

The Changes in Ground Reaction Force and the Long-term Comfort during Walking by Wearing Modified Hardness of the Insole in the Areas of Fore-foot and Rear-foot

Sihyun Ryu¹, Sang-Kyoon Park²

¹Department of Taekwondo, Korea National Sport University, Seoul, 05541

²Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, 05541

전족과 후족의 경도 조절된 인솔 착용에 따른 보행 시 지면반력과 장시간 착화감의 변화

류시현¹, 박상균²

¹한국체육대학교 태권도학과

²한국체육대학교 모션이노베이션 센터

Corresponding Author

Sang-Kyoon Park
Motion Innovation Center, Korea National
Sport University, Seoul, 05541
Email : spark@knsu.ac.kr

Received : January 14, 2021

Revised : February 09, 2021

Accepted : February 19, 2021

Objective: The aim of this study was to investigate the changes in ground reaction force and long term comfort by wearing hardness modified insole on the areas of fore-foot and rear-foot during walking.

Background: Proper adjustment of hardness of the insole based on the function of the foot during walking would be beneficial for reducing the magnitude of the impact and improving comfort perception. Furthermore, investigating the effect of hardness modified insole on the levels of comfort during long-term comfort test may be necessary for further application.

Method: Seventeen healthy male adults (age: 22.9±1.8 years, body weight: 73.1±8.0kg, height: 174.9±3.7cm) participated in the walking experiment and five healthy male adults from walking test (age: 29.4±5.2 years, body weight: 79.0±6.7kg, height: 175.2±1.8cm) participated in the long-term comfort test. Four insole conditions (hard hardness insole, [HI], medium hardness insole, [MI], low hardness insole, [LI], and basic insole, [BI]) in a 270mm walking shoe were applied to conduct the test. The data was collected during walking at a speed of 1.3m/s and 1.7m/s on an instrumented treadmill (Bertec, USA). Ground reaction force variables were the vertical impulse (VIM), vertical impact force (VIF), peak vertical ground reaction force (PVGRF), vertical loading rate (VLR), braking impulse (BIM), and propulsion impulse (PIM). Comfort variables were the width, cushioning, comfort, and foreignness.

Results: The VIM and PVGRF were greater for the hardness modified insole (HI, MI & LI) compared with the BI during walking of 1.7m/s ($p<.05$). The VIF and VLR were statistically smaller for the hardness modified insole (HI, MI & LI) compared with the BI during walking of 1.3m/s and 1.7m/s ($p<.05$). The PIM was greater for the hardness modified insole (HI, MI & LI) compared with the BI during walking of 1.3m/s and 1.7m/s ($p<.05$). The overall cushioning was statistically greater for the hardness modified insole (MI & LI) compared with the BI.

Conclusion: It was concluded that the hardness modified insole (HI, MI & LI) on the area of fore-foot and rear-foot may be more effective in the impact absorption and the propulsion compared with the BI during walking.

Application: It is necessary to apply modified hardness of the insole to various sports movements. Future study would be warrant to consider different hardness and height in the area of arch support for a better stability and the comfort of lower extremities.

Keywords: Hardness, Insole, Impact absorption, Propulsion, Comfort

1. Introduction

신발의 인솔(insole)은 일반적으로 발과 형태학적 접촉상태를 향상 시키며, 보행 시 수직 충격력(vertical impact force, VIF)과 수직 부하율(vertical loading rate, VLR)을 감소시켜 하지 관절을 보호하고 체중을 분산시키는 효과를 기대한다(Chan et al., 2018; Marshall et al., 2000). 이에 인솔은 다양한 하지 근골격계 질환에 대한 예방과 치료, 중재의 역할로 활용되고 있다(Bennell et al., 2011; Collins et al., 2009; Snyder et al., 2009). 그 동안 인솔의 효과를 검증한 선행연구(Chae and Jung, 2015; Chae et al., 2012; Eun et al., 2007; Garner et al., 1988; Jeong and Hah, 2004; Jin and Shin, 2007; Kim et al., 2010; Lee et al., 2011; Park, 2010; Park et al., 2011; Shin and Jin, 2006)는 인솔 전체의 소재 변화를 통하여 충격 흡수 기전을 확인하고 검증해왔다.

보행 과정을 살펴보면, 후족 부위로 착지 순간 충격을 완화하고, 중족 부위로 체중을 지지하며, 전족 부위로 효율적인 추진이 이루어진다(Ryu et al., 2018). 이렇듯, 보행에서 발바닥 부위별 해부학적 기능이 다르게 나타난다는 점에서 Ryu et al. (2018)은 발바닥 부위에 따른 인솔의 소재와 경도 변화를 강조하였으며, 부위별 인솔의 변화가 착화감에 긍정적인 효과를 가져다 준다고 보고하였다. 또한, 장시간 착용하는 군화의 인솔을 부위별로 기능(후족: 충격 흡수 패드, 아치: 탄성 소재)을 다르게 제작하여 그 효과를 검증한 연구(Lullini et al., 2020)에서도 보행 시 발바닥 부위별 족저압력이 감소되었다. 따라서 발바닥 부위별 주요 기능에 따라 인솔 내에서도 다양한 경도와 소재 변화가 요구된다. 위에서 언급한 선행연구(Ryu et al., 2018; Lullini et al., 2020)는 발바닥 부위별 기능에 따라 다양한 소재와 경도 차이를 적용하였다는 점에서 가치가 있으나 일체형 인솔을 사용하고 그 효과를 검증함에 따라 사람마다 다른 발 치수와 쿠션에 대한 선호도를 선택적으로 고려하기 어렵다. 이 한계점을 보완하는데 후족 부위의 충격 흡수와 중족 부위의 지지, 전족 부위의 추진에 용이하도록 부위별 일정한 치수와 경도 조절이 가능한 조립 형태의 인솔을 개발하고 보행 시 그 효과를 검증할 필요가 있다(Ryu and Park, 2020).

최근의 연구에서 달리기(2.7m/s & 3.3m/s) 시 부위별 다른 경도로 조립 가능한 인솔이 충격 흡수 기능과 착화감에 미치는 효과를 살펴본 연구(Ryu and Park, 2020)에서 수직 충격에 대한 VLR을 감소시키는데 효과적이라고 보고되었으나 착화감 조사에서는 인솔의 이물감이 크게 나타나 부정적인 평가가 확인되었다. 위 선행연구(Ryu and Park, 2020)에서의 조립 인솔 효과가 충격 흡수 기능과 착화감이 상반된 결과를 보이고 있는데, 이것은 조립 인솔의 두께가 일반 인솔에 비하여 두껍다는 특성을 고려하여 충분한 적응시간이 요구되었음에도 불구하고 단 시간(약 30분) 착용으로 인한 착화감 조사로 나타난 결과라 언급하고 있다. 따라서 달리기의 충격 흡수에 효과적인 경도 조절이 가능한 조립 인솔을 보행에도 적용해볼 가치가 있다고 판단된다. 보행이 일상생활 전반에 걸쳐 이동수단으로 이루어진다는 점에서 단 시간(약 1시간 이내) 보행을 통하여 인솔의 착화감을 조사하였던 선행연구(Mundermann et al., 2001; Ryu et al., 2018; Ryu and Park, 2020)에 비하여 일상생활이 포함된 장시간 착화감 조사가 병행되어야 할 필요가 있다.

이에 본 연구의 목적은 발바닥 부위별 일정한 크기로 제작되어 조립이 가능한 인솔을 활용하여 전족과 후족 부위의 경도 조절이 보행 시 지면반력의 충격 흡수와 추진 기능 및 장시간 착화감에 미치는 영향을 살펴보는 것이다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구에 20대 남자 17명(age: 22.9 ± 1.8 years, height: 174.9 ± 3.7 cm, body weight: 73.1 ± 8.0 kg)이 보행 실험에 참여하였으며, 20~30대 성인 남자 5명(age: 29.4 ± 5.2 years, height: 175.2 ± 1.8 cm, body weight: 79.0 ± 6.7 kg)이 장시간 착화감 조사에 참여하였다. 본 연구는 K대학교 생명윤리 심의 승인(과제관리번호: 1263-201909-HR-042-01)을 받아 진행되었으며, 모든 대상자가 자발적 동의로 연구에 참여하였으며, 크기가 270mm인 동일한 신발(Questar Ride, Adidas)로 통일하였다.

2.2 Insole characteristics

본 연구에서 사용된 전, 후족의 경도 조절된 조립 인솔(제조사명: 엑스슈, 특허 등록번호: 10-1995532)은 Ryu and Park (2020)의 달리기 연구에서 사용된 제품과 동일하며, 세부 정보는 (Figure 1)과 같다. 조립 인솔 크기는 길이가 267mm, 너비가 90mm이며, 두께는 전족이 3mm, 후족이 9mm, 아치가 17mm이다. 아치 부위의 인솔은 동일한 경도 Asker-C 40으로 통일하여 전족과 후족 부위의 경도 간의 충격 흡수 기능과 추진 기능, 착화감에 대한 차이를 살펴보았다. 또한, 고경도 인솔(High hardness insole, HI)의 경도가 Asker-C 50, 중경도 인솔(Medium hardness insole, MI)의 경도가 Asker-C 40, 저경도 인솔(Low hardness insole, LI)의 경도가 Asker-C 30이다. 이때, 조립 인솔과 비교를 위하여 신발에 내장된 일반 인솔(Basic insole, BI)도 본 연구에 포함되었으며, 길이는 267mm, 너비는 83mm, 두께는 3mm, 그리고 경도는 20이다.



Figure 1. Experimental insole (Ryu and Park, 2020)

2.3 Experimental procedure

인솔 조립 순서와 유형을 대상자가 인지하지 못하도록 무작위 방법으로 진행하였다. Treadmill (Instrumented treadmill, Bertec, USA) 위에서 자연스러운 보행을 유도하기 위하여 신발을 착용한 후, 준비운동과 충분한 적응시간을 주었다. 이후 Treadmill 위에서 (Figure 2)와 같이 보통 속도(1.3m/s) 보행과 빠른 속도(1.7m/s) 보행을 실시하였으며(Ryu et al., 2018), 30 stride를 촬영하여 보행의 일정한 패턴을 보이는 10 stride를 분석하였다. 지면반력기의 자료 수집 속도는 1,000Hz로 설정하였다.

조립 인솔에 대한 장시간 착화감 조사에 참여한 대상자는 인솔마다 3일씩 모든 일상생활 중 착용하도록 하였으며(Penny et al., 2018), 매일 1시간씩 보행을 실시하도록 유도하였다. 착화감 검사는 3일 간 인솔 착용한 직후, Visual analogue scale (VAS) 설문 조사로 실시하였으며(Mundermann et al., 2001; Mundermann et al., 2002; Mundermann et al., 2004; Ryu, et al., 2018), 설문 문항은 인솔에 대한 이물감을 비롯하여 전족의 너비와 쿠션, 착화감, 후족의 너비와 쿠션, 착화감, 전반적인 쿠션과 착화감으로 구성하였다.



Figure 2. Walking (1.3m/s & 1.7m/s) on treadmill

2.4 Data processing

본 연구에서는 Qualisys Track Manager software (Qualisys, Sweden)와 Matlab R2009b software (The Mathworks, USA)를 사용하여 충격 흡수 및 추진 기능 관련 변인을 산출하였다. 자료 수집 과정에서 발생하는 오류(noise)는 Butterworth 4th order low-pass filter로 smoothing 하였고 차단주파수(cut-off frequency)는 50Hz로 설정하였다. 또한, 신발에 내장된 조립 인솔이 보행 중 충격 흡수 및 추진 기능에 미치는 효과를 살펴보기 위하여 체중을 지지하는 지지구간을 분석하였다.

2.5 Variables

본 연구에서 분석한 변인은 선행연구(Nigg, 2010; Ryu and Park, 2020)를 바탕으로 (Figure 3)과 같이 산출되었다. 우선, 수직 충격량

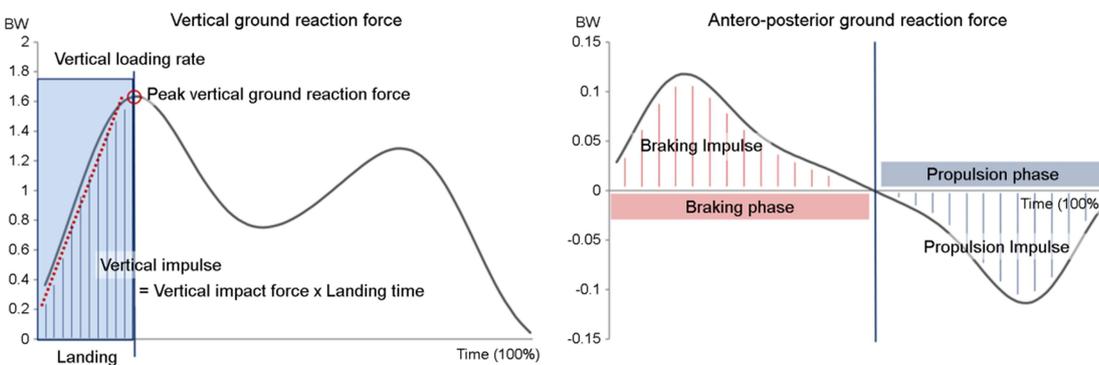


Figure 3. Vertical impulse (VIM), vertical impact force (VIF), peak vertical ground reaction force (PVGRF) & vertical loading rate of the vertical ground reaction force (left), and braking impulse (BIM) & propulsion impulse (PIM) of the antero-posterior ground reaction force (right)

(Vertical impulse, VIM)은 뒤꿈치가 착지한 순간부터 수직 지면반력의 초기 최대값(Peak vertical ground reaction force, PVGRF)이 발생 되는 순간까지를 착지구간으로 정의하여 이때의 수직 지면반력을 적분하여 VIM를 산출하였으며, VIM를 착지시간으로 나누어 착지구간의 VIF를 산출하였다. 또한, PVGRF를 착지시간으로 나누어 그 기울기를 인체에 전달되는 VLR로 정의하여 산출하였다. 그리고 전후 지면반력에서 방향이 바뀌는 순간을 기준으로 제동구간과 추진구간으로 정의하여 각각을 적분한 값을 제동 충격량(Braking impulse, BIM)과 추진 충격량(Propulsion impulse, PIM)을 산출하였다. 모든 지면반력 자료는 정지 상태의 체중(Body weight, BW)을 1로 표준화하여 대상자 간의 오차를 제거하였다.

2.6 Statistical analysis

보행 시 경도 조절이 가능한 조립 인솔과 보행 속도 간의 차이를 살펴보기 위하여 반복측정변량분석(two-way repeated measure ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석은 Fisher의 최소 유의차 검증 방법(least significant difference, LSD)을 사용하였다. 이때, SPSS Ver. 18.0 software (IBM, USA)를 사용하였으며, 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

3. Results

3.1 Change of impact variables according to hardness of the insole and walking speed

전족과 후족 부위의 인솔 경도와 보행 속도 간에 충격 및 추진 관련 변인을 살펴보면(Table 1), 모든 변인에서 상호작용 효과는 나타나지 않았다. VIM의 경우, 인솔 간 차이에서 $p=.032$, $\eta_p^2=.098$, $power=.662$ 로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 HI가 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. 이때, 빠른 보행(1.7m/s) 내에서 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. VIF의 경우, 보행 속도 간 차이에서 $p=.001$, $\eta_p^2=.314$, $power=.960$ 으로, 인솔 간 차이에서는 $p=.000$, $\eta_p^2=.281$, $power=1.000$ 으로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 작게 나타났다. 이때, 모든 인솔(HI, MI, LI, & BI) 내에서 빠른 보행이 보통 보행에 비하여 통계적으로 크게 나타났으며, 모든 속도(1.3m/s & 1.7m/s) 내에서도 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 작게 나타났다. PVGRF의 경우, 보행 속도 간 차이에서 $p=.016$, $\eta_p^2=.168$, $power=.694$ 로 통계적인 차이가 나타났다. 이때, 모든 인솔(HI, MI, LI, & BI) 내에서 빠른 보행이 보통 보행에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. VLR의 경우, 보행 속도 간 차이에서 $p=.000$, $\eta_p^2=.539$, $power=1.000$ 으로, 인솔 간 차이에서는 $p=.000$, $\eta_p^2=.181$, $power=.977$ 로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 작게 나타났다. 이때, 모든 인솔(HI, MI, LI, & BI) 내에서 빠른 보행이 보통 보행에 비하여 통계적으로 크게 나타났으며, 모든 속도(1.3m/s & 1.7m/s) 내에서도 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 작게 나타났다.

Table 1. Descriptive information for impact variables at the stance phase during walking

Variables	Walking speed	4 Insole conditions				Walking speed effect			Insole effect			Interaction		
		HI ^a	MI ^b	LI ^c	BI ^d	p	η^2	Power	p	η^2	Power	p	η^2	Power
VIM (BW _s)	1.3m/s	0.127 ±0.022	0.125 ±0.021	0.126 ±0.022	0.125 ±0.022	.910	.000	.051	.032 a>d	.098	.662	.472	.024	.187
	1.7m/s	0.128 ±0.020	0.127 ±0.019	0.127 ±0.020	0.125 ±0.021 ^{HML}									
VIF (BW)	1.3m/s	0.735 ±0.104	0.735 ±0.103	0.728 ±0.100	0.762 ±0.118 ^{HML}	.001	.314	.960	.000 d>a, b, c	.281	1.000	.389	.031	.269
	1.7m/s	0.889 ±0.122 [*]	0.884 ±0.126 [*]	0.887 ±0.119 [*]	0.905 ±0.135 ^{HML}									

Table 1. Descriptive information for impact variables at the stance phase during walking (Continued)

Variables	Walking speed	4 Insole conditions				Walking speed effect			Insole effect			Interaction		
		HI ^a	MI ^b	LI ^c	BI ^d	<i>p</i>	η^2	Power	<i>p</i>	η^2	Power	<i>p</i>	η^2	Power
PVGRF (BW)	1.3m/s	1.099 ±0.191	1.103 ±0.185	1.099 ±0.189	1.096 ±0.193	.016	.168	.694	.094	.064	.542	.369	.032	.280
	1.7m/s	1.271 ±0.191*	1.267 ±0.188*	1.268 ±0.186*	1.249 ±0.195*									
VLR (BW/s)	1.3m/s	6.445 ±0.996	6.532 ±0.981	6.440 ±0.917	6.741 ±1.240 ^{HML}	.000	.539	1.000	.000 d>a, b, c	.181	.977	.770	.012	.122
	1.7m/s	8.829 ±1.215*	8.817 ±1.300*	8.877 ±1.190*	9.163 ±1.421 ^{HML}									
BIM (BW/s)	1.3m/s	0.014 ±0.003	0.014 ±0.003	0.014 ±0.003	0.013 ±0.003	.001	.280	.928	.008 a, b, c>d	.115	.840	.928	.005	.077
	1.7m/s	0.018 ±0.003*	0.018 ±0.003*	0.018 ±0.003*	0.017 ±0.004 ^{HML}									
PIM (BW/s)	1.3m/s	0.022 ±0.004	0.022 ±0.004	0.022 ±0.004	0.021 ±0.005 ^{HML}	.138	.067	.314	.000 a, b, c>d	.213	.993	.775	.011	.120
	1.7m/s	0.024 ±0.004	0.024 ±0.004	0.024 ±0.004	0.023 ±0.004 ^{HML}									

HI: Hard hardness insole, MI: Medium hardness insole, LI: Low hardness insole, BI: basic insole, VIM: Vertical impulse, VIF: Vertical impact force, PVGRF: Peak vertical ground reaction force, VLR: Vertical loading rate, BIM: Breaking impulse, PIM: Propulsion impulse
 *indicates significant differences between walking speeds, H indicates significant differences from HI, M indicates significant differences from MI, L indicates significant differences from LI

3.2 Change of braking and propulsion force according to hardness of the insole and walking speed

BIM의 경우, 보행 속도 간 차이에서 $p=.001$, $\eta_p^2=.280$, power=.928로, 인솔 간 차이에서는 $p=.008$, $\eta_p^2=.115$, power=.840으로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. 이때, 모든 인솔(HI, MI, LI, & BI) 내에서 빠른 보행이 보통 보행에 비하여 통계적으로 크게 나타났으며, 빠른 보행(1.7m/s) 내에서 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. PIM의 경우, 인솔 간 차이에서 $p=.000$, $\eta_p^2=.213$, power=.993로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. 이때, 모든 속도(1.3m/s & 1.7m/s) 내에서 조립 인솔(HI, MI, & LI)이 BI에 비하여 통계적으로 크게 나타났다.

3.3 Change of long-term comfort according to hardness of the insole and walking speed

전족과 후족의 경도 조절이 가능한 인솔들을 각 3일 간 착용하고 조사한 착화감 결과는 (Figure 4, 5)와 같다. 전족과 후족에 대한 너비, 쿠션, 편안함은 인솔 간에 통계적인 차이가 없었다. 그러나 전반적인 쿠션에 대한 인솔 간 차이는 $p=.049$, $\eta_p^2=.468$, power=.631로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 MI와 LI가 BI에 비하여 통계적으로 높게 나타났다.

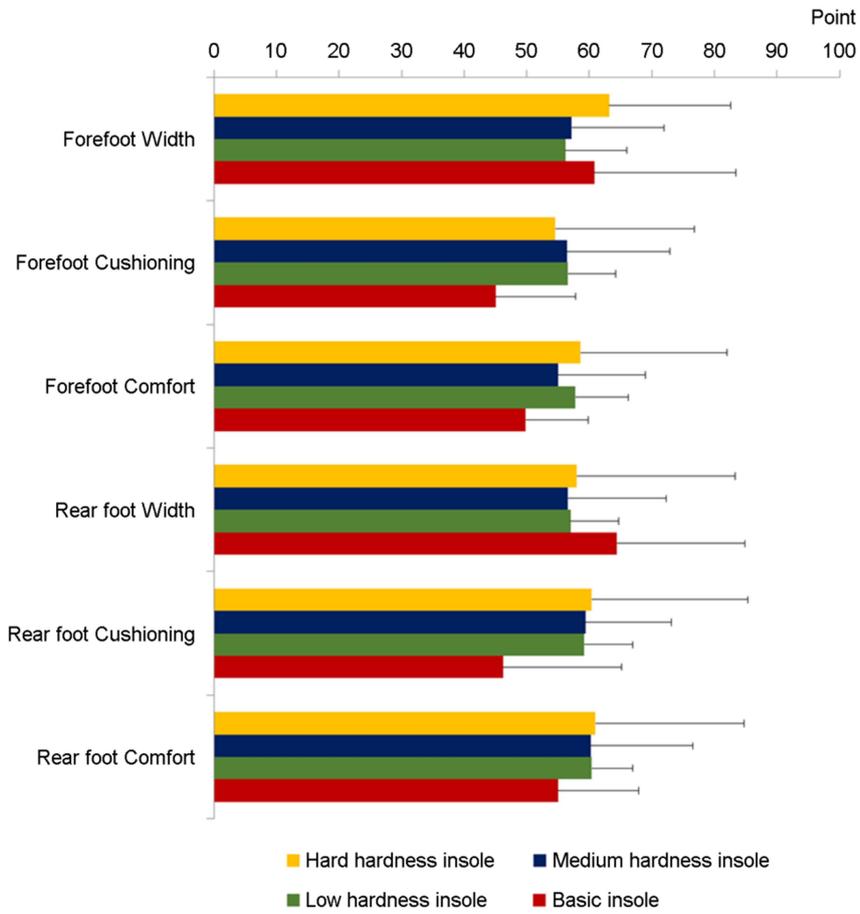


Figure 4. Long-term comfort of forefoot and rear foot

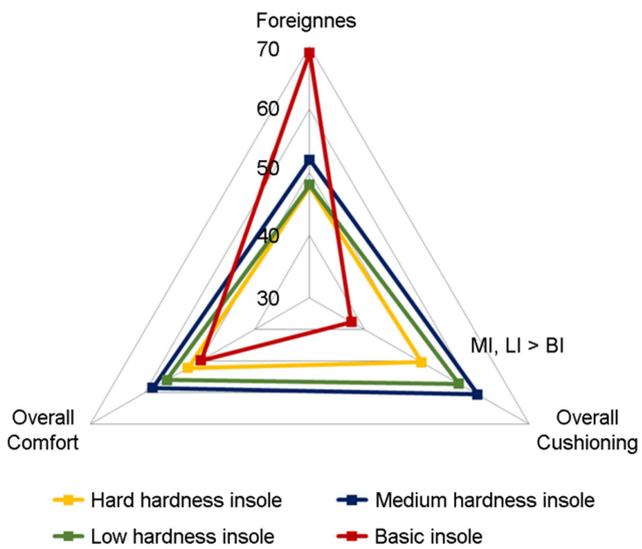


Figure 5. Long-term overall comfort and foreignness

4. Discussion

본 연구는 발바닥 부위별 일정한 크기로 제작되어 전족과 후족 부위 인솔의 경도 조절이 보행 시 충격 흡수 및 추진 기능, 장시간 착화감에 미치는 효과를 살펴보고자 하였다. 본 연구는 Ryu and Park (2020)의 달리기 연구에서 충격 흡수 기능이 긍정적으로 평가된 다중 경도 조립 인솔을 보행 및 일상생활에 적용하기 위한 후속 연구로, 보통 속도와 빠른 속도의 보행 시 충격 흡수 및 추진 기능에 미치는 효과를 분석하였으며, 위 연구(Ryu and Park, 2020) 결과 중 단시간 착용으로 인한 부정적 착화감 평가(이물감)를 재평가하고자 장시간 착용에 따른 착화감을 조사하였다.

충격 흡수 기능을 살펴보면, 모든 속도의 보행(1.3m/s & 1.7m/s) 시 전족과 후족의 경도 조절 인솔(HI, MI, & LI)에서 일반 인솔(BI)에 비하여 수직 충격력(VIF)과 수직 부하율(VLR)이 작게 나타났다. 이것은 뒤꿈치 부위의 소재를 변화시킨 인솔을 착용한 보행 연구(Woo et al., 2015)에서 후족 부위의 족저압력이 감소되었다는 결과와 발바닥 부위별 소재를 변화시킨 군화 인솔(후족 부위: 충격 흡수 소재, 아치 부위: 탄성 소재)을 검증한 연구(Lullini et al., 2020)에서 후족 부위의 족저압력이 감소되었다는 결과와 유사하다. 특히, 신발 미드솔의 경도 차이에 따른 착지동작의 충격을 살펴본 연구(Lam et al., 2019)에서는 비록 동작은 다르지만, 경도가 낮을수록(i.e. 부드러운 소재) PVGRF는 증가하였으나 VLR은 감소한 결과가 본 연구와 일치한다. 이렇듯, 후족 부위의 경도 변화가 보행에서도 충격 흡수에 긍정적인 역할을 하는 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 후족의 경도 차이(HI vs MI vs LI) 간에는 충격 흡수 기능의 차이가 발견되지 않았다. 이것은 다중 경도 조립 인솔을 달리기에서 검증한 연구(Ryu and Park, 2020)와 인솔의 발바닥 부위별 소재와 경도 변화가 보행 시 충격 흡수에 미치는 효과가 없었던 연구(Ryu et al., 2018)와도 일치하는 결과이다. 최근 신발의 기계적 특성과 달리기의 충격과 하지 관절 움직임과의 관련성을 살펴본 연구(Ha et al., 2020)에서는 신발 뒤꿈치 부위의 두께와 충격 흡수 기능 간 높은 상관관계($r=.703$)를 언급하였으며, 뒤꿈치 부위가 두꺼울수록 PVGRF가 증가($r=.898$)하였으나 VLR은 감소($r=-.903$)하였다고 보고하였다. 이를 종합하면, 본 연구의 경도 조절 인솔(HI, MI, & LI)의 두께(9mm)가 일반 인솔(BI)의 두께(3mm)에 비하여 두껍다는 점에서 경도 조절 인솔의 충격 흡수 기능이 인솔의 두께에 기인한 것으로 볼 수도 있으므로 향후 이에 대한 세밀한 추가 연구가 요구되며, 인솔의 경도 간의 차이를 보다 과학한 인체 움직임에서 살펴볼 필요가 있다.

또한, 수직 충격량(VIM)과 제동 충격량(BIM)은 빠른 보행(1.7m/s)에서 경도 조절 인솔(HI, MI, & LI)이 일반 인솔(BI)에 비하여 크게 나타났다. 이것은 위에서 언급한 것과 같이 일반 인솔(BI)에 비하여 경도 조절 인솔(HI, MI, & LI)이 두꺼워서 수직 지면반력이 초기 피크(PVGRF)까지 도달하는데 시간 지연이 발생된 결과라 판단된다. 그리고 전후 지면반력의 추진 충격량(PIM)은 모든 속도의 보행(1.3m/s & 1.7m/s) 시 경도 조절 인솔(HI, MI, & LI)에서 일반 인솔(BI)에 비하여 크게 나타났다. 충격량은 운동량의 변화량을 의미하며(Hamill and Ryu, 2003), 추진 충격량은 지면에 가한 힘에 대한 반작용력의 총량이라는 점에서 조립 인솔이 전방으로 추진하는데 긍정적인 추진 역할을 수행한다고 판단된다.

마지막으로 착화감 조사 결과에서 중, 저경도 인솔(MI & LI)이 일반 인솔(BI)에 비하여 전반적인 쿠셔닝이 높게 평가되었다. 이것은 운동역학적 측면에서 살펴본 조립 인솔의 긍정적인 충격 흡수 기능과 일맥상통한 결과이며, 역학적 충격 흡수 기전과 사용자가 느끼는 쿠셔닝 간에 관련성이 있는 것으로 판단된다. 한편, 조립 인솔을 달리기에서 검증한 연구(Ryu and Park, 2020)에서 일반 인솔에 비하여 이물감을 크게 느끼는 부정적 평가가 보고되었다. 이에 본 연구에서 경도 조절 인솔을 각 3일씩 일상생활에서 항상 착용하도록 하였으며, 하루에 1시간씩 보행을 실시하도록 하였다. 그 결과, 인솔 간에 이물감에 대한 차이는 없었으며, 이것은 신발 미드솔의 경도 변화에 따른 착화감을 살펴본 연구(Lam et al., 2019)에서 시간 경과 후 전반적인 편안함이 점점 좋아지는 결과가 보고된 것과 같이 일반 인솔에 비하여 두께도 두껍고 부위별 조립 형태로 이루어진다는 점에서 부위별 경도 조절 인솔은 다소 적응시간(최소 3일)이 필요할 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서 생체역학적 변인들의 작은 차이가 실제 착화감에 미치는 영향을 보다 객관화하기 위해서는 착용 기간과 분석 변인의 연관성을 보완해야 하겠다. 또한, 본 연구에서의 착화감 평가는 적은 사례 수(small sample size, $n=5$)로 진행되었다는 점에서 향후 연구에서는 더 많은 참여자에 대한 결과를 바탕으로 일반화 과정이 필요하다.

5. Conclusion

본 연구에서는 보행 시 전, 후족 경도 조절 인솔이 충격 흡수 및 추진 기능, 장시간 착화감에 미치는 효과를 살펴보고자 하였다. 우선, 경도 조절 인솔에서 일반 인솔에 비하여 보행 시 수직 충격력과 수직 부하율은 약 3% 작게 나타났으며($p<.05$), 추진 충격량은 약 3.5%

크게 나타났다($p<.05$). 또한 장시간 착용 후 착화감을 조사한 결과, 중경도와 저경도 조립 인솔이 일반 인솔에 비하여 전반적인 쿠셔닝이 높게 평가되었다($p<.05$). 이 결과를 바탕으로 전, 후족 경도 조절 인솔은 보행 시 충격 감소와 추진 기능에 긍정적인 효과를 보였으며, 전반적인 쿠셔닝도 높게 평가되었다. 향후 연구에서는 인솔의 경도 간의 차이를 보다 다양한 스포츠 동작에서 적용할 필요가 있으며, 아치 부위 인솔의 경도 및 높이 변화에 따른 착화감과 하지 관절의 안정성 등에 미치는 영향을 살펴보기를 기대한다.

References

- Bennell, K.L., Bowles, K.A., Payne, C., Cicuttini, F., Williamson, E., Forbes, A., Hanna, F., Davies-Tuck, M., Harris, A. and Hinman, R.S., Lateral wedge insoles for medial knee osteoarthritis: 12 month randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 342, d2912, 2011.
- Chae, W.S. and Jung, J.H., Effects of wearing carbon nanotube-based insole on resultant joint moment and muscle activity of the lower extremity during drop landing. *Korean Journal of Sport Science*, 26(3), 479-487, 2015.
- Chae, W.S., Jung, J.H. and Lee, H.S., Biomechanical analysis of wearing carbon nanotube-based insole during drop landing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(4), 429-435, 2012.
- Collins, N., Crossley, K., Beller, E., Darnell, R., McPoil, T. and Vicenzino, B., Foot orthoses and physiotherapy in the treatment of patellofemoral pain syndrome: randomised clinical trial. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 163-168, 2009.
- Chan, Z.Y.S., Zhang, J.H., Au, I.P.H., An, W.W., Shum, G.L.K., Ng, G.Y. and Cheung, R.T.H., Gait retraining for the reduction of injury occurrence in novice distance runners: 1-year follow-up of a randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 46(2), 388-395, 2018.
- Eun, S.D., Yu, Y.J. and Shin, H.S., The effects of gel-type insole on patients with knee osteoarthritis during gait. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(3), 181-188, 2007.
- Garner, L.I., Dziados, J.E. and Jone, B.H., Prevention of lower extremity stress fractures; A controlled trial of a shock absorbent insole. *American Journal of Public Health*, 78, 1563-1567, 1988.
- Ha, S., Ryu, S. and Gil, H., Do the mechanical properties of midsole affect body shock and stabilization for lower extremity during running?. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(2), 99-108, 2020.
- Hamill, J. and Ryu, J.S., *Experiment in Sport Biomechanics*. Daehanmedia. 2003.
- Jeong, B.Y. and Hah, H.B., The Change of the Foot Pressure According to the Material and Height of the Shoe Insole during Exercises. *Korea Sport Research*, 15(1), 911-924, 2004.
- Jin, Y.W. and Shin, S.H., The biomechanical comparison for running shoes according to the difference of insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 51-59, 2007.
- Kim, E.H., Cho, H.K., Jung, T.W., Kim, S.S. and Chung, J.W., The biomechanical evaluation of functional insoles. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 345-353, 2010.
- Lam, W.K., Liu, H., Wu, G.Q., Liu, Z.L. and Sun, W., Effect of shoe wearing time and midsole hardness on ground reaction forces,

- ankle stability and perceived comfort in basketball landing. *Journal of Sports Science*, 37(20), 2347-2355, 2019.
- Lee, J.S., Kim, D.H., Jung, B.W., Han, D.W. and Park, D.M., The effects of the height and the quality of the material of popular heel-up insole on the mean plantar foot pressure during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(4), 479-486, 2011.
- Lullini, G., Giangrande, A., Caravaggi, P., Leardini, A. and Berti, L., Functional evaluation of a shock absorbing insole during military training in a group of soldiers: a pilot study. *Military Medicine*, 185(5-6), e643-e648, 2020.
- Marshall, R.N., Hreljac, A. and Hume, P.A., Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1635-1641, 2000.
- Mundermann, A., Stefanyshyn, D.J. and Nigg, B.M., Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1939-1945, 2001.
- Mundermann, A., Nigg, B.M. and Stefanyshyn, D.J., Development of reliable method to assess footwear comfort during running. *Gait and Posture*, 16, 38-45, 2002.
- Mundermann, A., Nigg, B.M., Humble, R.N. and Stefanyshyn, D.J., Consistent immediate effects of foot orthoses on comfort and lower extremity kinematics, kinetics, and muscle activity. *Journal of Applied Biomechanics*, 20, 71-84, 2004.
- Nigg, B.M., *Biomechanics of Sport Shoes*. University of Calgary. 2010.
- Park, J.Y., The analysis of muscle activities on the lower limb during wearing functional insole. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(3), 327-336, 2010.
- Park, S.B., Lee, K.D., Kim, D.W., Yoo, J.H. and Kim, K.H., Comparative analysis of foot pressure distribution by functional insole to be transformed and restored during walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(2), 231-241, 2011.
- Penny, J.Ø., Speedtsberg, M.B., Kallelose, T. and Bencke J., Can an off-the-rack orthotic stiletto alter pressure and comfort scores in the forefoot, arch and heel? *Ergonomics*, 61(8), 1130-1138, 2018.
- Ryu, S. and Park, S.K., The effects of assembling insole hardness on the impact absorption and the comfort during running. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 39(6), 539-548, 2020.
- Ryu, S., Gil, H., Kong, S., Choi, Y., Ryu, J., Yoon, S. and Park, S.K., The Effects of Insole Material and Hardness in Different Plantar Sites on the Comfort and Impact Absorption. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(4), 475-487, 2018.
- Shin, S.H. and Jin, Y.W., Biomechanical comparison analysis of popular insole and functional insole of running shoes. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(3), 9-18, 2006.
- Snyder, R.A., DeAngelis, J.P., Koester, M.C., Spindler, K.P. and Dunn, W.R., Does shoe insole modification prevent stress fractures? A systematic review. *HSS Journal*, 5, 92-98, 2009.
- Woo, J.H., Lee, J.S., Yang, J.O., Lee, B.J., Bae, K.H., Han, D.W., Park, S.M. and Bae, J.W., Analyses of plantar foot pressure according to insole types during treadmill gait. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 25(1), 113-122, 2015.

Author listings

Sihyun Ryu: hope222ysh@knsu.ac.kr

Highest degree: Ph. D

Position title: Lecturer and Researcher, Department of Taekwondo, Korea National Sport University, Seoul, Korea

Areas of interest: human locomotion, elite sports and injuries in biomechanics

Sang Kyoon Park: spark@knsu.ac.kr

Highest degree: Ph. D

Position title: Professor, Department of Physical Education, College of Sport Science of Korea National Sport University

Areas of interest: human locomotion, Biomechanics