소시킬 수 있는 중족골두 락커를 처방하는 것이 합당하리라 생각된다.

Weijers 등¹⁶⁾은 CT 스캔을 이용하여 발바닥 최대압력과 중족골두 위치와의 상관관계에 대한 연구를 통해, 발의 내측부는 압력 최고점이 중족골두의 근위부에 있고, 외측부 압력 최고점은 중족골두보다 원위부에 있다는 연구결과를 얻었다. 이런 부분을 고려할 때, 본 연구에서처럼 일정한 높이와 폭을 가진 고무막대를 중족골두를 중심으로 막대의 부착위치를 원위부에서 근위부로 평행하게만 이동시켰던 본 실험에서 더 나아가, 막대의 각도를 다양하게 변화시키고 막대의 위치에 따른 내/외측의 높이를 다르게 함으로써 보다 효과적인 발 보조기에 대한 연구가 가능하리라 생각된다.

이번 실험의 제한점은 실험 대상자가 10명으로 적다는 점, 실험장비로 쓰이는 신발 깔창의 크기가 한 치수로 고정되어 있어 발치수가 상대적으로 작은 여자들은 실험 대상에 포함시킬 수 없었다는 점이다. 또한 실험 중 우측 발의 자료의 일부 값이 측정되지 않아 결과를 산출할 수 없었으며, 이로 인해 좌우비교와 구역별 좌우 합산이 이루어지지 않았다는 점도 제한점으로 작용했다. 향후 대상자의 수를

충분히 늘리고, 대상자에 여자를 포함하는 등의 추가실험이 필요하리라 생각된다.

결 론

발바닥 압력을 효과적으로 감소시키기 위해 중족골 바를 사용할 때, 중족골두 중심에 바의 중심을 맞출 경우, 첫 번째/두 번째 중족골두 부위의 최고압력을 유의하게 감소시킴을 확인할 수 있었다. 따라서 첫 번째/두 번째 중족골두 부위에 발바닥 압력이 일반적으로 가장 많이 쏠리고 궤양 위험이 가장 크다는 점을 감안할 때, 흔들걸창의 지렛점 위치는 중족골두 중심이 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 이규훈, 한승진, 이상건, 박시복: 정상 성인에서 중족골 패드가 발바닥 압력에 미치는 영향. 대한재활의학회지 2004; 28: 94-97
- 2) 정승현, 황지혜, 김광원: 당뇨병 환자에서의 족저압 측정의 의미. 대한재활의학회지 2001; 25: 149-156
- 3) 한승진, 장성호, 이규훈, 정계순, 한기훈, 박시복: 당뇨병 신발 착용 후 정상인과 당뇨병인의 발바닥 압력 비교. 대한재활의학회지 2003; 27: 433-437
- 4) Abouaisha F, van Schie CH, Griffiths GD, Young RJ, Boulton AJ: Plantar tissue thickness is related to peak plantar pressure in the high-risk diabetic foot. Diabetes Care 2001; 24: 1270-1274
- 5) Bitzan P, Giurea A, Wanivenhaus A: Plantar pressure distribution after resection of the metatarsal heads in rheumatoid arthritis. Foot Ankle Int 1997; 18: 391-397
- 6) Burgess S, Jordan C, Bartlett R: The influence of a small insert, in the footbed of a shoe, upon plantar pressure distribution. Clin Biomech 1997; 12: S5-S6
- 7) Chang AH, Abu-Faraj ZU, Harris GF, Nery J, Shereff MJ: Multistep measurement of plantar pressure alterations using metatarsal pads. Foot Ankle Int 1994; 15: 654-660
- 8) Gefen A: Plantar soft tissue loading under the medial metatarsals in the standing diabetic foot. Med Eng Phys 2003; 25: 491-499
- 9) Hayda R, Tremaine MD, Tremaine K, Banco S, Teed K: Effect of metatarsal pads and their positioning. Foot Ankle Int 1994; 15: 561-566
- 10) Hodge MC, Bach TM, Carter GM: Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis. Clin Biomech 1999; 14: 567-575
- 11) Lawless MW, Reveal GT, Laughlin RT: Foot pressures during gait: a comparison of techniques for reducing pressure points. Foot Ankle Int 2001; 22: 594-597
- 12) Mandato MG, Nester E: The effects of increasing heel height on forefoot peak pressure. J Am Podiatr Med Assoc 1999; 89: 75-80
- 13) Patel VG, Wieman TJ: Effect of metatarsal head resection for

- diabetic foot ulcers on the dynamic plantar pressure distribution. *Am J Surg* 1994; 167: 297-301
- 14) Praet SF, Louwerens JW: The influence of shoe design on plantar pressures in neuropathic feet. *Diabetes Care* 2003; 26: 441-445
- 15) Wanivenhaus A, Brettschneider W: Influence of metatarsal head displacement on meta-tarsal pressure distribution after hallux valgus surgery. *Foot Ankle* 1993; 14: 85-89
- 16) Weijers RE, Walenkamp GH, van Mameren H, Kessels AG: The relationship of the position of the metatarsal heads and peak plantar pressure. *Foot Ankle Int* 2003; 24: 349-353
- 17) Xu H, Akai M, Kakurai S, Yokota K, Kaneko H: Effect of shoe modifications on center of pressure and in-shoe plantar pressures. *Am J Phys Med Rehabil* 1999; 78: 516-524
-