



한국운동역학회지, 2004, 제14권 2호, pp. 105-119  
Korean Journal of Sport Biomechanics  
2004, Vol. 14, No. 2, pp. 105-119

## 트레드밀 달리기시 신발 내부의 부하에 관한 연구

이기광\*(인제대학교)

### ABSTRACT

#### In-shoe Loads during Treadmill Running

Lee, Ki-Kwang\*(Inje University)

K. K. LEE. In-shoe Loads during Treadmill Running. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 2, pp. 105-119, 2004. To enhance our understanding of the loads on the foot during treadmill running, we have used a pressure-sensitive insole system to determine pressure, rate of loading and impulse distributions on the plantar surface during treadmill running, both in minimally cushioned footwear and in cushioned shoes. This report includes pressure, rate of loading, impulse and contact time data from a study of ten subjects running on a treadmill at 4.0 m/s. Among heel-toe runners, the highest peak pressures and highest rates of loading were observed under the centre of the heel and in the medial forefoot. The arch regions were only lightly loaded. Contact time was greater in the forefoot than in the heel. Two-thirds of the impulse recorded during the step was the result of forces applied through the forefoot, mostly in the region of the metatarsal heads. The distribution of loads in the shoe suggests that the load distributing properties of the cushioning system are most important in the centre of the heel, under the metatarsal heads and

---

이 연구는 2003학년도 산업자원부 지역특화 기술사업과 (주)보스산업의 지원으로 연구되었음

투 고 일 : 2004년 6월 25일 접수

심 사 일 : 2004년 7월 6일

심사완료일 : 2004년 8월 13일

\* Corresponding Author, 교수, 621-749, 경상남도 김해시 어방동 607 인제대학교

연락처 : kkleee@inje.ac.kr, Tel : 055-320-3790

great toe. Shock attenuation is primarily required under the centre of the heel and to lesser extent under the metatarsal heads. Some energy dissipation may be desirable in the heel region because it causes shock to be absorbed with less force. All the 'propulsive' effort is applied through the forefoot. Therefore, this region should as resilient as possible.

KEY WORDS : SHOE, PRESSURE, RATE OF LOADING, IMPULSE, TREADMILL, RUN

## I. 서 론

당뇨병, 고혈압, 비만 등 성인병의 증가와 건강에 대한 국민적 인식이 고조됨에 따라 운동에 참여하는 인구가 증가하고 특히 달리기를 정기적으로 하는 동호인은 기하급수적으로 증가하고 있다. 그러나 운동 환경적 측면에서 극심한 매연과 교통사고의 위험성 등으로 인해 안전하게 도로에서 달릴 수 있는 여건이 마련되어 있지 못한 실정이다. 따라서 많은 달리기 참여 인구가 가정이나 스포츠 센터 내의 트레드밀을 이용해 달리고 있으며, 그 비율이 점차 증가하고 있는 추세이다.

트레드밀은 본래 병원에서 환자의 재활을 돕기 위해 운동할 수 있는 장비로서 활용되었고, 운동 생리학 실험실에서 운동 부하를 컨트롤하기 위한 도구로 사용되었으며, 신발 개발을 위한 런닝 시뮬레이션 장비로서의 역할을 해왔다. 따라서 이러한 실제 지면 달리기에 대한 시뮬레이션 장비로서의 검증은 위해 지난 30여 년간 지상에서의 달리기와 트레드밀 달리기의 생리학적, 심리학적, 운동역학적 차이점에 대하여 많은 연구가 진행되어왔다(Puch, 1970; Nelson, Dillman, Lagasse와 Bickett, 1972; Dal Monte, Fucci와 Manoni, 1973; Elliot과 Blanksby, 1976; Sykes, 1975; Ingen Schenau, 1980; Winter, Arsenault와 Wooley, 1980; Schmidt, 1982; Frishberg, 1983; Williams, 1985; Nigg, Boer와 Fisher, 1995; Wank, Frick과 Schmidtbleicher, 1998).

그들은 주로 운동학적(kinematic) 차이점을 조사하여, 지면 달리기와 같은 속도로 트레드밀에서 달릴 때, 보폭이 짧아지며 발걸음 빈도가 많아진다고 보고하였다. 또한 신체질량 중심의 수직 운동 범위가 줄어들 뿐만 아니라 수평, 수직 운동의 변이 또한 감소한다고 하였다. 한편 하지의 운동과 관련하여 발이 지면에 닿는 순간 발의 각도가 더 편편해지며, 후족의 회외가 커지며, 발이 지면을 떠날 때 발목 관절의 내전은 느린 주행 속도에서는 커지는 반면에 빠른 속도에서는 오히려 작아진다고 하였다. 그리고 지면 접촉시 무릎 각도가 감소하고 종골(calcaneal)의 가속도가 증가한다고 보고하였다.

한편 런닝화와 같은 스포츠 신발 개발에 있어서 쿠셔닝(cushioning)은 매우 중요한 요소로서, 다양한 스포츠 활동에 따른 국부적인 족저압 분포에 따라 쿠션이 세부 조정되어 디자인 되어야한다. 즉, 발에

미치는 부하를 최소화하기 위해 쿠셔닝 인지에 영향을 미치는 압력과 부하율(rate of loading)을 최적화해야 한다. 이러한 최적의 쿠션을 만들기 위해서는 우선 특정 스포츠 상황에서 발생하는 외부적 힘에 의한 신발내의 압력과 부하율을 조사하고 이를 최소화할 수 있는 쿠션의 강도를 결정해야 한다.

신발에서 발의 해부학적 부위별로 서로 다른 특성을 갖도록 쿠션을 개발하기 위해서는 우선 발바닥에 부하가 어떻게 분포하고 있는가를 알아야 한다.

압력분포, 충격량, 부하율(rate of loading) 등의 측정은 신발 쿠셔닝 시스템의 부위별 부하를 결정하고 신발을 디자인하는데 있어서 가이드라인을 제공하는 데 이용될 수 있다. 그러나 이와 같은 데이터와 운동 수행능력 및 착화감과 연결 지으려는 연구는 그리 많지 않다. Jordan, Payton과 Bartlett(1996)은 착화감이 상대적으로 좋지 못한 캐주얼 신발에서 족저압이 크게 나타난다고 보고하였으며, Chen, Nigg와 de Koning (1994)는 런닝화의 다양한 인솔들을 비교한 결과, 가장 편안한 인솔이 전족부 내측의 낮은 압력과 관련이 있다고 보고하였다.

충격량 또한 중요한 생체역학적 변인으로써 운동 수행 능력을 평가하는 측정 자료로 사용된다. 수직점프나 빠른 커팅 동작뿐만 아니라 걷거나 달리기에서 중요한 역학적 요소이다. 부하율 또한 중요한 생체역학적 변인으로써, 높은 부하율은 근골격계에 부담을 유발해 스포츠 상해의 직접적 원인이 되기도 한다. 또한 여러 연구자들은 부하율이 쿠셔닝 인지의 결정 요소라고 제안하고 있다 (Hennig, Valiant와 Liu, 1996; Hennig와 Milani, 1995; Valiant, 1995)

한편, 전술하였듯이 트레드밀 위에서 달리는 동호인 인구가 급증함에도 불구하고, 트레드밀 전용 런닝화가 없기 때문에 이들 대부분은 딱딱한 지면 위를 달리기 위해 개발된 쿠셔닝 시스템을 갖고 있는 고가의 런닝화를 사용하거나, 런닝화가 아닌 다른 용도의 신발(트레이닝화, 실내화, 혹은 맨발)을 착용하여 트레드밀 위를 달리고 있으며, 또한 현재까지 트레드밀이라는 특수한 운동 상황에서 이러한 특성을 고려한 쿠션 시스템이 개발되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 이러한 쿠션 시스템을 개발하기 위한 기초 작업으로, 트레드밀 달리기시 신발 내측 부하의 시간적 공간적 분포를 조사하는 데 있다. 즉, 트레드밀 위를 달릴 때 압력분포, 부하율, 충격량, 접촉 시간 등을 측정, 분석하여 트레드밀 전용 런닝화의 쿠셔닝 시스템의 부위별 부하를 결정하여 이러한 신발을 디자인하는데 있어서 가이드라인을 제공하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구를 위해 15명의 대학생이 실험에 참여하였다. 이들은 모두 트레드밀 달리기에서 익숙한 자

들이며, 연령은  $21.8 \pm 1.7$ 세이고 체중은  $68.6 \pm 5.9$  kg 이었다. 이들 15명의 자료 중 실험과정에서 문제가 있었던 3명과 전족 착지 패턴을 갖고 있는 2명을 제외한 10명의 자료만을 사용하였다.

## 2. 실험장비

족저압을 측정하기 위해 독일 Novel사의 Pedar system을 사용하였다(그림 1). 256개의 압력센서가 장착된 인soles을 신발 내부에 장착하여 100 Hz의 샘플링 주파수로 자료를 수집하였다. 실험에 사용된 신발은 N사의 size #9(270mm) 런닝화를 사용하였으며, 트레드밀은 일반 가정에서 많이 사용되는 Keys사의 Alliance 815 모델을 사용하였다.

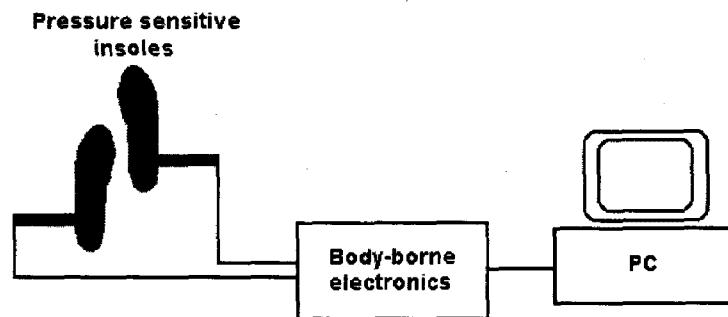


그림 1. 족저압 측정 장비

## 3. 실험절차

워밍업이 끝난 후, 트레드밀 달리기 적응하기 위하여 3~5 분간의 연습 달리를 실시하였다. 압력 측정용 인soles을 신발 내에 장착하고 이를 신은 후, 각 피험자가 트레드밀 위에서 4.0 m/s 의 속도로 1 분 이상 달리는 동안 Pedar system을 이용하여 5~10초간 즉 10~20 스텝 동안의 족저압을 측정하였다.

## 4. 자료 처리

트레드밀을 달리는 동안 0.01초의 간격으로 수집된 10~20 스텝의 족저압 데이터를 이용해 다음의 변인들을 산출하였다.

### 1) 피크 압력, 충격량, 부하율, 접촉 시간

인soles에 있는 각 센서는 일반적으로 그림 2와 같은 시간-압력 곡선을 나타낸다. 피크 압력은 스텝

중 각 센서에 나타난 최고치로 정의하여 사용하였다. 충격량은 시간에 대한 힘의 적분값으로 시간-압력 곡선 아래의 면적으로 계산하였다(그림 2). 충격량의 단위는 뉴턴-초(Ns)이며, 힘에 의해 발생하는 운동량의 변화와 같기 때문에 운동역학적으로 중요한 개념이다. 피크 부하율은 개별 센서의 압력-시간 곡선의 1차 미분 값의 최대치로 정의되며, 단위는 MPa/s이다.

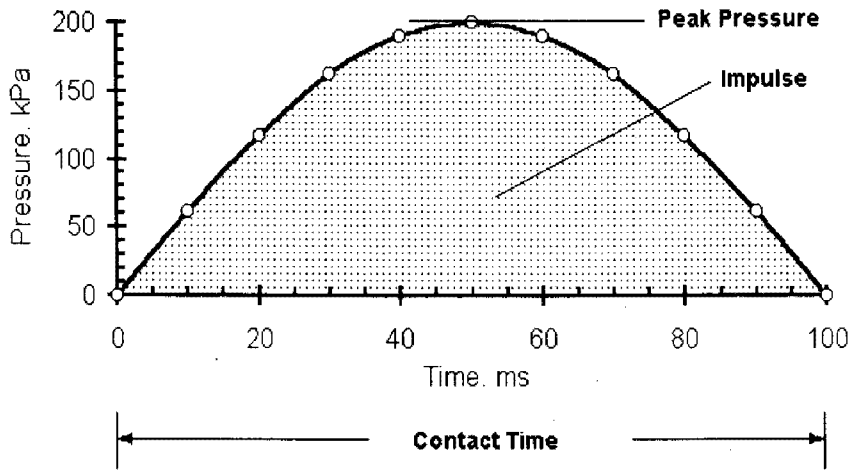


그림 2. 피크 압력과 충격량

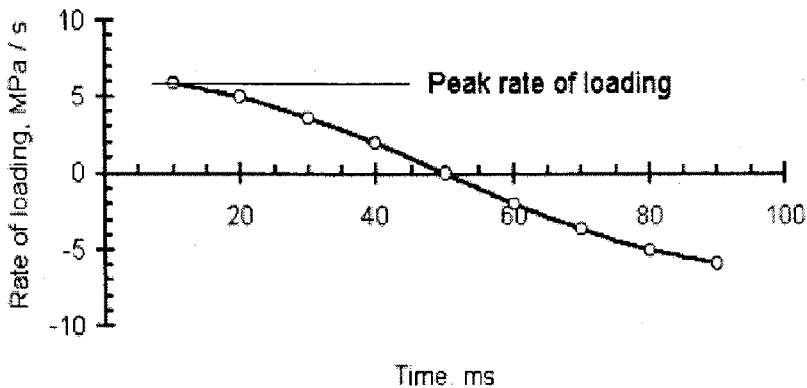


그림 3. 피크 부하율

## 2) 부위별 피크(Regional Peaks)

발의 특정 해부학적 부위의 최대 압력값을 정의하기 위하여, 각 피크 압력 분포에 마스크(mask)를 적용하였다. 그림 4와 같이 발전체의 압력분포를 마스크를 이용해 우선 뒤꿈치, 족궁, 전족 등 3개의 주요 부위로 나눈 후, 다시 12개의 하위부위로 나누어 정의하였다.

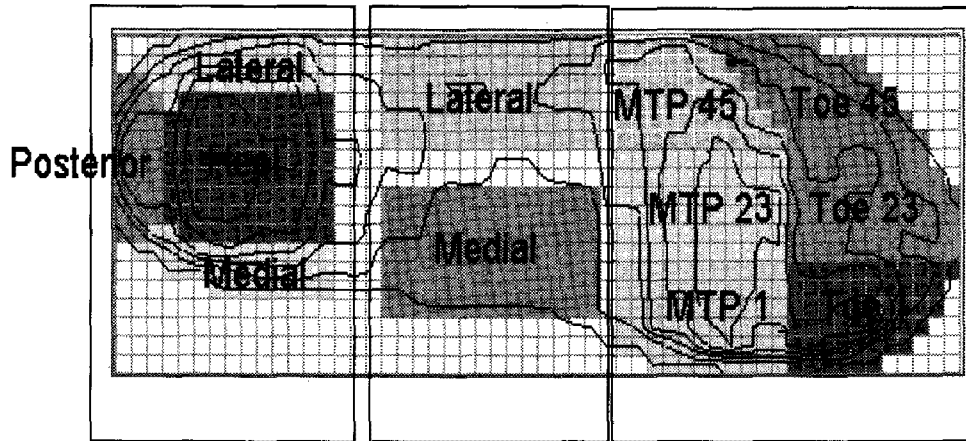


그림 4. 부위별 압력 값을 결정하기 위한 마스크

### Ⅲ. 연구 결과

그림 5는 한 스텝 동안 시간에 따른 족저압의 변화를 나타내고 있는 한 예이다. 3차원으로 압력 분포를 나타내었으며, 수평면은 압력 센서의 배열을 의미하고 수직 높이는 압력의 크기를 나타내고 있다. 전형적인 힐-토우 런닝 패턴을 보이는 아래의 그림에서 뒤꿈치의 가장 높은 압력은 초기 접촉 후 약 20 ms 후에 나타난다. 이 압력은 지면반력기에서 기록되는 피크 임팩트 힘과 거의 일치해서 나타난다. 임팩트 후, 체중은 전족 부위로 옮겨간다. 전족 부위에서 피크 압력의 크기는 뒤꿈치와 비슷하지만, 증가와 감소가 오랜 시간에 걸쳐 안정되고 느리게 진행된다.

#### 1. 피크 압력

10명의 피험자에 대한 부위별 평균 피크 압력 분포는 표 1과 같다. 대체적으로 발뒤꿈치와 척골 두, 엄지발가락 부위의 압력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 뒤꿈치 부위의 피크 압력은 평균  $314 \pm 56$  kPa로서, 모든 피험자들에게서 뒤꿈치 중앙부분에서 피크 압력이 가장 높게 나타났다.

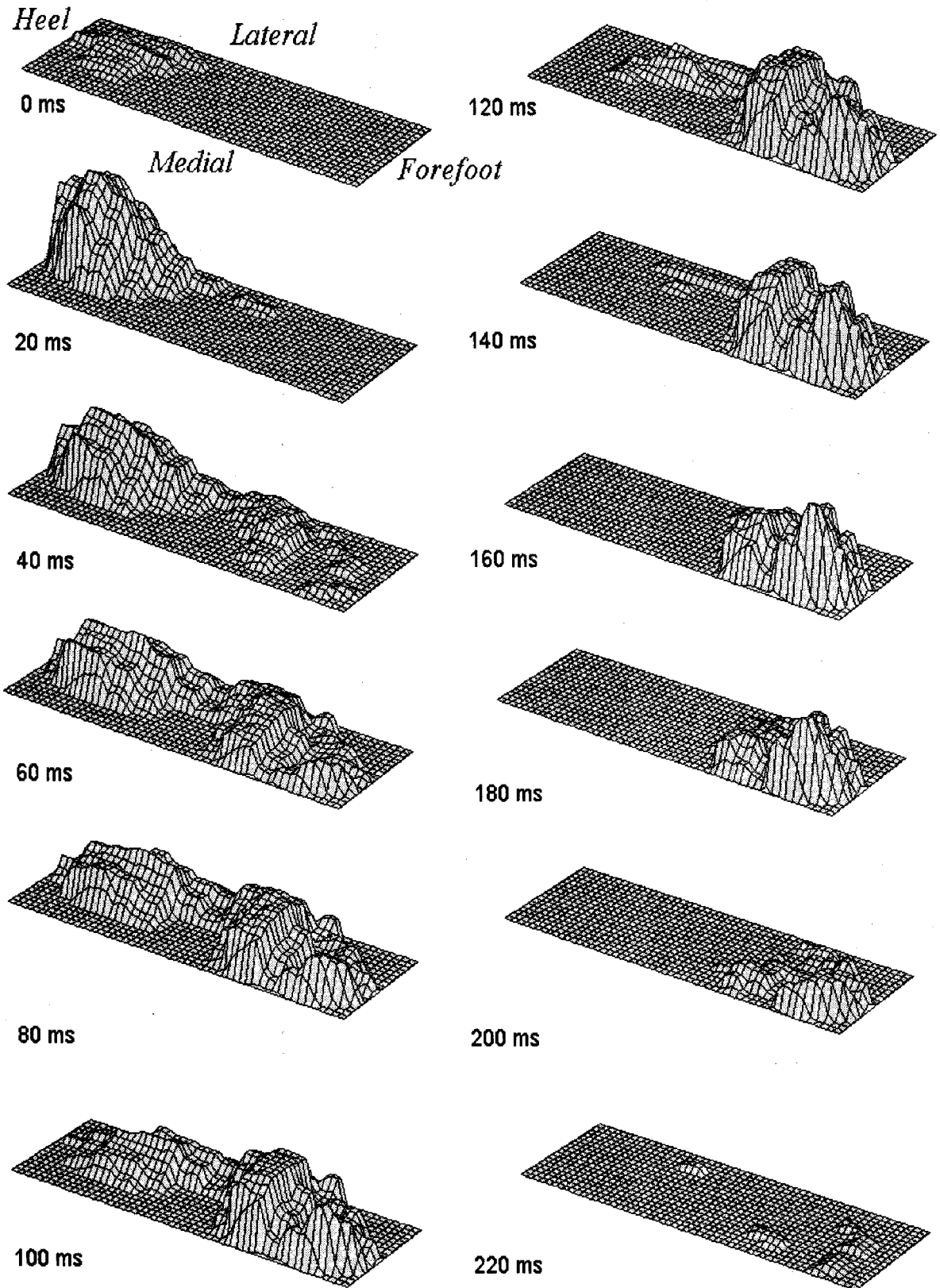


그림 5. 시간에 따른 압력 분포의 예

척골두 부위의 피크 압력은 뒤꿈치 부위보다 약간 높게 나타났다. 제2와 3척골두 부위 압력(MTP 23:  $332 \pm 57$  kPa)은 제 1 척골두(MTP 1:  $334 \pm 83$  kPa)와 비슷하게 나타났으나 제 4와 5 척골두(MTP 45:  $280 \pm 45$  kPa)는 다소 낮게 나타났다. 피험자별로 전족부 압력을 살펴보면 10명 중 5명은 MTP 23 부위에서, 나머지 5명은 MTP 1 부위에서 가장 높은 압력이 나타났으며, 어느 누구에서도 외측 척골두(MTP 45)에서의 가장 높은 압력이 나타나지 않았다. 엄지발가락 부위의 피크 압력 평균은  $330 \pm 156$  kPa으로 나타났다. 족궁부위의 압력은 다른 부위보다 상대적으로 낮게 나타났으며, 10명 중 8명이 외측 족궁 부위에서, 나머지 2명은 족궁의 중앙부위에서 가장 높은 족궁 압력이 나타났다.

피크 압력의 분산은 그리 크게 나타나지 않아 12개 전체 부위의 분산 계수(coefficients of variation)가 26%로 나타났다. 부위별로는 외측 족궁 부위에서 가장 낮았으며, 발전체의 내측 가장자리에서 높게 나타났는데 이는 피험자별로 센서의 크기가 정확하게 발에 맞지 않았기 때문이라고 사료된다. 한편 MTP 1과 MTP 23 부위에서 높은 분산이 나타났는데, 이는 피험자의 절반은 내측 전족부, 나머지 절반은 중앙 전족부에서 피크 부하가 나타났듯이 피험자들간 서로 다른 운동학적 패턴에 기인하는 듯하다.

표 1. 해부학적 부위에 따른 평균 피크 압력 (kPa)

Anatomical Region		Mean	sd
Heel	Central	314	56
	Lateral	243	44
	Medial	256	84
	Posterior	224	76
Arch	Medial	84	33
	Lateral	124	16
Metatarsal Heads	1	334	82
	23	332	57
	45	280	45
Toes	1	330	165
	23	183	62
	45	158	36

## 2. 피크 부하율

10명의 피험자에 대한 부위별 평균 피크 부하율은 표 2와 같다. 뒤꿈치 중앙에서 부하율이  $17.6 \pm 4.1$  MPa/s로 가장 높게 나타났으며 뒤꿈치 다른 부위의 평균 피크 부하율은 약간 낮았지만 그 차이는 크지 않았다( $13.5 \sim 16.0$  MPa/s). 10명의 피험자중 7명은 뒤꿈치 중앙부분에서, 2명은 외측,



나머지 1명은 내측에서 가장 높은 부하율이 나타났다.

전족부에서의 평균 피크 부하율은 대체적으로 낮게 나타났다(4.8 ~ 13.7 MPa/s). 내측 척골과 엄지발가락 부위의 피크 부하율은 뒤꿈치 부위와 유사한 크기였으나, 다른 부분들의 피크 부하율은 다양하게 나타났다. 뒤꿈치와는 달리 피험자별 피크 값들은 특정한 부위에서 공통적인 경향을 나타내지 않고 넓게 분포되어 나타났다. 5명의 피험자가 MTP 1과 3의 부위에서 가장 높은 전족 피크 부하율이 나타난 반면에 3명은 MTP 23, 2명은 MTP 45 부위에서 가장 높게 나타났다. 엄지발가락 부위의 평균 피크 부하율( $10.6 \pm 10.3$  MPa/s)은 대략적으로 발끝 다른 부위의 2배 정도의 크기였다. 족궁 부위의 부하율은 상대적으로 낮게 나타나, 내측 족궁은  $4.6 \pm 3.0$  MPa/s, 외측 족궁은  $6.5 \pm 2.6$  MPa/s로 나타났다.

12개 부위의 분산 계수는 46%로 나타났으며, 내측 척골과 엄지발가락에서 가장 높은 분산이 모든 피험자에게서 일관되게 나타났다.

표 2. 해부학적 부위에 따른 평균 피크 부하율 (MPa/s)

Anatomical Region		Mean	sd
Heel	Central	17.6	4.1
	Lateral	14.3	3.1
	Medial	16.0	4.1
	Posterior	13.6	4.6
Arch	Medial	4.6	3.0
	Lateral	6.5	3.6
Metatarsal Heads	1	13.7	7.4
	23	10.5	5.1
	45	9.5	6.2
Toes	1	10.6	10.3
	23	4.8	2.1
	45	4.9	1.8

### 3. 충격량과 접촉시간

10명의 피험자에 대한 평균 충격량과 접촉시간은 표 3과 4에 나타났다. 일반적으로 달리기 중에는 뒤꿈치보다 전족부위가 지면에 더 오래 접촉시간을 갖게 된다. 본 연구에서도 역시 MPT 부위의 평균 접촉시간은 176 ms, 토우 부위는 160 ms로 나타난 반면에, 뒤꿈치 부위의 평균 접촉시간은 102 ms로 짧게 나타났다.

충격량은 시간에 대한 힘의 적분으로서, 힘과 접촉시간이 증가함에 따라 함께 증가한다. 힐-토우

런닝에서 뒤꿈치와 전족부의 힘 값은 유사하게 나타나기 때문에 상대적으로 접촉시간이 긴 전족부의 충격량이 크게 나타난다. 본 연구에서도 뒤꿈치 부위의 충격량이 49 Ns, 족궁이 13 Ns 으로 나타난 반면에, 전족부의 충격량은 121 Ns 으로 나타났다. 따라서 이를 통해 신체 수직 운동량의 변화를 가져오기 위한 노력의 66%는 전족 부위에서 발생한다고 해석할 수 있다.

표 3. 해부학적 부위에 따른 평균 충격량 (Ns)

Region	Heel	Arch	MTP	Toe	TOTAL
Impulse (Ns)	49.0	12.6	86.6	34.5	182.7
% Total	26.8%	6.9%	47.4%	18.9%	100.0%

표 4. 해부학적 하위 부위에 따른 평균 충격량 (Ns)

Anatomical Region		Mean	sd
Heel	Central	35.2	11.9
	Lateral	6.7	2.7
	Medial	3.9	2.5
	Posterior	3.2	1.6
Arch	Medial	2.2	1.2
	Lateral	10.4	3.0
Metatarsal Heads	1	25.0	9.2
	23	37.7	8.4
	45	23.9	7.8
Toes	1	15.1	8.2
	23	12.4	4.8
	45	7.0	2.0

## IV. 논 의

### 1. 힐-토우 런닝시 족저 부하

부하 패턴을 나타내는 그림 5를 보면 지면에 접촉한 후 처음 20 ms 동안 뒤꿈치 부위의 압력이 18 MPa/s의 증가율로 300 kPa 이상으로 급격히 증가한다. 뒤꿈치 피크 압력은 신발 뒤꿈치의 중앙, 즉 종골 바로 위에서 나타난다.

뒤꿈치 압력은 피크에 이른 후 곧바로 감소하기 시작하여 60-80 ms 후에는 체중이 전족부로 전이 될 준비가 되어 피크 값의 50% 수준의 압력이 나타난다. 뒤꿈치가 접촉하는 시간은 상대적으로 길지는 않지만, 충격량은 49 Ns에 이르며 이는 초기 접촉시 신체의 질량 중심을 감속시키는데 기여할 만한 크기라고 볼 수 있다.

뒤꿈치에서 전족으로 부하를 전이 시키는 동안 족궁부위에는 부하가 가볍게 걸린다. 족궁 부위의 피크 압력은 124 kPa 정도이며 부하율은 뒤꿈치나 전족부위의 절반 정도의 수준이다. 신발과 족궁 사이의 힘에 의해 발생한 충격량은 발 전체에서 발생한 충격량의 7% 정도에 불과하다.

체중이 전족 부위로 전이됨에 따라 척골두 부위의 압력은 피크 값에 이르러 뒤꿈치 피크 값보다 약간 크게 나타난다. 높은 압력들이 제 1, 2, 3 척골두 부위 걸쳐 뒤꿈치에 비해 골고루 넓게 분포하며 특정 부분에 집중된 압력은 나타나지 않았다. 단지 2명의 피험자가 외측 척골두 부위에서 높은 부하율을 나타낸 반면에 다른 모든 피험자는 내측 척골두에서 높게 나타났다. 뒤꿈치에 비해 척골두 부위 압력은 더욱 지속적으로 서서히 증가하고 감소한다. 그 결과 척골두에서 발생하는 힘은 스텝 중 발생하는 전체 충격량의 절반 정도에 이른다.

지면을 밀어내는 마지막 국면에서는 엄지발가락 부위에서 가장 높은 압력이 발생한다. 압력의 크기는 뒤꿈치와 척골두에서 나타난 압력과 유사하지만, 피크 부하율은 다소 낮게 나타난다. 두 번째와 세 번째 발가락 부위의 압력은 거의 비슷하지만, 외측 발가락들 부위의 압력이 내측에 비해 거의 두 배 가까이 크게 나타난다. 또한 발가락에서 발생한 힘은 달리기에 의미 있는 공헌을 해, 전체 충격량의 20% 정도에 이른다.

## 2. 부위별 분산

발의 해부학적 부위별로 부하는 균등하게 분포되어 발생하지 않는다. 즉, 피크 압력, 부하율, 접촉 시간, 충격량 등은 부위별로 다양하게 나타난다.

상대적인 압력 크기, 부하율, 충격량에 대한 부위별 비교가 그림 6에 나타나 있다. 뒤꿈치에 나타난 부하 양상은 높은 피크 압력, 매우 높은 부하율, 높은 충격량으로 특징지어질 수 있다. 족궁 부위에서는 이 3가지 부하 변수들이 모두 상대적으로 낮다. 척골 부위에서는 높은 피크 압력과 부하율이 나타났으며, 특이할만한 점은 뒤꿈치 부위에 비해 상대적으로 매우 높은 충격량이 나타났다는 것이다. 발가락 부위에서는 높은 피크 압력이 나타났지만 부하율과 충격량은 보통 수준이다.

더 정밀한 수준에서 본다면 수준에서 뒤꿈치 부하는 종골 아래, 전족 부하는 발 내측 조직아래에 집중되어 있다. 뒤꿈치 주변, 내측 족궁, 외측 발가락 부위에 상대적으로 가벼운 부하가 발생한다.

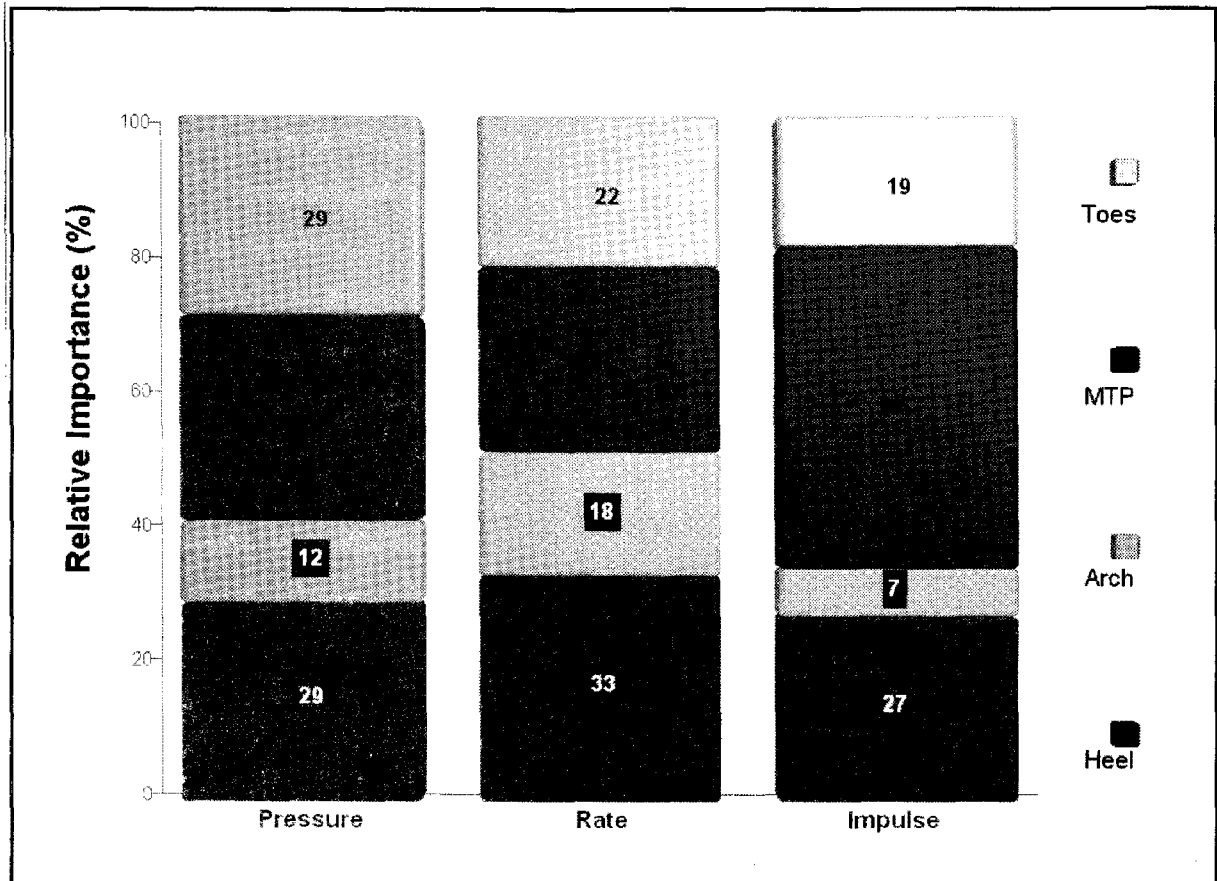


그림 6. 각 해부학적 부위별 상대적 부하의 크기

### 3. 런닝화 쿠션 디자인에 적용

쿠셔닝 시스템은 기본적으로 압력을 재분포시키고, 충격을 흡수하고 운동수행 능력을 향상 시킬 수 있는 플랫폼을 제공해야 한다. 압력의 재분포는 발 표면이 접촉하는 압력이 높은 부분에 부드럽고 유연한 층이 형성을 형성하고 발의 형상에 맞도록 쿠션 표면의 윤곽을 만들어줌으로 해결할 수 있다. 또한 충격 흡수는 순간적으로 힘과 그 증가율을 최소화하여 임팩트 에너지를 흡수할 수 있는 유연한 스프링 구조물을 제작하여 발과 표면 사이에 장착하여 해결해야 한다. 추진력을 얻기 위한 플랫폼은 탄력있고 충분히 딱딱해야 하지만, 충격을 완화 시킬 수 있도록 충분히 물렁해야 한다.

런닝화의 뒤꿈치에 나타나는 높은 피크 압력과 부하율은 압력의 재분포와 충격 흡수의 필요성을 의미한다. 비록 뒤꿈치에 매우 큰 충격량이 발생하지만 이는 추진을 위한 것이라기보다는 신체를 감속하기 위한 것으로 볼 수 있다. 뒤꿈치의 압력은 종골에 집중되어 나타나기 때문에 압력을 재분포시키기 위해서는 뒤꿈치 주변보다는 그 중앙에 패드와 같은 덜 딱딱한 구조물을 삽입해야한다. 한편 압력을 줄이기 위한 최적의 쿠션을 개발하기 위해서는 유한 요소 모델의 최적화 연구가 필요하다.

전족 부위에서의 힘은 전진을 위한 것이기 때문에 가능하면 탄력 있는 쿠션 시스템을 만드는 것이 적절하다. 이 부분 역시 압력의 재분포가 중요하지만 힘이 전이될 수 있도록 다른 부하를 견디는 구조물을 배제 시켜야 하기 때문에 간단하지 않다. 유연하고 탄력 있고 발의 굴곡에 맞는 척골두 아래의 쿠션은 압력을 골고루 분산시키는데 필요하지만, 발 내측에 부하가 생기는 현상이 자연스럽게 때문에 지나치게 외측에 무게가 쏠리는 것을 피해야 한다.

엄지발가락 아래의 부위는 신발 디자인에서 매우 중요한 부분이다. 피크 부하율이 크지 않기 때문에 충격 흡수 기능은 필요하지 않지만, 피크 압력은 크고 추진을 위한 충격량이 상당히 작용하는 부위이다. 비록 압력을 줄이기 위해 부드러운 쿠션이 필요하지만, 이는 외측 발가락으로의 힘의 전이를 방해하는 요인이 되기도 한다. 따라서 이 부분에는 다소 탄력있는 소재의 쿠션이 더 좋을 수 있다.

족궁과 작은 발가락 부위와 같은 부하가 적게 걸리는 부위의 기능적 목적은 우선은 편안한 착용감을 추구하는 것이고 간헐적이고 급작스런 부하에 대한 보호에 있다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해서는 발 표면이 잘 적응할 수 있도록 유연한 층으로 쿠션을 만들어야 한다. 내측 족궁과 외측 발가락 부위는 달리기시 체중이 쏠리지 않기 때문에 이 부분을 두껍고 잘 휘지 않는 재질로 밀착을 디자인하는 것은 좋지 않다.

## V. 결론 및 제언

트레드밀 전용 런닝화의 쿠션 개발을 위한 기초 자료를 얻기 위해 10명의 주자가 트레드밀 위에서 4.0 m/s의 속도로 달리는 동안 신발 내부의 압력과 충격량, 접촉 시간 등을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가장 높은 피크 압력과 피크 부하율은 뒤꿈치의 중앙과 내측 전족부에서 발생했으며, 족궁 부위의 부하는 작은 것으로 나타났다. 접촉 시간은 뒤꿈치 보다는 전족부에서 더 긴 것으로 나타났다. 또한 스텝 전체에서 발생한 충격량의 2/3 정도가 전족(대부분은 척골두 부위)에서 생성된 힘에 의한 결과인 것으로 나타났다.

따라서 부하를 분산시킬 수 있는 런닝화를 개발하기 위해서는 뒤꿈치 중앙, 척골두, 엄지발가락 부위에 압력 분산 특성을 갖고 있는 쿠셔닝 시스템을 적용해야 한다. 또한 충격 완화 기능은 뒤꿈치 중앙과 외측 척골두에 적용되어야 한다. 뒤꿈치 부위에는 충격을 흡수하도록 에너지 분산 기능이 요구된다. 거의 모든 추진력은 전복부로부터 발생되기 때문에 이 부위에는 가능한 탄력 있도록 디자인해야 한다.

한편 트레드밀 전용 런닝화의 최적 쿠션을 개발하기 위해서는 다음과 같은 후속 연구가 필요할

것이다. 즉, 쿠션과 주행 속도, 주행 경사 등의 효과를 규명하는 연구가 필요하며, 더 많은 그리고 다양한 인구를 대상으로 연구하여 노인, 여성, 어린이 등에 관한 부하 특성을 규명하려는 시도가 필요하다. 그리고 발의 해부학적 부위별로 쿠션의 차별성을 조사한 본 연구 결과와 결합하여 인지적 연구와 재료 공학적 연구가 요구된다.

## 참고문헌

- Chen, H., Nigg, B.M. and de Koning, J. (1994). Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. *Clinical Biomechanics*, 9, 335-341.
- Dal Monte, A., Fucci, S. & Manoni, A. (1973). The treadmill used as a training and simulator instrument in middle- and long-distance running. pp. 359-363 In: *Medicine and Sport*, 8, Biomechanics III, Basel: Karger.
- Elliot, B.C. & Blanksby, B.A. (1976). An cinematographical analysis of overground and treadmill running by males and females. *Med. Sci. Sports Exerc.* 8, 84-87.
- Frishberg, B.A. (1983). An analysis of overground and treadmill sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15, 478-485.
- Hennig, E.M and Milani, T. L. (1995). In-shoe pressure distribution for running in various types of footwear. *J Appl. Biomech*, 11, 299-310.
- Hennig, E.N and Milani, T.L (1995). The perception of cushioning during impact loads of the human body. pp 30-31 in *Proc. 2nd Symposium on Footwear Biomechanics*, Dept. Leichtathletik und Tuernern, Deutsche Sporthochschule, Cologne.
- Hennig, E.M., Valiant, G.A. and Liu, Q. (1996). Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. *J. Applied Biomechanics*, 12, 143-150.
- Ingen Schenau, G.J. VAN. (1980). Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12, 257-261.
- Jordan, C., Payton, C.J. and Bartlett, R.M. (1996). Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. *Proceedings Vth Emed User Meeting*, Penn State University, August 1996.
- Nelson, R.C., Dillman, C.J., Lagasse, P., & Bickett, P. (1972). Biomechanics of overground versus

- treadmill running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 4, 233-240.
- Nigg, B.M., De Boer, R.W., & Fisher, V. (1995). a kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 98-105.
- Puch, L.G.C.E. (1970). Oxygen intake and track and treadmill running with observations on the air resistance. *J. Physiol.* 207, 823-835.
- Schmidt, R.A. (1982). *Motor control and learning*. Champaign, IL; Human Kinetics Publishers.
- Sykes, K. (1975). Technique and observation of angular gait patterns in running. *Br. J. Sports Med.*, 9, 181-186.
- Wank, V., Frick, U., & Schmidtbleicher, D. (1998). Kinematics and electromyography of lower limb muscles in overground and treadmill running. *Int. J. Sports. Med.*, 19, 455-461.
- Williams, K.R. (1985). Biomechanics of running. *Exerc. Sport. Sci. Rev*, 13, 389-441.
- Winter, D.A., Arsenault, B. & Wooley, S. (1980). Step-to-step fluctuations in treadmill gait. *Human Locomotion I. Proceedings of the Biannual Meeting of the Canadian Society for Biomechanics*. Ontario: Can. Soc. Biomech. 28-29.
- Valiant, G.A. (1995). Perception of Running Shoe Cushioning pp 32-33 in *Proc. 2nd Symposium on Footwear Biomechanics*, Dept. Leichtathletik und Turnen, Deutsche Sporthochschule, Cologne.