



## 달리기시 쿠션형과 모션컨트롤형 런닝화 착용에 따른 생체역학적 비교

### A Biomechanical Comparison of Cushioning and Motion Control Shoes During Running

이기광\*(인제대학교)

Lee, Ki-Kwang\*(Inje University)

---

#### ABSTRACT

K. K. LEE, A Biomechanical Comparison of Cushioning and Motion Control Shoes During Running, Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 15, No. 3, pp.1-7, 2005. Excessive pronation and impact force during running are related to various running injuries. To prevent these injuries, three type of running shoes are used, such as cushioning, stability, and motion control. Although there were many studies about the effect of midsole hardness on impact force, no study to investigate biomechanical effect of motion control running shoes. The purpose of this study was to determine biomechanical difference between cushioning and motion control shoes during treadmill running. Specifically, plantar and rearfoot motion, impact force and loading rate, and insole pressure distribution were quantified and compared.

Twenty male healthy runners experienced at treadmill running participated in this study. When they ran on treadmill at 3.83 m/s. Kinematic data were collected using a Motion Analysis eight video camera system at 240 Hz. Impact force and pressure distribution data under the heel of right foot were collected with a Pedar pressure insole system with 26 sensors at 360 Hz. Mean value of ten consecutive steps was calculated for kinematics and kinetics. A dependent paired t-test was used to compare the running shoes effect ( $p=0.05$ ).

For most kinematics, motion control running shoes reduced the range of rearfoot motion compared to cushioning shoes. Runners wearing motion control shoe showed less eversion angle during standing, less inversion angle at heel strike, and slower eversion velocity. For kinetics, cushioning shoes has the effect to reduce impact on foot obviously. Runners wearing cushioning shoes showed less impact force and loading rate, and less peak insole pressure. For both shoes, there was greater load on the medial part of heel compared to lateral part. For pressure distribution, runners with cushioning shoes showed lower, especially on the medial heel.

**KEYWORDS:** RUNNING, CUSHIONING, MOTION CONTROL, SHOE, FOOTWEAR

---

## I. 서론

최근 건강에 관한 관심이 급증하면서 달리기 인구 또한 폭발적으로 증가하여 우리나라의 달리기 참여 인구는 약 4백만 명을 넘은 것으로 추정하고 있다. 이에 따라 전국적으로 크고 작은 마라톤 대회가 거의 매주 개최되고 있으며, 지방 자치단체에서는 지역 주민들을 위한 달리기 코스를 만들고 있으며, 산업적으로는 달리기 관련 의류나 신발뿐만 아니라 트레드밀 판매 또한 급증하고 있다.

한편 달리기 인구 증가와 함께 이에 관한 운동상해 역시 문제가 되고 있다. 달리기 인구의 연간 부상율은 약 50% 정도에 해당되며, 부상 부위로는 무릎이 전체 달리기 부상의 25%를 차지할 정도로 가장 많으며, 그 다음이 하퇴 부위로 전체의 약 20%, 그 다음이 발 부분으로 약 15%, 그 다음이 발목으로 약 15% 정도를 차지한다. 즉 전체 부상의 약 70~80%가 무릎 이하 부위에서 오는 것이다 (Johnston, Taunton, Lloyd-Smith와 McKenzie, 2003).

일반적으로 주행시 지면을 접촉하는 발에 작용하는 수직방향의 최대 수직 충격력은 체중의 2~3배에 달하며 70kg의 사람이 1km를 달릴 경우 한쪽발이 받는 충격량은 약 110톤에 달한다(Mann과 Hagy, 1980). 이러한 힘은 곧바로 발을 통하여 우리 몸에 전달되어 관절, 건, 인대에 부하로 작용하게 되고, 발과 지면 사이의 반복된 충격에 의해 발생된 충격파는 피로골절과 연골파괴, 요추 통증 등 부상의 원인이 된다(Radin, Paul과 Rose, 1972). 따라서 달리기에서 발에 전달되어지는 충격은 발과 하지의 불안정한 자세를 초래하며 상해의 주요원인이 된다. 한편 달리기시 지지하는 발의 과도한 회내(pronation) 또한 다양한 달리기 부상의 원인으로 작용한다(Clement et al, 1984). 즉 이러한 동작은 힘이 전족내측으로 물리게 됨으로써 관절에 과도한 스트레스를 주게 되어 발목, 무릎, 엉덩이 등 하지 관절에 통증을 유발하게 된다.

이러한 달리기 부상을 예방하기 위해 다양한 형

태의 운동화가 개발되어 시판되고 있으며 이를 크게 3 가지로 분류할 수 있는데, 쿠션형(cushioning), 안정성형(stability), 모션컨트롤형(motion control)이 그것이다. 쿠션형으로 분류된 신발은 주로 충격 흡수에 목적을 두고 부드러운 중창(midsole) 재질을 사용해 안정형이나 모션컨트롤형 신발보다 부드럽고 신축성이 있다. 안정성 신발류는 약간의 과내전을 수정해주기 위한 장심보완재질을 갖추고 있으며 쿠션형신발보다 약간 더 딱딱한 재질을 사용한다. 마지막으로 모션 컨트롤화는 지나치게 내전되는 것을 방지하기 위해 딱딱한 중창을 사용하며 발 내측 부위를 보강해서 지지할 수 있도록 디자인된 신발 종류다.

그 동안 런닝화에 대한 선행연구들은 주로 중창의 경도와 밑창(outsole)에 따른 충격 흡수 양상 및 운동학적 변화에 관련되어 진행되어 왔다. Bates (1988)는 신발 중창의 재질이 비교적 밀도가 낮은 물질로 사용되면 발의 내외측에서 불안정한 자세가 발생되고 거골하관절(subtalar joint)에 회전이 생긴다고 보고 했으며, Mayfield(1978)는 딱딱한 재질의 밑창은 착지 시 충격을 신체부위로 전달하지만 쿠션 효과가 좋은 신발은 장경인대(illiotibial)에 충격을 완화시켜 준다고 했다. 한편 Nigg(1986)는 운동화의 부드러운 중창이 딱딱한 중창보다 발의 회내 운동에 더 큰 영향을 미친다고 했으며, Nigg, Bahlsten, Leuthi 와 Stokes(1987)과 Stacoff (1988) 역시 딱딱한 중창이 부드러운 것보다 초기의 회내 속도에 더 큰 영향을 주었다고 보고하였다.

이렇듯 런닝화 중창의 경도, 즉 쿠셔닝에 관한 연구는 많이 진행되었지만, 과도한 회내를 방지하기 위한 신발인 모션 컨트롤용 런닝화와 달리기 메카닉스의 관계에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구의 목적은 트레드밀 달리기시 쿠션형 런닝화와 모션컨트롤형 런닝화의 생체역학적 차이를 규명하는데 있다. 즉, 서로 다른 유형의 런닝화를 신고 달릴 때, 달리기의 운동학적 패턴과 충격 흡수 양상, 발의 해부학적 위치에 따른 압력분포 등을 비교, 분석하여 신발 연구의 자료로 활용하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구를 위해 20명의 건강한 성인 남자가 실험에 참여하였다. 이들은 모두 주 1회 이상 정기적으로 달리기 할 뿐만 아니라 트레드밀 달리기에 익숙한 자들로 선정하였다. 이들의 평균 신장은  $177.8 \pm 7.7$  cm이고 체중은  $70.6 \pm 5.9$  kg 이었다. 동일한 운동화를 사용하기 위해 신발크기가 #9 (270 mm)인 자들로 한정하였다.

### 2. 실험 및 분석 장비

트레드밀 위에서 달리는 동안 운동학적(kinematic) 자료를 얻기 위해 8대의 고속 적외선 비디오카메라(Motion Analysis사, Santa Rosa, 미국)를 사용하였으며 샘플링 빈도는 240 Hz로 설정하였다. 운동학적 변인에 대한 처리는 KinTrak 소프트웨어를 사용하였다.

한편 지면반력과 압력 분포를 측정하기 위해 Pedar system(Novel사, 독일)을 사용하였다. 발뒤꿈치 부위 아래의 26개의 센서를 이용하여 샘플링 빈도는 360 Hz로 설정하여 압력을 측정하였다. 실험에 사용된 신발은 N사의 쿠션형 런닝화와 모션컨트롤형 런닝화 각각 한 개씩 사용하였다(그림 1).

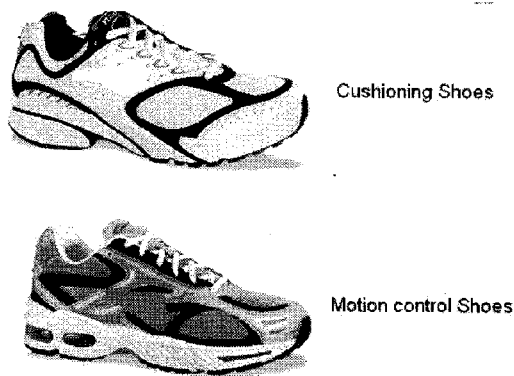


그림 1. 실험에 사용된 쿠션형 런닝화와 모션컨트롤형 런닝화

### 3. 실험절차

운동학적 분석을 위한 모션 캡처를 위해 런닝화와 하퇴에 각각 3개의 반사 마커를 부착한 후, 압력 측정용 인솔을 신발 내에 장착하고 트레드밀 달리기를 실시하였다. 두 가지 런닝화 조건의 순서는 무작위로 하였으며, 각각의 조건으로 달리기 전에 그림 2와 같이 기준 자세 설정을 위한 촬영을 실시하였다.

달리기 속도는 일반적인 조깅 속도인 3.83 m/s로 설정하였으며, 2분 이상 달리는 동안 5~10초간 즉 10~20 스텝 동안의 운동학적, 운동역학적 변인을 측정하였다.

### 4. 변인 및 자료 처리

두 가지 형태의 런닝화를 신고 트레드밀을 달리는 동안 각각 240 Hz와 360 Hz의 빈도로 수집된 kinematic 및 kinetic 자료를 이용해 다음의 변인들을 산출하였다.

#### 1) 운동학적(kinematic) 변인

똑바로 서 있는 상태, 즉 기준 자세에서 발목의 외전 각도(eversion at standing)를 산출하였다. 달리기시 운동역학 패턴을 살펴보기 위해 우선 발이 트레드밀에 닿는 순간, 발목관절의 저측/배측 각도(initial ankle angle) 및 내전 각도(initial inversion angle), 신발 바닥과 지면 사이의 각도인 발바닥 각도(initial sole angle) 등을 산출하였다.

한편 발이 지면에 접촉하는 동안 발의 회내를 조사하기 위해 발목의 외전각도를 측정 후, 기준자세에서의 외전각도를 뺀 값으로 사용하였으며 가장 큰 값을 찾아 최대 외전 각도 (maximum eversion angle)를 산출하였다. 또한 이 각변위를 시간으로 미분하여 외전 각속도를 구한 후, 최대값을 찾아 최대 외전 각속도 (maximum eversion velocity)를 산출하였다. 각도와 각속도의 단위는 각각 drgree와 degree/second를 사용하였다.

#### 2) 운동역학적(kinetic) 변인

발뒤꿈치 부위의 발바닥에 장착한 26개의 압력센서

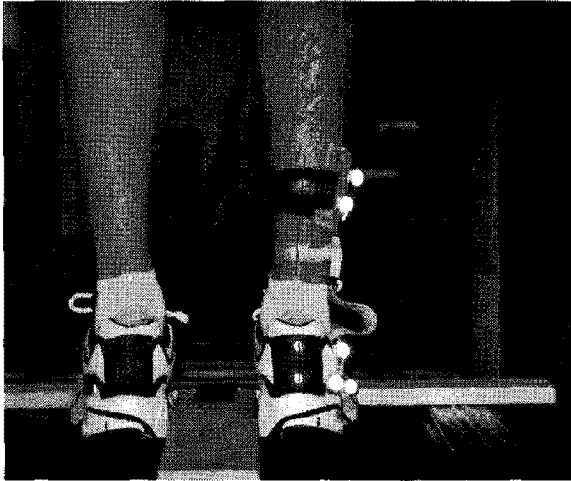


그림 2. 마커 부착 및 기준 자세

를 이용하여 압력을 측정 후, 이를 모두 더하여 수직 지면반력을 산출하였으며, 이의 최대값을 최대 충격력(Maximum force)으로 사용하였으며, 뉴턴의 단위로 측정된 힘 값을 피험자 개인의 체중으로 나눠 표준화된 값으로 전환하였다. 또한 이 수직지면반력을 통해 나타난 힘-시간 곡선에서의 기울기를 구하여 그 최대값을 최대 부하율(Maximum loading rate)로 정의하여 사용하였으며 그 단위는 BW/s로 하였다.

한편 각각의 압력센서에서 나타난 최대값을 최대압력(Maximum pressure)이라 정하였으며 그 단위는 N/cm<sup>2</sup>이다. 또한 뒤꿈치 부위의 압력 분포를 해부학적으로 정의하여 비교하기 위하여, 각 센서에서 측정된 압력 값에 마스크(mask)를 적용하였다. 즉 뒤꿈치 전체의 압력분포를 16개(4X4)의 마스크를 이용해 각각의 마스크에서 나타난 평균 압력을 산출하였다. 또한 뒤꿈치 내외측의 상대적 힘의 분포를 알아내기 위해 뒤꿈치 전체를 내외측으로 나눠 이 2개의 마스크에서 힘값을 산출한 후 이의 비율(Medial/lateral ratio)을 사용하였다. 단위는 비율이며 1보다 클 경우, 뒤꿈치 내측이 외측에 비해 상대적으로 힘이 크다는 것을 의미한다.

### 3) 통계처리

쿠션형 신발과 모션컨트롤형 신발을 신고 트레드밀 위를 달릴 때, 운동학적, 운동역학적 변인들의 차이를 알아보기 위해 종속 t-검증(dependent paired t-test)을 실시하였으며, p값은 0.05로 설정하였다. 각각의 조건에

서 연속된 10스텝의 값들의 평균값을 산출하여 통계적 처리를 하였다. 모든 통계적 계산은 상용 통계 패키지를 이용하여 수행하였다(SPSS, USA).

## III. 결과 및 논의

### 1. 운동학적 변인

서 있는 자세에서 측정된 발의 내전 각도를 비교한 결과, 쿠션형에 비해 모션컨트롤형 런닝화를 신고 있을 때 내전 각도가 감소하는 것으로 나타났다( $p=0.000$ ). 즉 모션컨트롤형 런닝화는 구조적으로 달리기뿐만 아니라 서 있는 상태에서도 발의 내전을 감소시키는 효과가 있음을 알 수 있다. 발이 지면에 닿는 순간에 나타난 운동학적 변인을 비교한 결과, 발목의 신전 각도(Ankle angle)와 발바닥 각도(Sole angle)에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(표 1). 즉, 런닝화 형태가 발목의 굴곡이나 지면에의 진입 각도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 표 1과 같이 발이 지면에 닿는 순간의 내전 각도에서는 차이가 나타나, 쿠션형에 비해 모션컨트롤형 런닝화 착용시 내전이 약 25° 가량 작은 것으로 나타났다(쿠션형:  $8.27 \pm 2.07^\circ$ , 모션컨트롤형:  $5.91 \pm 1.65^\circ$ ).

한편 달리기 운동 상해와 관련이 깊은 변인인 발목의 외전각도와 그 각속도를 비교한 결과, 외전각도는 차이가 나타나지 않았으나 외전 각속도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(표 1). 최대 외전 각도에서 차이가 나타나지 않은 이유는 측정된 외전각도에서 기준 자세시 외전각도를 뺀 수치를 사용했기 때문이라고 사료된다. 만약 측정된 외전각도만을 사용하여 비교한다면, 모션컨트롤형 착용시 약 2° 정도 외전이 감소함을 알 수 있다. 한편, 외전 각속도에 있어서 모션컨트롤형 런닝화 착용시 쿠션형에 비해 그 속도가 약 16% 정도 감소하는 것으로 나타났다(쿠션형:  $404.01 \pm 75.02$  degree/s, 모션컨트롤형:  $344.07 \pm 64.01$  degree/s). 이와 같이 최대 외전각도가 차이가 없음에도 불구하고 그 속도에 있어서 모션컨트롤형에서 감소한 이유로, 첫째, 초기 지면 접촉시 내전 각도가 감소하여 그 결과 발의 내외전 운

표 1. 달리기시 쿠션형과 모션컨트롤형 런닝화 착용에 따른 운동학적 변인의 평균, 표준편차 및 통계 결과

Kinematic variables	Cushioning		Motion Control		Statistical comparison	
	mean	SD	mean	SD	t	p
Initial ankle angle	88.67	2.93	88.93	2.21	-0.48	0.639
Initial sole angle	27.78	4.18	26.02	4.64	-0.61	0.552
Eversion at standing	4.43	2.52	3.03	2.82	4.27	0.000
Initial inversion angle	8.27	2.07	5.91	1.65	5.28	0.000
Max. eversion angle	11.09	3.18	10.56	4.03	0.20	0.432
Max. eversion vel.	408.01	75.02	344.07	64.01	3.10	0.006

동범위(range of motion)가 감소하였기 때문이라고 볼 수 있다.

## 2 운동역학적 변인

달리기시 지면으로부터 오는 발에 대한 충격 패턴을 런닝화 유형에 따라 비교한 결과, 수직 충격력과 그 증가율에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(표 2). 즉, 최대 수직 충격력에 있어서 모션컨트롤형에 비해 쿠션형 런닝화 착용시 약 7% 정도 감소하여 체중의 1.4배 정도로 나타났다. 한편 달리기시 반복되는 충격에 의한 하지 관절의 만성 상해와 관련이 깊은 변인인 최대 부하율(maximum loading rate)에 있어서 쿠션형 런닝화 착용시 약 12% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 쿠션형 런닝화가 갖고 있는 특성인 부드러운 중창에 의해 충격력 및 그 증가율을 감소시키는 효과가 있다고 볼 수 있다.

한편 뒤꿈치에 나타난 최대 압력을 비교한 결과 역시 쿠션형 런닝화 착용시 약 10% 정도 감소하는 것으로 나타났다(쿠션형: 30.97±6.50 N/cm<sup>2</sup>, 모션컨트롤형: 34.20±7.39 N/cm<sup>2</sup>). 뒤꿈치 내외측의 상대적인 힘의 분포를 분석한 결과, 두 형태의 런닝화 모두 뒤꿈치 내측에 상대적으로 더 큰 부하가 나타났으며 이를 조건별로 비교한 결과, 모션컨트롤형이 쿠션형 런닝화에 비해 내측에 걸리는 상대적 부하가 큰 것으로 나타났다(쿠션

표 4. 달리기시 쿠션형과 모션컨트롤형 런닝화 착용에 따른 운동역학적 변인의 평균, 표준편차 및 통계 결과

Kinematic variables	Cushioning		Motion Control		Statistical comparison	
	mean	SD	mean	SD	t	p
Max. Force	1.42	0.28	1.52	0.25	-1.67	0.011
Max. Loading rate	75.16	22.52	85.52	19.25	-2.67	0.021
Max pressure	30.97	6.50	34.20	7.39	-2.37	0.028
M-L heel force ratio	1.03	0.13	1.07	0.12	-2.05	0.044

형: 1.03±0.13, 모션컨트롤형: 1.07±0.12). 이는 모션컨트롤형 런닝화의 구조적 특성 중의 하나인 뒤꿈치 내측의 보강에 의해 그 부위의 부하가 상대적으로 증가해서 나타나 결과라고 사료된다.

한편 뒤꿈치 전체의 압력분포를 16개(4X4)의 마스크를 이용해 각각의 마스크에서 나타난 평균 압력을 산출하여 이를 런닝화 유형에 따라 비교, 분석한 결과를 그림 3에 나타냈다. 뒤꿈치 전반에 걸쳐서 쿠션형 런닝화에서 평균 압력이 작게 나타났으며 특히 뒤꿈치 내측 부위에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나 모션컨트롤형에 비해 쿠션형 런닝화 착용시 약 3N/cm<sup>2</sup> 정도 작게 나타났다.

## IV. 결론

쿠션형과 모션컨트롤형 런닝화 착용시 달리기 운동학 및 운동역학적 비교를 위해 20명의 주자가 트레드밀 위에서 3.83 m/s의 속도로 달리는 동안 하지의 운동학 및 신발 내부의 압력과 지면반력 등을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

운동학적 측면에서 볼 때, 쿠션형에 비해 모션컨트롤형 런닝화는 발목 관절의 운동범위를 감소시키는 효과가 있었다. 즉, 서 있는 자세에서 발의 내전 각도를 감소시키며, 달리기 중에는 발이 지면에 닿는 순간 내전 각도를 감소시키는 경향이 있으며, 외전 각속도 또한 감소하는 것으로 나타났다.

한편 운동역학적 측면에서 쿠션형 런닝화는 달리기

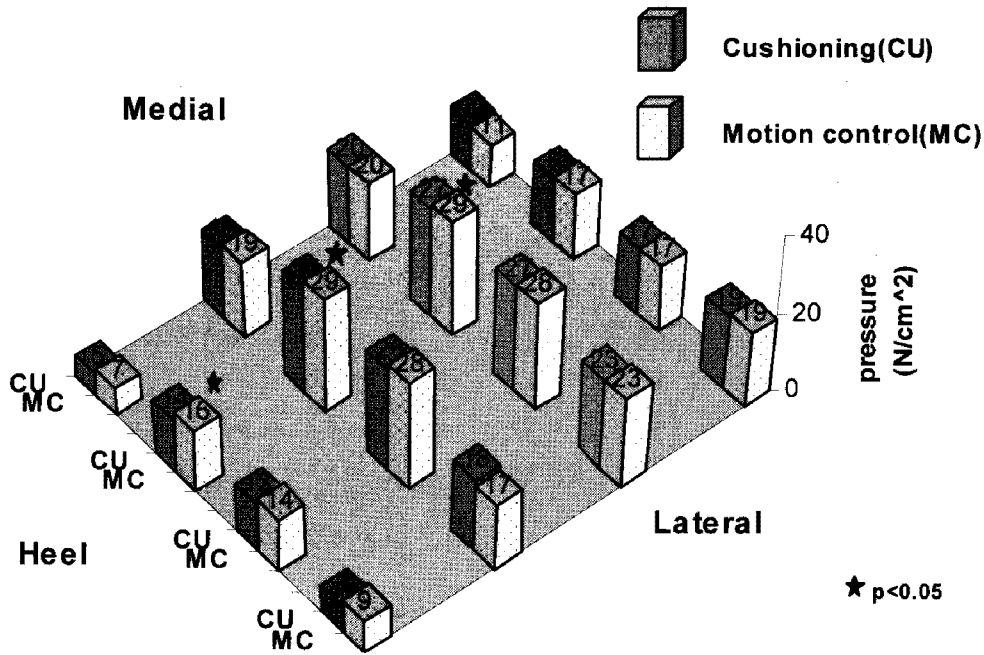


그림 3. 뒤꿈치에 나타난 마스크별 평균 압력의 비교

시 지면으로부터 오는 발에 대한 충격을 줄여주는 효과가 나타났다. 즉, 최대 수직 충격력과 최대 부하율을 감소시키며, 신발 내부에 나타나는 최대 압력 역시 감소시키는 것으로 나타났다. 압력 분포에 있어서는 두 가지 런닝화 유형 모두 뒤꿈치 내측에 상대적으로 더 큰 부하가 나타났으며, 모션컨트롤형이 쿠션형 런닝화에 비해 내측에 걸리는 상대적 부하가 큰 것으로 나타났다. 뒤꿈치 전반에 걸쳐서 쿠션형 런닝화에서 평균 압력이 작게 나타났으며 특히 뒤꿈치 내측 부위에서의 압력이 작은 것으로 나타났다.

마지막으로 런닝화 유형에 따른 생체역학적 효과를 위한 후속 연구를 위해 고려할 점을 다음과 같이 제시할 수 있다. 우선 런닝화 형태에 따른 효과를 달리는 사람들의 발 형태와 관련된 연구가 필요하다.

즉, 발의 내전 상태나 아치의 높이, 또는 전족과 후족 등 착지 형태에 따른 신발 형태의 효과에 관한 연구 등이 필요하다. 또한 운동학적 패턴뿐만 아니라 발목, 무릎 등 하지 관절에 대한 토크 및 파워, 하지 근육들의 활동 등에 대한 연구는 향후 런닝화 개발을 위한 중요한 지표로 작용하리라 기대한다.

### 참고 문헌

Bates, B. T. (1989) Comment on the influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running, *Journal of Biomechanics* 22, pp. 963-965.

Clement, D. B., Taunton, J. E., Smart, G. W. and McNico, K. L. (1981). A survey of overuse running injury. *Physician sports Medicine*. 9, pp. 47-58.

Johnston C. A., Taunton J. E., Lloyd-Smith D. R., and McKenzie D. C. (2003). Preventing running injuries. *Practical approach for family doctors*. *Can Fam Physician*. 49, pp.1101-1109.

Mann, R. A. & Hagy, J. (1980). Biomechanics of walking, running, and sprinting. *American Journal of Sports Medicine*, 8, pp. 345-350.

Mayfield, G. (1978). Runner's Knee. In *Medicine and sport*, 12. 0. Appenzeller and R. Atkinson

- (Eds.), Karger : Basel, pp. 136-139.
- Nigg, B. M. (1986). Biomechanics of running shoes. Champaign, IL; Human Kinetics.
- Nigg, B. M., Bahlsen, Leuthi, H. M. and Stokes. S. (1987). The influence of running velocity and midsole hardness on external impact force in heel-toe running. J. Biomechanics. 20(10). pp. 951-959.
- Radin, E. L., Paul, I. L., and Rose, R. M. (1972). Role of mechanical factors in pathogenesis of primary osteoarthritis. The Lancet. 4. pp. 519-521.
- Stacoff, A. and Kaelin, Z. (1983). Pronation and sport-shoe design. In: B. M. Nigg & B. A. Kerr(eds), Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces. pp. 143- 151. Calgary; University Printing.
- 투 고 일 : 07월 30일  
심 사 일 : 08월 15일  
심사완료일 : 09월 01일