한국운동역학회지, 2007, 제17권 3호, pp. 189-195
Korean Journal of Sport Biomechanics
2007, Vol. 17, No. 3, pp. 189-195

신발의 굴림 특성이 족저반력 및 회내운동에 미치는 영향

The Effects of Shoes with Rolling Feature on the Foot Reaction Force and Pronation

신학수*(대구대학교)
Shin, Hak-Soo*(Daegu University)

ABSTRACT

H. S. SHIN, The Effects of Shoes with Rolling Feature on the Foot Reaction Force and Pronation. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 17, No. 3, pp. 189-195, 2007. The purpose of this study was to analyze the effects of shoes with curved out-sole on the pressure, reaction force(sum of pressure) on foot and relations between the rolling speeds and pronation of foot. The foot pressure, reaction force and pressure center on the foot surface of shoe were measured with NOVEL padar system, and 3 type shoes were used to compare the position and speed of pressure center and the foot reaction force, which were s(target) shoe with soft cushions in middle part of out-sole and curved out-sole, m shoes with two type- soft, hard, hardness out-sole and curved out-sole and n shoes with flat out-sole. The subjects were 13 female university students, had weared the 3 type shoes for 6 weeks on two-weeks shifts for adaptation before experiment and put on 3-type shoes repeatedly and randomly and walked on treadmill with 3.5km/h and 80 steps/min. The data were captured with 30Hz and readjusted with 5kgf threshold reaction force. The results can be summarized as follow.

1. There were no difference in maximum reaction force on initial contact period and total foot impact , but statistical difference in maximum reaction force on takeoff period : s, m, n in ascending order.
2. There were some difference in rolling speeds for support periods. At initial contact, the rolling speed of s shoes was fastest but at periods between first and second maximum reaction force, that of m shoes fastest.
3. There was a negative relation between rolling speeds and the length of lever arm on initial reaction force related to pronation.

It seems shoes with various curved shapes and hardness could make effects on the rolling features and the rolling speed also have some relationships with walking efficiency, absorption of impact and pronation.

KEYWORDS : CURVED OUT-SOLE, FOOT REACTION FORCE, ROLLING SPEED, PRONATION

이 논문은 2006년도 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임
* hakdoli@daegu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

걷기는 안전하면서 간단하여 모두가 즐길 수 있는 유산소 운동으로 좌식위주의 생활을 하는 현대인들에게 스트레스 해소 및 다양한 만성퇴행성 질환의 예방에 효과가 있으며 특히 과체중인 사람이나 노인, 심장병 환자를 위한 재활운동 프로그램으로도 많이 활용되고 있다. 현재 이러한 걷기의 효과를 증대시키고 안전성을 높이기 위한 다양한 기능성 신발이 개발되고 있다. 이러한 기능성 신발에 대한 연구 동향을 살펴보면 하지와 발의 운동학적 분석에서부터 내·외력, 러닝 슈즈의 에너지 측면, 상해와 여러 역학적 변인들과의 관계에 초점이 맞춰졌으며(김연정, 2007), 최근에는 초기 접지에서의 충격력 및 회족 제어력, 족저부 압력의 분포 등이 상해와 관련되어 연구되고 있다.(Nigg, Stefanyshyn, Cole & Boyer, 2005).

회족제어력은 회내(pronation) 운동과 관련이 있는데 초기 접지기에서 회내운동은 거골(talus)이 회외의 위치에서 내전(adduction), 저측굴곡(plantar- flexion)되면서 일어나는 거골하(subtalar)관절의 3차원운동으로(Tomas,1997) 발목에서는 거골하관절 축 방향 및 족궁의 높이, 가동범위 등이 관여하며 하퇴에서는 경골(fibula)의 내측회전 및 무릎의 굴곡 등이 관련되어 지면으로부터 신체에 가해지는 충격을 흡수하는 역할을 한다(이세용, 이승재, 김로빈, 2002). 그러나 지나친 회내 운동으로 인해 거골하 관절에 무리가 가해지면 무릎과 발의 부상 원인이 되기도 한다(정철수와 문영진, 1999). 회내운동의 초기 유발력은 발꿈치의 초기 접지점의 지면 반력에 기인하며 이러한 지면 반력의 크기 및 발목 축에 대한 위치관계가 힘팔(lever arm)을 결정한다(Tomas,1997).

걷기에서 초기접지의 지면반력은 지면에 대한 수직반력요소로서의 충격 및 제동력으로서의 전방추진력의 감소, 관상면의 초기의 회내운동과 관련된다. 신발의 설계에 있어 이러한 초기지면반력의 감소를 위해 신발의 중저 부위에 사용되는 소재의 경도를 조절하였다. 이러한 경도의 조절은 회족제어력의 문제를 같이 야기하여 회내운동에 대한 관심을 불러왔다. 그러나 이러한 소재의 경도와 회족제어력의 향상은 서로 상반된 효과를 가진다. 즉, 신발 중저의 경도가 연질일수록 급격한 초기 회족제어력의 감소에 의해 발목의 안정성을 야기하며, 중저가 경질일수록 부하율(loading rate)이 증가하여(곽창수, 1993) 착지 초기의 충격 흡수에는 부정적인 영향을 미친다고 보고하였다(이연종, 1997).

최근에 신발 바닥면이 곡면 구조를 이루어 굴림보행이 가능하도록 한 기능성 신발이 개발되어 그 성능 평가가 활발히 이루어지고 있다. Nigg, Ferber & Gormley(2004)과 최규정(2003)은 유선형으로 제작되고 후족부가 연질로 구성된 보행 전문 신발의 최대 수직 지면반력값이 일반 운동화에 비해 유의하게 적게 나타났다고 보고하였다. 그러나 Vernon, Wheat, Naik, & Pettit(2004)과 김용운과 신인식(2005)은 유선형 후방 밸런스 신발의 최대 제동력이 일반 신발보다 커다고 보고하였으며, 김연정(2007)은 균등의 경도를 갖고 족궁부에 홈이 있는 유선형의 보행전문신발에서의 최대제동력이 일반신발과 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고했다. 최대제동력의 증가는 걷기 때의 수직충격력의 증가뿐만 아니라 전방운동에너지의 소실과 관련되며 이러한 소실된 전방운동에너지는 추진기에 전방추진에너지의 형성으로 보완되어야 한다. 따라서 이러한 제동력 및 추진력의 크기는 발의 족저압의 분포에 영향을 미친다.

옥영주와 최지희(2000)는 족저 압력이 발 밑바닥 전체에 균등하게 배분되지 않고 특정영역에 과부하를 가하게 되면 발목, 무릎, 허리에 통증을 발생시키는 것으로 보고했다. 전족부나 후족부 또는 양쪽이 중족부보다 낮게 설계된 신발(Rocker shoes)을 사용한 연구에서는 전족부의 압력이 모두 유의하게 낮게 나타났으며 발의 압력이 잘 분산되어 궤양성 질환을 방지해야 하는 당뇨병 환자에게 좋은 효과가 있다고 보고하였다(Brown, Wertsch, Harris, Janisse & Klein, 2004). 또한 최규정(2003)은 족저압의 연구에서 각 부위별 최대압력 중 최대치는 후족부에서 발생하였고, 보행 전문 신발의 압력이 일반 신발보다 유의하게 낮게 나타났다고 보고하였다. 그러나 김연정(2007)은 신발에 대한 족저압을 분석한 결과 지지구간에서 신발에 가해지는 부위별 압력 및 압력 중심의 이동 방향은 신발 종류에 따라 유의한 차

이가 없다고 보고하였다.

그러나 상해와 직접 관련된 족저압력(족저반력)과 충격특성 및 회내운동을 서로 연관 지어 연구한 것은 드문 편이다. 또한 굴림이 일어나도록 설계된 신발은 기본적으로 제동의 과정에 에너지가 보존되어 추진과정에 에너지의 요구가 줄어드는 것을 목적으로 하며 그 충격 또한 굴림의 특성으로 완화시킬 것이라는 기대를 바탕으로 한다. 따라서 본 연구에서는 아웃솔을 유선형으로 제작한 신발에 대해 그 족저반력 및 압력중심의 이동패턴을 이용하여 유선형 신발의 굴림특성 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 특이한 보행 형태를 보이지 않고 기능 장애가 없으며 240cm 신발을 착용하는 경북에 소재한 D 대학교에 재학중인 여학생 13명을 대상으로 하였다. 피험자의 체중은 52.4±3.2kg, 신장은 161.3±3.4 cm, 나이는 20.3±1.3세 이었다.

2. 실험방법 및 절차

피험자는 먼저 6주간씩 s, m, n 신발을 6주 동안 각각 2주간 돌아가면서 신어 보는 신발 적응기간을 거친 후 실험 직전에 무작위로 순서로 각각 세 종류의 신발을 반복적으로 신어보았다. 집단 내 반복측정의 효과는 무작위 신발 착용에 의해 간주하지 않았다. 사용된 신발의 특성을 보면 s 신발은 아웃솔이 전체적으로 유선형이나 족궁부위에 연질부가 삽입된 구조이며, m 신발도 또한 아웃솔의 구조가 유선형이나 연질의 후족부와 경질의 전족부로 구성되어 있다. n 신발은 아웃솔이 평면구조로 된 신발이다. 보행에서 나타나는 족저압의 변화를 살펴보기 위해 Novel 사의 Pedar-x system의 240cm Insole 형 압력분포 측정기를 이용하였다. pedar의 insole은 거의 영구적으로 사용 가능한 것으로 insole의 형상을 기준으로 그 전후 중간선을 지나는 축을 가진 기준좌표가 설정되어 있으며 초기에 insole을 신발에 삽입한 후 0 점 조정 과정을 거친다. 본 실험에서는 무작위로 신발을 선택하여 13명이 교대로 신발을 신고 초기 값을 설정한 후 30Hz의 빈도로 족저압을 시험 샘플링하고 보행을 진행하는 과정을 각 개인별로 3종류의 신발에 대해 반복적으로 행하였다. 본 실험에서는 피험자는 트레드밀에서 경사도 0도, 3.5km/h 의 속도에서 메트로놈을 이용하여 보폭수를 분당 80회로 맞추어 5분간 걷도록 하였다. 이 중에서 보행이 안정되고 보폭수가 일정한 시기의 오른발에 대한 10회의 자료를 추출하여 평균하였다.

3. 자료처리

Novel pedar-x 프로그램에서 얻어진 족저압력의 전체반력(족저반력)을 기준으로 5kgf이상일 때를 역치로 하여 접지 및 이지시점을 정하였다. 압력중심 및 족저반력, 그 위치 등의 자료는 pedar-x 프로그램에서 얻어진 값을 그대로 이용하였다. pedar 시스템의 족저반력은 족저면의 수직 방향의 힘으로 지면반력기의 수직반력과는 많은 차이가 있을 것이나 지면반력기의 수직반력과 유사한 상관이 있을 것으로 보고 편의상 지면반력기의 용어를 차용하여 사용하였다. 또한 족저 반력은 압력중심에 집중되어 나타나는 것으로 간주하였으며 회내운동에 대한 지표는 기준축에 대한 압력중심의 내·외측 이동거리 중 최대이동거리(회내운동의 힘팔)를 이용하였다. 수집된 자료는 Excel 2003 프로그램을 사용하여 일원분산분석을 시행하였으며 사후분석은 Tucky를 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 굴림특성과 족저반력

초기 접지점과 후기 이지점을 기준으로 직선 접지거리(접지거리)<표 1>를 살펴본 결과 약 184cm 정도이며

그 기간 동안의 시간(접지시간)은 평균 0.65초이며 유의한 차이는 없었다<표 2>. 족궁부에 나타난 최소족저반력을 기준으로 전체 접지시간에서 최소족저반력이 나타날 때까지의 시간 비율을 살펴본 결과 약 55% 정도로 나타났다<표 3>.

신발의 종류에 따른 접지시간 동안의 족저면의 충격량은 전체 체중의 약 7배 정도에 이르며 신발의 종류에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다<표 4>.

초기최대족저반력은 체중의 약 10배에 이르며 n, s, m 신발의 순서로 큰 것으로 나타났으나 유의한 차이는 없었다<표 5>.

초기최대족저반력에 이르는 시간을 살펴보면 s, m, n의 순서로 짧았으며<표 6> 이것은 압력 중심의 변화가 큰 것은 피험자가 빠른 속도로 움직인 것(채원식, 2005)과 관련이 있으므로 s 신발이 빠르게 굴렀음을 암시하는 것으로 생각된다.

초기최대족저반력을 초기최대족저반력이 일어나는 시점까지의 시간으로 나눈 값(압력부하율)은 s 신발이 다른 신발에 비해 높은 것으로 나타났다. 지면반력기을 이용한 선행연구에서 부하율의 증가는 충격 흡수에 부정적인 영향을 미친다(곽창수, 1993, 이연종, 1997)고 하였으나 본 연구에서는 초기최대족저반력과 전체 족저충격량의 차이가 없는 것으로 볼 때 이 때의 높은 압력부하율은 s 신발의 굴림 특성으로 인하여 그 족저반력이 분산된 것을 의미하는 것으로 생각된다.

후기최대족저반력은 s 신발, m 신발, n 신발의 순서로 낮은 것으로 나타났으며<표8, 그림2> 초기최대 족저반력에 대한 후기최대족저반력의 비를 보면 s, m, n 신발의 순서대로 그 비가 낮은 것으로 나타났다<표 9>. s 신발의 후기최대족저반력값이 작다는 것과 초기

표 1. 접지거리 (cm)

s	m	n	F
185.5±9.6	183.0±12.5	183.3±13.2	0.1799(2,24)

표 2. 접지시간 (sec)

s	m	n	F
0.62±0.06	0.67±0.09	0.66±0.15	0.0076(2,24)

표 3. 전체 접지시간에 대한 최소족저반력에 이르는 시간의 비율 (%)

s	m	n	F
55±8	56±5	56±8	0.1782(2,24)

표 4. 족저면의 체중에 대한 평균 충격량 (kgf/체중)

s	m	n	F
7.12±0.96	6.97±1.08	7.37±1.22	0.4399(2,24)

표 5. 초기최대족저반력 (kgf/체중)

s	m	n	F
9.95±0.91	9.62±0.70	10.32±1.09	1.8989(2,24)

표 6. 초기최대족저반력에 이르는 시간 (sec)

s	m	n	F
0.16±0.04*ψ	0.20±0.05*	0.22±0.08ψ	3.5822(2,24)

p<.05 s,m : *; s,n : #; m,n : ψ

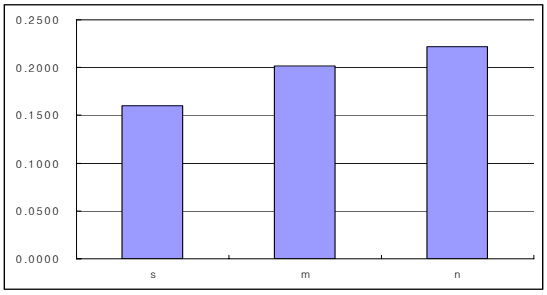

그림 1. 초기최대족저반력에 이르는 시간

표 7. 압력부하율 (kgf/sec)

s	m	n	F
67.63±25.70*#	49.55±9.72*	50.04±12.28#	4.5682(2,24)

p<.05 s,m : *; s,n : #; m,n : ψ

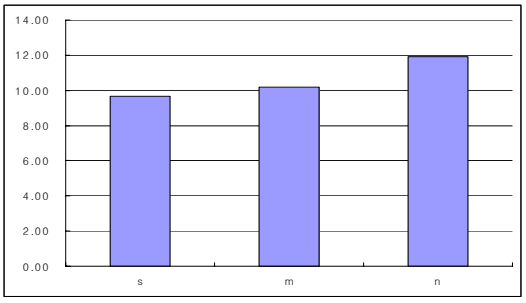

그림 2. 후기최대족저반력

표 8. 후기족저최대반력 (kgf/체중)

s	m	n	F
9.67±0.68*#	10.20±0.84*ψ	11.93±1.23*#	20.3214(2,24)

p<.05 s,m : *; s,n : #; m,n : ψ

최대족저반력에 대한 후기최대족저반력의 비가 낮다는 것은 추진기에 요구되는 추진력이 상대적으로 작게 요구되며 또한 전족부 압력도 전반적으로 낮을 것임을 암시한다. 이러한 결과는 전족부와 후족부가 중족부보다 낮게 설계된 신발인 Rocker shoes가 발목의 움직임을 잡아서 발바닥에 가해지는 최대 압력이 유의하게 낮게 나타난다(Brown et al., 2004)는 선행연구와는 달리 s, m 신발은 굴림특성에 의해 인체의 전방 운동 에너지를 지속적으로 유지하고 있기 때문에 추진력이 적게 요구될 수도 있음을 암시하는 것으로 생각된다. 또한 이러한 관점에서 s 신발은 m 신발에 비해 더 좋은 굴림 특성을 지닌 것으로 생각된다.

족궁부에서 나타나는 최소족저반력은 s, m 신발이 n 신발에 비해 낮은 것으로 나타났다<표 6>. 이러한 특성은 발의 저측 방향 신장성 수축굴곡과 족궁의 피로, 족궁지지력과 관련되는 것으로 보이며 향후 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

초기최대족저반력에 이르는 지점까지의 속도는 s 신발이 가장 빠른 것으로 나타났으나 유의하지 않았다<표 11>.

초기와 후기의 최대족저반력 구간의 속도는 m 신발이 가장 빠른 것으로 나타났으나 유의하지 않았다<표 12>. 그러나 F(2,24) 값에 대한 유의확률이 p=.13인 것을 볼 때 m 신발은 s, n 신발에 비해 빠른 족궁부의 굴림특성을 보이는 것을 의미하는 것으로 간주할 수 있을 것으로 생각된다. 이것은 m 신발의 아웃솔 재질의 경도가 중간부위에서 바뀌는 것과 관련이 있으며 이것이 빠른 시소효과를 일으킨 것으로 추정된다. s 신발은 n 신발과 거의 같은 속도를 보이며 s 신발의 중간부위에 삽입된 쿠션부위가 압력중심이동 속도를 줄여주기 때문인 것으로 추측된다.

표 9. 초기·후기 최대족저반력의 비

s	m	n	F
0.98±0.09*#	1.06±0.10*ψ	1.16±0.13#ψ	10.0341(2,24)

p<.05 s,m : *; s,n : #; m,n : ψ

표 10. 최소족저반력 (kgf/체중)

s	m	n	F
7.56±1.27#	7.74±0.83ψ	8.80±1.62#ψ	3.5698(2,24)

p<.05 s,m : *; s,n : #; m,n : ψ

표 11. 초기최대족저반력이 발생할 때까지의 속도 (cm/s)

s	m	n	F
465.22±169.97	406.53±65.47	371.90±84.95	2.1486(2,24)

표 12. 초기·후기최대족저반력 사이의 속도 (cm/s)

s	m	n	F
279.60±34.56	246.17±41.85	279.27±61.24	2.1487(2,24)

2. 굴림속도와 회족제어력

pedar insole의 전·후 축에서 압력중심이 가장 멀리 떨어진 위치를 초기 족저의 회내운동에 대한 힘팔로 볼 때 이 힘팔의 길이는 s 신발이 가장 짧은 것으로 나타났으며 m 신발이 가장 큰 것으로 나타났으나 유의한 차이가 없었다<표 13>.

위의 표를 보면 각 신발별로 힘팔의 길이의 편차가 매우 큰 것을 알 수 있는데 이것은 각 개인의 보행의 특성이 매우 다양하고 족관절 복합체의 형태가 다양한 것(이세용 등,2002)과 관련이 있을 것으로 추측된다. 각 신발별 굴림속도와 힘팔의 길이와의 상관관계를 살펴보면 <표 14>, s 신발의 경우 초기지지기의 굴림속도가 높을수록 힘팔의 길이가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 m, n 신발의 경우에는 부적 상관이 보이나 유의하지 않았다. 이것은 s 신발과 같이 후족부가 상대적으로 경질로 구성된 유선형신발은 그 굴림의 특성이 초기 회족 제어력에 영향을 미칠 가능성이 있는 것을 암시하며 향후 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

표 13. 힘팔의 길이 (mm)

s	m	n	F
14.22±14.38	19.56±12.35	18.41±12.31	0.6031(2,24)

표 14. 굴림속도와 회내거리

		굴림속도		
		s	m	n
회내거리	s	-0.638*		
	m		-0.507	
	n			-0.143

* p< .05

Ⅳ. 결 론

본 연구는 유선형 기능성 신발의 굴림 보행에 따른 족저반력의 변화를 압력중심의 이동 경로를 따라 살펴보았다. 본연구의 결과는 다음과 같다.

1) 유선형의 구조를 가진 s 신발의 초기최대족저반력과 전체 족저충격량은 m, n 신발과 차이가 없었으며 후기최대족저반력과 초기최대족저반력에 대한 후기최대족저반력의 비는 유의하게 작은 것으로 나타났다. 이것은 s 신발이 굴림특성에 의해 전방추진에너지를 보존하는 경향이 있는 것을 암시한다.

2) s 신발의 초기최대족저반력에 이르는 시간이 가장 짧았으며 m 신발은 초기최대족저반력 및 후기최대족저반력까지의 압력중심이동속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 이것은 아웃솔의 유선형 형상 및 경도와 관련된 것으로 생각된다.

3) 초기최대족저반력까지 구간의 압력중심의 기준축에 벗어난 거리를 회내운동의 힘팔길이로 보고 각 신발별로 비교해 본 결과 유의한 차이가 없었다. 그러나 각 신발의 굴림속도와 힘팔의 길이의 상관관계를 살펴본 결과 s 신발은 굴림속도가 빠를수록 힘팔의 길이가 짧아지는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과는 신발의 아웃솔의 구조 및 그 경도는 충격흡수 및 회족제어력 등과 매우 밀접한 관련이 있는 것을 보여준 것으로 생각되며 추후 유선형신발의 곡률과 소재의 경도는 보행효율성, 충격흡수 및 회족제어의 새로운 변수가 될 가능성이 있을 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

곽창수 (1993). **운동화 중저의 경도가 주행 시 발바닥의 압력 분포와 충격 흡수에 미치는 영향**. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

김연정(2007). **유선형 후방밸런스 착용시 보행의 생체역학적 분석**. 미간행 박사학위논문. 경북 대학교.

김용운, 신인식 (2005). **The changes of gait patterns on the curved surface outsole**. 서울 국제 학술 대회.

오동재, 이성재, 김현동 (2006). 갱년기 골다공증 여성을 위한 생체 기능성 보행화의 사업화. **바이오산업화 기술개발 사업(의료기기 기술개발 사업) 보고서**, 보건 복지부.

옥영주, 최지희 (2000). 인간-보행 동작과 신발 디자인 연구. **경성대학교 논문집**, 21(1). 61-73.

이세용, 김승재, 김로빈(2002). 보행시 최대 회내에 영향을 미치는 발의 해부학적 특성, **한국사회체육학회지.**

이연종 (1997). **주행 시 체중에 따른 운동화 중저 경도의 차이가 충격 흡수와 후족 제어에 미치는 영향**. 미간행 박사학위논문. 한국체육대학교.

정철수, 문영진 (1999). 조깅 시 부상방지를 위한 신발 중저의 경도 및 높이에 대한 연구. **서울대학교 사범대학 체육연구소 논집**, 20, 19-27.

채원식 (2005). 롤러 신발과 조깅 슈즈 신발 착용 후 보행 시 지면반력의 형태 비교 분석. **한국운동역학회지**, 16(1), 101-108.

최규정 (2003). **일반 운동화와 mBT 보행 신발 착용에 따른 보행 동작의 운동역학적 비교 분석**. 미간행 박사학위논문. 성균관대학교 .

Brown, D., Wertsch, J. J., Harris, G. F., Klein, J., & Janisse, D. (2004). Effect of rocker soles on plantar pressures. *Archives of physical Medicine and Rehabilitation*, 85(1), 81-86.

Nigg, B. M., Ferber, R., & Gormley, T. (2004). *Effect of an Unstable Shoe Construction on Lower Extremity Gait Characteristics*, Human Performance Laboratory, University of Calgary, Canada.

Nigg, B. M., Stefanyshyn, D., Cole, G., & Boyer, K. (2005). *Footwear research-past, present and future*. Proceedings. of the 7th symposium on Footwear Biomechanics. Cleverland, OH, USA.

"rocker-bottom sole". Retrieved October 20, 2005, from http://customfootwear.com/rocker.html.

Stewart, L. (2005). *In-shoe pressure distribution in MBT*

shoes versus flat-bottomed training shoes: A preliminary study. Department of orthopaedic surgery. SSC4 report.

Tomas C. Michaud(1997). *Foot orthoses and other Forms of conservative Foot Care*. Foot Press

Vernon, T., Wheat, J., Naik, R., & Pettit, G. (2004). *Changes in gait characteristics of a normal, healthy population due to an unstable shoe construction*. The Centre for Sport and Exercise Science. Sheffield Hallam University.

투 고 일 : 7월 31일
심 사 일 : 8월 6일
심사완료일 : 9월 20일