Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.20, No.1, pp.63-72, April 2001

운동화 후족의 내외측 경도차에 따른 후족 제어의 효과

The Effect of Differential Medial and Lateral Midsole Hardness on Rearfoot Movement

부 진 후* · 이 동 춘**

ABSTRACT

Rearfoot control can be defined as the relative ability of a shoe to limit the amount of subtalar joint pronation immediately following footstrike. A normal amount of pronation provides a means of decreasing peak forces experienced by the leg, but excessive pronation of the foot can be arised its injures. The purpose of this study is to compare amount of pronation according to a difference between medial and later hardness of shoe midsole for better design of running shoes. The experiment is examined for 7 running shoes, 8 males, to measure the Achilles tendon angle and rearfoot angle using high speed camera. The results is conducted that the changes of Achilles tendon angle significantly differ at each test shoe with increased running speed. And, a difference between medial and lateral hardness of midsole affects rearfoot motion of runner. The displacements of maximal Achilles tendon angle described a amount of pronation motion is decreased when medial hardness of midsole is large more than lateral.

Keywords: pronation, supination, rearfoot-movement, running-shoes

* (주)화승 연구개발실
주 소 : 617-070 부산광역시 사상구 삼락동 410-1
전 화 : 051-309-7157
E-mail : jhboo@hwaseung.co.kr

** 동아대학교 산업시스템공학과
주 소 : 부산광역시 사하구 하단동 810
전 화 : 051-200-7694
E-mail : dclee@mail.donga.ac.kr

1. 서 론

인간이 보행이나 런닝을 할 때 발목 관절에서는 자연스럽게 회내(pronation) 및 회외(supination)운동으로 구분되는 후족동작(rearfoot movement)이 발생한다. 발목이 몸 안쪽으로 기울어지는 회내동작이나 바깥쪽으로 기울어지는 회외동작은 걷거나 런닝시 발의 구조 때문에 자연적으로 수반되는 동작이며, 신발의 구조 및 몸의 이상에 따라 과도한 회내나 회외가 발생할 수 있다. 적절한 후족동작은 보행 및 런닝시 받는 충격을 감소시켜주지만, 회내가 지나치면 발목 주위의 인대 부상이 발생할 수 있으며, 회외가 지나치면 아킬레스건(Achilles tendon)에 무리한 힘이 가해져 부상의 원인이 된다. 이러한 부상은 런닝시 신는 신발에 의해서 제어가 가능하다.

후족 제어를 연구하는 방법으로 가장 알려진 방법은 트래드밀(treadmill)을 뛰거나 걷는 피험자의 후족을 고속카메라(high-speed camera)로 촬영하여 각도를 계산하는 방법이다. 전체 프레임 중에서 발이 지면과 접촉(touch down)부터 시작하여 발이 지면과 떨어지는 순간(take-off)까지의 각도를 측정하여 분석한다.

Edington 등(1990)은 후족동작에 영향을 미치는 인자들을 주자의 해부학적 구조, 신발의 구조 및 물성, 런닝 속도(speed of running), crossover와 피로 등으로 구분하였다. Nigg(1986), Smith 등(1986)과 Andrew(1986)는 런닝 속도가 증가함에 따라 회내 각도가 유의한 증가를 가지는 반면에 최대 회내각도에 걸리는 시간과 최대 회내 속도에 걸리는 시간은 감소한다고 하였다. 또한 Nigg 등(1986)의 결과에 따르면 맨발로 보행하거나 런닝할 때의 회내외 동작은 발이 지면에 접촉하는 초기 각도가 신발을 신을 때보다 더 적은 것으로 나타났다.

많은 연구에서 신발의 형태와 관련하여 후족 동작을 연구하였다. 특히 Clarke 등(1983)은 신발 중창(midsole)의 경도, 신발 힐(heel)의 높이 그리고 힐의 flare 각도와 후족 제어간의 관계를 보였다. 그의 결과에서 보면 경도가 35(shore A)보다 더 부드러운 중창을 가진 신발에서 최대 회내각도가 더 많이 나타나고, 힐의 높이는 회내동작에 거의 영향이 없으며, 힐의 flare 각도가 15° 이하일 때 최대 회내각도의 감소가 나타난다고 하였다.

그리고 Nigg 등(1986)은 발의 족궁(arch) 부분이 닿는 부위에 경도를 달리한 내측족궁 지지대(medial arch support)를 사용하면 발의 회내 동작을 제어할 수 있다고 하였다. 그는 내측족궁 지지대를 5 가지 위치에 삽입하고 이 지지대가 런닝 동안 후족 제어에 영향을 미치는 정도를 측정하여 지지대가 신발 후측 쪽으로 위치할수록 초기 회내동작을 감소시키는 것으로 나타났다.

신발의 구조와 관련하여 중창에 사용되는 파일론 및 스펀지 계열은 일반적으로 신발 전체에서 동일한 경도를 가진다. 그러나 몇몇의 연구 결과에서 신발의 부분 경도를 달리함으로써 후족 제어에 효과를 가질 수 있는 것으로 나타났다.

따라서 적절한 회내동작 및 회외동작을 하게 하는 신발을 개발하기 위해서는 신발의 형태 및 구조에 따른 후족 동작의 연구가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 적절한 후족 제어를 가능하게 하는 운동화, 특히 런닝화 개발을 위하여 신발 중창의 내외측 경도를 달리하여 내외측 경도에 따라 후족제어의 정도를 정량적으로 파악하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 신발 중창에 있어서 후족(rearfoot) 부위의 내외측 경도를 달리하여 이에 따른 런닝 시 후족 제어에 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 실험하였다.

2.1 실험조건

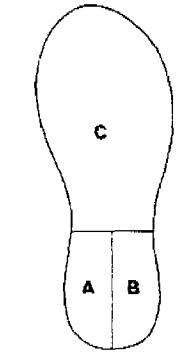
실험에 사용된 신발(런닝화)은 표 1과 같이 7가지를 특별히 제작하였고, 다른 요인의 영향을 방지하기 위하여 후족의 내외측 경도를 제외하고는 소재 및 재질을 동일하게 하였다.

그림 1은 실험에 사용된 런닝화의 사진이다.

피험자는 신체건강하고 정상적인 발과 보행, 런닝 스타일을 가진 20대(25.8±3.6) 남자 8명을 선정하였다. 피험자의 발에 대한 인체측정치는 표 2와 같다. 피험자로 하여금 맨발(barefoot)과 7가지 신발을 신고 트레드밀(TC-1200, Technogym, Italy)을 뛰게 하고 피험자의 뒤쪽에 위치한 초당 60프레임(frame)의 고속카메라(Panasonic사, High Speed camera, Japan)를 이용하여 피험자의 하지를 촬영하였다. 그리고 런닝 속도가 영향을 미치기 때문에 런닝 속도는 3가지(1, 2, 3m/s)를 부여하였다. 각 런닝 속도는 트레드밀에서 조정하였고, 각 속도에 대하여 30초간 뛰게 하고 그 중 10초를 촬영하였다.

실험의 정확성을 위하여 하나의 조건에서 3개의 지면접촉 전체동작을 샘플링하여 디지타이징하고 분석하였다.

표 1. 실험에 사용된 신발의 중창 경도
(Shore A)

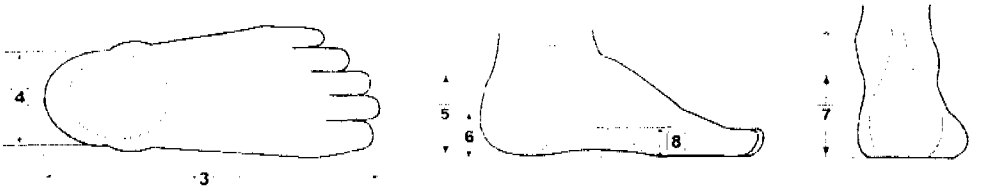


신발	A	B	C
S-1	60	40	60
S-2	60	50	60
S-3	60	70	60
S-4	60	60	60
S-5	40	60	60
S-6	50	60	60
S-7	70	60	60

A:내측경도, B:외측경도, C:전족경도

그림 1. 실험에 사용된 운동화 사진

표 2. 피험자의 인체측정치 (mm)



측정항목	평균	표준편차	측정항목	평균	표준편차
1. 몸무게(kg)	68.3	10.9	5. 발뒤꿈치높이	72.8	4.9
2. 키(cm)	176.8	4.7	6. 발뒤축높이	31.8	8.7
3. 발길이	247.9	13.4	7. 발안쪽복사점높이	84.1	1.0
4. 발뒤꿈치넓이	65.4	2.3	8. 족궁높이	21.6	4.5

2.2 분석방법

후족제어 정도를 분석하기 위하여 실험 전 피험자의 우측 하지에 2개(A,B)와 신발의 후면에 2개(C,D)의 랜더마크(landmark)를 그림 2와 같이 부착하였는데 그 부착 방법은 다음과 같다.

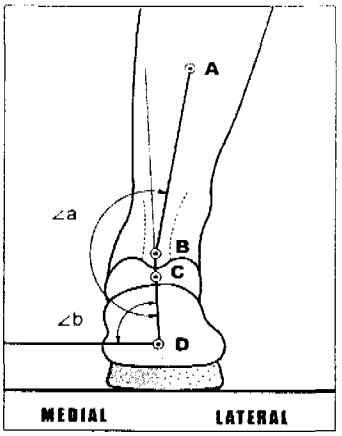


그림 2. 측정점과 측정각도

A : 맨발로 서있는 자세에서 다리의 중심(후측)에서 마커 B의 15cm 위에 위치

B : 신발 힐캡(heel cap)위의 아킬레스건에 위치

C : 신발 힐캡의 상부에 위치, 신발을 신지않은 상태에서 CD와 수평선이 90° 가 되도록 위치

D : 신발 창 뒤쪽 하단부의 중간에 위치

분석에 사용된 후족제어 모수(parameter)는 여러 가지가 있으나 본 연구에서 사용된 모수는 그림 2에서와 같이 일반적으로 많이 사용하는 아킬레스건각(∠a,Achilles tendon angle)과 후족각(∠b, rearfoot angle)이다. 최대 아킬레스건각이 최대 회내동작의 크기로 정의되는 등 아킬레스건각은 발의 회내외동작에 대한 직접적인 각도로 설

명되고 있지만 후족각은 아킬레스건각의 보조적인 각도로 활용되고 있다. 이러한 각도의 변위를 알아보기 위하여 사용된 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

β_0 : 초기 아킬레스건각(Initial Achilles tendon angle)으로 발이 지면과 접촉하는 시점의 아킬레스건각

β_{10} : 초기 회내(Initial pronation)로 지면 접촉 후 전체 지면접촉 시간의 10%일때의 아킬레스건각

β_{pro} : 최대 아킬레스건각(Maximal Achilles tendon angle)으로 회내동작이 최대일 때의 아킬레스건각

γ_0 : 초기 후족각(Initial reatfoot angle)으로 발이 지면과 접촉하는 시점의 후족각

γ_{10} : 초기 후족각(Initial rearfoot angle)로 지면 접촉 후 전체 지면접촉 시간의 10%일때의 후족각

γ_{pro} : 최소 후족각(Minimum rearfoot angle)으로 최대 회내동작 때의 후족각

고속카메라로 촬영한 비디오를 디지타이징(digitizing)하고 각도를 측정하기 위하여 동작분석기를 사용하였다. 사용된 디지타이징 기기는 Panasonic사의 Video Cassette Recorder AG-MD830이고 사용된 분석 프로그램은 winanalyzer이다.

실험결과 측정된 각도는 맨발과 7가지 신발들간의 차이를 알아보기 위하여 통계적 검정을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 접촉시간(contact time)

접촉시간은 발이 지면에서 접촉하고 난 후 지면에서 발이 떨어지는 시간을 의미한다. 이 시간은 런닝 속도와 밀접하게 관련한다. 각 신발 및 런닝 속도에 따른 접촉시간은 표 3와 같다. 이 결과에 따르면 런닝 속도가 증가함에 따라 지면 접촉시간이 줄어들고 신발의 종류에 따라 접촉시간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

표 3. 실험조건에 따른 지면접촉 시간

(ms)

속도 (m/s)	맨발	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7
1	73.26	81.03	76.35	77.42	78.26	81.03	76.59	78.81
2	40.79	43.29	37.30	39.13	39.96	42.46	37.74	42.18
3	32.47	34.13	27.47	29.97	30.80	29.97	31.08	31.08

3.2 아킬레스 건각의 변화분석

실험조건에 따른 아킬레스건각 β_0, β_{10}, β_{pro}, 그리고 최대 변화량($\Delta\beta_{pro}$) 및 후족각의 γ_0, γ_{10}, γ_{pro} 및 최대 변화량($\Delta\gamma_{pro}$)은 표 4와 같다.

런닝속도가 1(m/s)일 때 맨발 및 신발 종

표 4. 실험조건에 따른 아킬레스건각 및 후족각 (°)

속도 (m/s)	Shoes	β_0	β_{10}	β_{pro}	$\Delta\beta_{pro}$	γ_0	γ_{10}	γ_{pro}	$\Delta\gamma_{pro}$
1	맨발	171.58	175.18	182.57	11.00	95.53	93.29	91.20	4.33
	S-1	175.03	178.61	183.91	8.88	99.20	95.81	94.58	4.62
	S-2	175.63	176.36	180.65	5.02	96.22	93.74	91.03	5.19
	S-3	175.32	178.23	184.30	8.98	98.59	95.49	92.30	6.30
	S-4	178.58	182.40	187.81	9.24	99.68	96.88	95.12	4.56
	S-5	176.37	181.47	185.77	9.40	95.83	93.99	91.23	4.61
	S-6	176.75	182.82	186.57	9.82	97.37	95.58	93.06	4.31
	S-7	173.64	176.57	180.20	6.56	95.81	93.80	92.48	3.33
2	맨발	173.68	179.97	184.22	10.54	96.06	93.98	91.31	4.75
	S-1	175.17	178.45	182.74	7.57	96.12	93.59	92.87	3.25
	S-2	174.13	177.46	180.67	6.54	96.25	94.08	92.97	3.29
	S-3	177.19	181.32	185.09	7.90	97.76	94.63	91.32	6.44
	S-4	171.62	174.98	180.52	8.90	96.76	94.33	92.43	4.34
	S-5	173.03	178.10	180.61	7.59	98.21	96.11	93.77	4.44
	S-6	179.53	182.35	187.24	7.70	99.75	97.14	94.71	5.04
	S-7	175.22	178.60	181.96	6.74	99.29	95.71	93.45	5.84
3	맨발	174.27	178.63	182.27	8.00	99.36	94.81	92.03	7.34
	S-1	178.82	182.06	186.34	7.51	100.15	98.04	96.17	3.98
	S-2	173.83	176.50	178.64	4.81	100.73	96.80	94.02	6.71
	S-3	172.57	175.84	177.35	4.78	98.69	95.12	92.39	6.30
	S-4	173.12	176.05	179.93	6.81	98.66	93.89	91.64	7.02
	S-5	173.43	177.91	180.87	7.44	98.14	94.30	92.15	5.99
	S-6	173.57	177.37	179.56	6.00	99.56	96.07	94.31	5.25
	S-7	175.01	177.90	179.67	4.66	99.47	95.23	92.76	6.71

류별 아킬레스건각의 초기각도는 유의한 차이를 보이고(P=0.034), 접촉시간의 10%시간에서의 아킬레스건각 또한 유의한 차이를 보이며(P=0.031), 최대 아킬레스건각은 차이가 없다(P=0.352). 런닝속도가 2(m/s)일 때는 아킬레스건각의 초기각도(P=0.001), 10%시간대의 아킬레스건각(P=0.020), 최대 아킬레스건각(P=0.020) 모두가 유의한 차이를

보이고 있다. 또한 런닝속도가 3(m/s)일 때도 초기 각도(P=0.021), 10%때의 아킬레스건각(P=0.015), 최대 아킬레스건각(P=0.020) 모두가 유의한 차이를 보이고 있다.

반면에 후족각의 분석에서는 각 속도에 따라 초기각도 및 접촉시간 전체의 10%때의 후족각 그리고 최대 회내 때의 후족각은 모두 신발 종류별로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

그림 3~5는 아킬레스건각의 초기각도, 10%때의 각도, 그리고 최대 아킬레스건각에 대한 런닝속도별 그래프이다.

10% 시간대의 아킬레스건각은 이론적으로 발의 총접지시간의 10%되는 시점에서의 각도이다. 이 아킬레스건각이 크면 거골하 관절에 부하가 많이 걸리고, 또한 운동화 힐의 중앙과 발바닥의 접지부분을 연결한 지레의 저항이 커지기 때문에 발목주변의 근육이나 인대에 더 많은 힘이 작용하게 되어 부상의 위험이 많은 것으로 알려졌다.

1[m/s]의 런닝 속도에 대하여 10% 아킬레스건각이 작은 신발은 맨발 상태와 S-2, S-7이고, 2[m/s]에서는 S-2와 S-4이고, 3[m/s]에서는 S-2,3,4이다. 대체적으로 내측경도가 외측경도보다 높을 때 10% 아킬레스건각이 작게 나타났다. 특히 각 런닝속도에서 공통적으로 적은 10% 아킬레스건각을 가지는 S-2는 내측경도가 60[Shore A]로 외측경도보다 10정도 높은 것으로 나타났다.

최대 아킬레스건각은 우리가 일반적으로 일컫는 회내운동의 각도를 의미하는데 이 최대 아킬레스건각의 적정 크기에 대해서는 명확한 해답을 찾지 못하고 있는 실정이다. 몇몇의

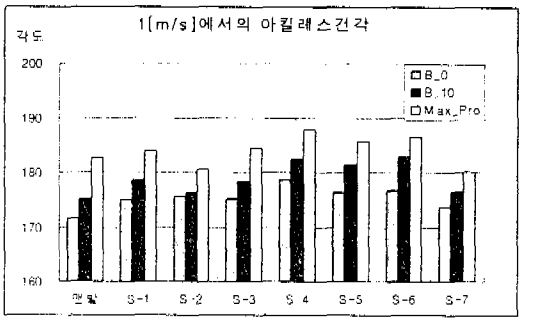


그림 3. 1 m/s 속도에서의 아킬레스건각

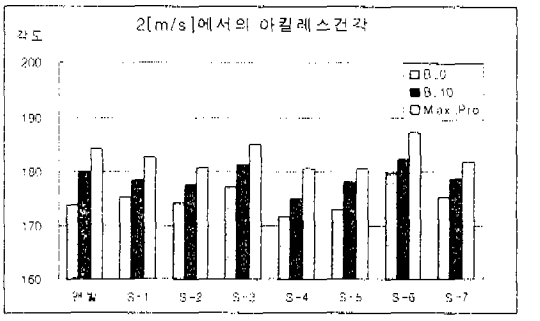


그림 4. 2 m/s 속도에서의 아킬레스건각

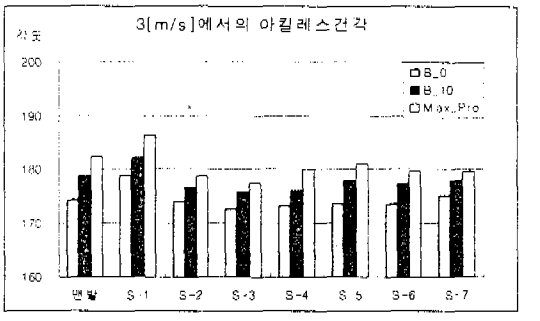


그림 5. 3 m/s 속도에서의 아킬레스건각

연구에서 이 각도가 작을수록 좋다고 하였다.

그리고 또 유의해야 하는 것은 최대 아킬레스건각은 초기 아킬레스건각에 상대적이기 때문에 일반적으로 최대 아킬레스건각의 각 변위($\Delta\beta_{pro}$)를 살펴보는 것이 좋다.

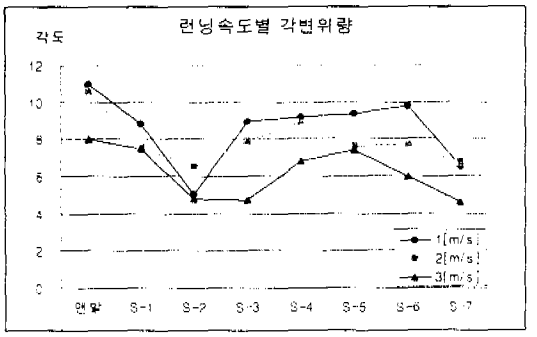


그림 6. 런닝속도별 최대 아킬레스건각의 변위량

실험에서 나타난 각 런닝속도에 따른 최대 아킬레스건각의 각 변위는 그림 6과 같다. 최대 아킬레스건각의 각 변위는 지면과의 접지 전과정을 통하여 발목에 회내운동이 일어난 정도를 말한다. 이러한 최대 아킬레스건각의 각 변위가 가장 적은 신발은 표 4에서 살펴보면 런닝속도가 1[m/s]에서는 S-2와 S-7이고, 2[m/s]에서 또한 S-2와 S-7, 3[m/s]에서는 S-2과 S-3,7이다. S-2와 S-7은 공통적으로 내측의 경도가 외측의 경도보다 경도가 10정도 높은 신발이다. 또한 런닝속도가 증가할수록 신발의 후족 내외측 경도의 차가 회내운동에 영향을 덜 미치는 것으로 보인다.

이러한 결과에서 볼 때 신발 중창의 내외측 경도에 가장 좋은 효과를 미치는 것은 외측의 경도보다 내측의 경도가 10정도 높을 때인 것으로 드러났다.

4. 결 론

보행이나 런닝시 발에서 발생하는 회내외 동작을 포함하는 후족동작은 지면 접촉시 충격을 감쇠시키는 자연스러운 동작이다. 그러나 과도한 회내외 동작은 발의 상해를 유발하기 때문에 후족 동작을 제어하는 능력은 발의 상해를 예방하는데 중요한 역할을 한다. 후족 동작을 제어하는 방법은 적절하게 설계된 신발을 신는 것이다. 따라서 신발을 개발하는데 있어 신발의 물성이나 소재에 따라서 후족동작이 달라지기 때문에 후족 제어에 관련하여 신발을 설계하는 것은 필수적이다.

본 연구에서는 신발 중창의 내외측 경도에 따라 회내외 동작의 정도를 파악하여 신발 설계에 적용하는 것을 목적으로 7개의 신발 내외측 경도를 달리하여 3가지 런닝속도에 따른 후족제어 정도를 정량화하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1. 런닝속도별로 아킬레스건각의 분석에서 아킬레스건각의 초기각도는 신발유형별로 유의한 차이를 보이고, 10%때의 아킬레스건각 및 최대 아킬레스건각도 유의한 차이를 보였다.
2. 신발 후족의 내외측 경도는 후족동작에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 신발의 내측의 경도가 외측의 경도보다 10정도 적을 때 10%때의 아킬레스건각의 가장 적었다.
3. 런닝시 후족의 회내동작의 양을 나타내는 최대 아킬레스건각의 변위량 분석에서는 내측경도가 외측경도보다 높아야 한다는 것으로 나타났고, 런닝속도가 높을수록 그 영향은 적어진다고 할 수 있다.

이러한 연구의 결과는 과도한 회내동작에 의한 발의 부상을 방지하기 위하여 신발, 특히 런닝화의 중창을 설계하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것이다. 그러나 신발의 중창의 역할은 후족동작의 제어와 더불어 충격흡수(shock absorption)기능과도 밀접한 관계가 있다. 신발 중창의 경도가 높을수록 주자에게 미치는 충격흡수량은 크고 그에 따른 부상의 가능성이 있기 때문에 내측의 경도를 무작정 증가시킬 수는 없다. 따라서 차후의 연구에서 충격흡수를 적절하게 해주고, 동시에 후족동작을 제어하는 신발 후족의 구조적 설계에 대한 연구가 계속적으로 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

Andrew, G.C.(1986), The effect of running velocity on rearfoot motion and mediolateral placement of the feet, Unpublished master's thesis, The Pensylvania State University, University Park.

Bates, B.T., Ostering, L.R., Madson, B. and James, S.L.(1978), Lower Extremity Function during the Support Phase of Running, In E. Asmussen & K. Jorgensen(Eds), Biomechanics VI-B, 30-39.

Cavanagh, P.R.(1980), The Running Shoe Book, Mountain View, CA:Anderson World, Inc.

Cheskin, M.P.(1987), The Complete Hand- book of Athletic Footwear, Fairchild Pub. New-York.

Clarke, T.E., Frederick, E.C. and Hamill, C.L.(1984), The Study of Rearfoot Movement in Running, In E.C. Frederick(Ed), Sprots Shoes and Playing Surfaces: Biomechanical Properties, Human Kinetics Pub. Champaign, Illinois, 139-160.

Clarke, T.E., Frederick, E.C. and Hamill, C.L.(1983), The effect of shoe design upon rearfoot control in running, Medicine and Science in Sports and Exercise, 15(5), 376-381.

Edington, C.J., Frederick, E.C. and Cavanagh, P.R.(1990), Rearfoot Motion in Distance Running, In P.R. Cavanagh(Ed), Biomechanics of Distance Running, Human Kinetics Books, Champaign, Illinois, 135-164.

Milani, T.L., Scanabel, G., and Hennig, E.M.(1995), Rearfot Motion and Pressure Distribution Patterns during Running in Shoes with Varus and Valgus Wedges, J. of Applied Biomechanics, 11(2), 177-178.

Nigg, B.M. and Bahlsen, H.A.(1988), Influence of Heel Flare and Midsole Construction on Pronation, Supination, and Impact Force for Heel-toe Running, Int. Journal of Sport Biomechanics, 4, 205-219.

Nigg, B. M. and Morlock, M.(1987), The Influence of Lateral Heel Flare of Running Shoes on Pronation and Impact Forces, Medicine and Science in Sports and Exercise, 19, 294-302.

Nigg, B.M.(1986), Experimental Techiques used in Running Shoe Research, In B.M. Nigg(Ed), Biomechanics of Running Shoes, Human Kinetics Pub., Chanpaign, Illinois, 27-61.

Smith, L., Clarke, T.E., Hamill, C.L. and Santopietro, F.(1986), The Effect of soft and semi-rigid Orthoses upon rearfoot movement in running, Podiatric Sports Medicine, 76(4), 227-233.

저자 소개

◈ 부진후(Jin-Hoo, Boo)

동아대학교 산업공학과를 졸업하고, 동대학원에서 석사와 박사과정을 수료하고 현재, 르까프를 생산하는 (주)화승의 연구개발실에서 근무하고 있다. 관심 분야는 인체계측과 신발신체역학(footwear biomechanics) 등이다.

◈ 이동춘(Dong-Choon, Lee)

동아대학교 산업공학과를 졸업하고 동대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였으며, 현재 동아대학교 산업시스템공학과 교수로 재직중이다. 주요관심 분야는 Work Station design, CTDs, Vibration 등이다.

논문접수일 (Date Received) : 2001/2/7
논문게재승인일(Date Accepted) : 2001/4/4