JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(6): 539-548
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.6.539
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Effects of Assembling Insole Hardness on the Impact Absorption and the Comfort during Running

Sihyun Ryu[1], Sang-Kyoon Park[2]

[1]Department of Taekwondo, Korea National Sport University, Seoul, 05541
[2]Motion Innovation Center, Korea National Sport University, Seoul, 05541

조립 형태 인솔의 경도 변화가 달리기의 충격 흡수 기능과 착화감에 미치는 영향

류시현[1], 박상균[2]

[1]한국체육대학교 태권도학과
[2]한국체육대학교 모션이노베이션 센터

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

Received : September 18, 2020
Revised : November 13, 2020
Accepted : November 15, 2020

Copyright@2020 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of the study was to investigate the effects of assembling insole hardness (basic insole, [BI], hard hardness insole, [HI], medium hardness insole, [MI], and low hardness insole, [LI]) on the impact variables and the comfort during running.

Background: Foot size and shape vary according to gender and age, and the preferred cushioning varies each person. Therefore, an assembly type insole with different hardness is required depending on the functions of each plantar position.

Method: Twenty healthy male adults (age: 22.7±1.8 years, body weight: 72.5±7.7kg, height: 175.3±4.3cm) participated in this study. The data was collected during running at a speed of 2.7m/s and 3.3m/s on an instrumented treadmill (Bertec, USA). Biomechanical variables included the impulse (IM), impact force (IF), peak vertical ground reaction force (PVGRF), vertical loading rate (VLR), braking impulse (BIM), and propulsion impulse (PIM).

Results: The VLR was statistically smaller for the assembling insole (HI, MI & LI) compared with the BI during running at 2.7m/s (p<.05). The PVGRF was greater for the assembling insole (HI, MI & LI) compared with the BI during running at 3.3m/s (p<.05), however, the VLR was statistically smaller for the assembling insole (HI, MI & LI) compared with the BI (p<.05). The comforts (Forefoot, Rearfoot, and overall) were statistically lower for the HI compared with the BI, MI, and LI. The feeling foreignness was statistically higher for the assembling insole (HI, MI & LI) compared with the BI.

Conclusion: It was concluded that the assembling insole (HI, MI & LI) may be more effective in the impact absorption compared with the BI during running. However, using assembling insole with systematic changes in hardness may require an adaptation period. Therefore, future study would be necessary to investigate the biomechanical differences and their comfort perception with the changes in the insole hardness over a long period of time.

Application: Users' cushion preferences using a guideline for a custom assembly insole will be available in the footwear research and development.

Keywords: Assembling insole, Hardness, Impact absorption, Comfort

1. Introduction

달리기 시 지면으로부터 받게 되는 반복적인 충격이 하지 근 골격 상해의 주요 원인이라고 보고된다(Valiant et al., 1987). 따라서 달리는 과정 중 충격 완화와 하지 관절 안정화를 통하여 상해 위험 요인을 감소시키고 효율적인 달리기를 유도하는 전략이 중요하다고 하였다(Cook et al., 1990; Hume et al., 2008; Taunton et al., 2003; Yen et al., 2015). 그 동안 많은 연구들에서 달리기의 잠재적 상해 요인을 예방하거나 개선하기 위하여 신발과 인솔 등이 활용되고 있다(Kulmala et al., 2018; Lewinson et al., 2016).

특히, 인솔 전체의 소재를 변화시킨 기능성 인솔의 효과를 살펴본 연구(Shin and Jin, 2006)에서는 기능성 인솔이 일반 인솔에 비하여 달리기 시 수직 충격력과 수직 부하율을 감소시켰다고 보고되었다. 또한, 족저 근막염(plantar fasciitis)을 비롯한 경골 스트레스 증후군(tibial stress syndrome)과 슬개 대퇴 통증 증후군(patellofemoral pain syndrome)의 예방에 효과적이라고 알려진 Dr. Scholl (Bayer AG, Germany) Active Series (DSAS) 인솔에 대한 효과를 검증한 연구(Lewinson and Stefanyshyn, 2017)에서 달리는 동안 DSAS 인솔이 수직 부하율 감소시키는데 효과적이라고 보고되었다. 최근에는 후족 부위에 PVC 소재 충격 흡수 패드와 아치 부위에 아치를 지지하는 탄성 소재 인솔이 내장된 군화를 착용한 후, 달리기를 실시한 연구(Lullini et al., 2020)에서 부위별 족저압력이 감소되었다고 보고되었다. 이렇듯, 충격 감소와 관련한 인솔의 기능성 향상에 대한 긍정적 효과가 지속적으로 보고됨에 따라 런닝화 인솔의 중요성이 부각되고 있다.

그럼에도 불구하고 발 치수와 모양 및 형태는 성별과 연령에 따라 차이가 관찰되고(Krauss et al., 2008; Mauch et al., 2009) 선호하는 쿠션감도 사람마다 차이가 있다는 측면에서 일체형 인솔은 모든 사용자에게 적용시키기 한계가 있다. 또한, 발바닥 부위별 기능 차이에 따른 인솔 소재와 경도 변화가 중요하다고 강조한 연구(Ryu et al., 2018)에서도 볼 수 있듯이, 하나의 형태로 이루어진 인솔은 하나의 폼(Form)에서 정해진 부위에 다양한 경도와 소재를 적용하기 어려움이 있다. 이러한 점을 보완하는데 발바닥 부위별 기능에 따라 경도가 다른 조립 형태의 인솔이 용이할 것으로 예측된다.

본 연구에서는 부위별 같은 치수로 제작된 조립 형태 인솔이 달리기 시 충격 흡수 기능과 착화감에 미치는 효과를 살펴보고자 한다. 이를 통하여 조립 형태 인솔의 충격 흡수 기능과 착화감을 정량적으로 분석할 수 있으며, 나아가 개별 쿠션 선호도를 반영한 맞춤형 인솔 조립의 가능성을 확인할 수 있다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구 대상자는 20대 성인 남자 중 정형외과적 병력이 없고 신발 크기가 270mm인 20명(나이: 22.7±1.8세, 신장: 175.3±4.3cm, 체중: 72.5±7.7kg)으로 선정하였다. 본 연구는 K대학교 생명윤리위원회에서 생명윤리 심의에 대한 승인을 받았으며(과제관리번호: 1263-201909-HR-042-01, 승인번호: 20190919-50, 승인날짜: 2019.09.19), 모든 대상자는 자발적인 동의로 참여하였다.

2.2 Insole characteristics

본 연구에서 사용된 조립 인솔(특허 등록번호: 10-1995532)의 부분별 조각 형태와 조립 방법은 (Figure 1)과 같으며, 조립 인솔 세부 정보는 (Figure 2)와 같다. 우선, 일반 인솔은 런닝화에 내장된 기본적인 인솔이며, 길이는 267mm, 너비는 83mm, 전족과 후족, 아치의 두께는 3mm, 경도는 20이다. 고경도와 중경도, 저경도 인솔의 길이는 267mm, 너비는 90mm이며, 두께는 전족 부위 3mm, 후족 부위 9mm, 아치 부위 17mm이다. 인솔의 경도는 아치 부위를 동일한 경도로 통일하였으며, 전족과 후족 부위만 차이를 두었다. 이때, 런닝화에 내장된 기본 인솔의 경도가 보통 20이라는 것을 고려하여 저경도 인솔의 경도는 30, 중경도 인솔의 경도는 40, 고경도 인솔의 경도는 50으로 일정한 경도 차이를 두었다.

2.3 Experimental procedure

모든 대상자는 인솔 유형을 인지하지 못한 상황에서 참여하였으며, 착용 순서는 무작위 방법으로 진행하였다. 신발을 착용한 후, 자연

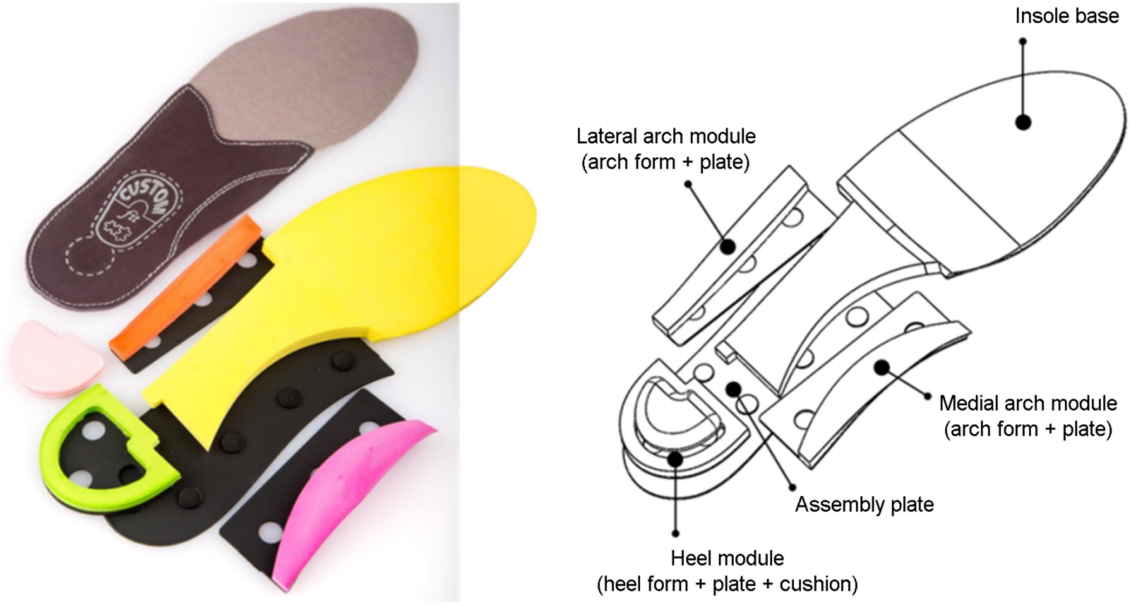

Figure 1. Assembling insole

Figure 2. Experimental insole

스러운 달리기를 유도하고 Treadmill (Instrumented treadmill, Bertec, USA)에서 적응하기 위해 충분한 준비운동을 실시하고 약 5분 간 가볍게 달리기를 실시하였다. 이후 각 대상자는 Treadmill 위에서 (Figure 3)과 같이 2.7m/s와 3.3m/s 속도로 달리기를 실시하였다(Lucas-Cuevas et al., 2017). 이때, 30 stride를 촬영하였으며, 달리기가 안정적으로 일정한 패턴을 보이는 20 stride에 대한 충격 관련 변인을 분석하였다. 촬영속도(sampling rate)는 카메라가 100Hz, 지면반력기가 1,000Hz로 설정하였다. 인솔의 착화감 조사는 각 인솔을 착용한 후 대상자가 인솔의 착화감에 집중할 수 있는 선호속도로 약 1km 가벼운 달리기를 실시한 후 Visual analogue scale (VAS)을 활용한 설문 조사를 실시하였으며(Mundermann et al., 2001; Mundermann et al., 2002; Mundermann et al., 2004), 설문 문항은 우선순위(First priority), 전족 너비(Forefoot Width)와 쿠션(Forefoot Cushioning), 편안함(Forefoot Comfort), 뒤축 너비(Rearfoot Width)와 쿠션(Rearfoot

Cushioning), 편안함(Rearfoot Comfort), 그리고 전체적인 인솔의 이물감(Foreignness)과 쿠션(Overall Cushioning), 편안함(Overall Comfort)으로 구성하였다. 설문은 항목별로 15cm 길이의 측정 바에 표기하는 방식으로 진행되었으며, 중간을 기준으로 오른쪽에 가까울수록 좋음 혹은 편함, 왼쪽에 가까울수록 나쁨 혹은 불편함을 의미한다(Ryu et al., 2018).

Figure 3. Running (2.7m/s & 3.3m/s) on treadmill

2.4 Data processing

본 연구에서는 충격 흡수 관련 변인을 산출을 위해 Qualisys Track Manager software (Qualisys, Sweden)와 Matlab R2009b software (The Mathworks, USA)를 사용하였다. 지면반력 자료 수집 과정에 발생한 오차(noise)는 Butterworth 4th order low-pass로 filtering하였으며, 차단주파수(cut-off frequency)는 50Hz로 설정하였다.

2.5 Analysis phase

조립 인솔의 경도 차이에 따른 충격 흡수 기능을 살펴보기 위하여 체중을 지지하는 구간을 분석하였으며, 오른 뒤꿈치가 지면에 닿는 순간(Right heel contact, HC)부터 오른 발끝이 지면에서 떨어지는 순간(Right toe off, TO)까지로 오른발 지지구간(Right stance phase)으로 설정하였다.

2.6 Variables

본 연구의 분석 변인은 (Figure 4)와 같다. 충격량(Impulse, IM)은 착지 순간부터 초기 피크 수직 지면반력(Peak vertical ground reaction force, PVGRF)이 발생되는 시점까지를 착지구간으로 간주하여 수직 지면반력을 적분하여 총 충격량을 산출하였으며, 이때, 소요시간으로 나누어 착지구간의 충격력(Impact force, IF)을 산출하였다. 초기 피크 수직 지면반력을 소요시간으로 나누어 최초 피크값까지의 기울기를 인체에 전달되는 수직 부하율(Vertical loading rate, VLR)로 정의하여 계산하였다. 또한, 전후 지면반력에서는 제동구간과 추진구간으로 구분하여 각각의 적분한 값을 제동 충격량(Braking impulse, BIM)과 추진 충격량(Propulsion impulse, PIM)으로 정의하였다. 모든 지면반력 자료는 체중(Body weight, BW)으로 표준화하여 대상자들 간의 체중으로 인한 차이를 제거하였다.

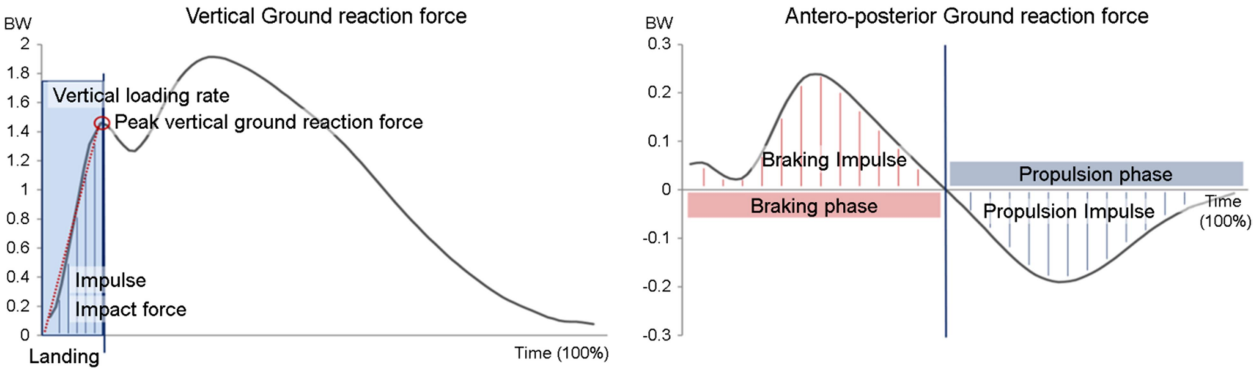

Figure 4. Impact variables of the vertical ground reaction force (left) and the antero-posterior ground reaction force (right)

2.7 Statistical analysis

조립 인솔의 경도 차이에 따른 충격 흡수 기능을 살펴보기 위하여 반복측정변량분석(repeated measure one-way ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석은 LSD 방법을 사용하였다. 이때, SPSS Ver. 18.0 software (IBM, USA)를 사용하였으며, 유의수준은 $\alpha = .05$로 설정하였다.

3. Results

우선, 2.7m/s 달리기의 충격 관련 변인을 살펴보면(Table 1), VLR은 일반 인솔이 25.527±3.585BW/s, 고경도 인솔이 22.910±4.275BW/s, 중경도 인솔이 23.498±4.243BW/s, 저경도 인솔이 22.571±3.817BW/s로 나타났으며, 인솔 간 차이는 F=7.566 (p=.000), 효과크기는 η_p^2=.285, 통계적 검증력은 power=.982로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 사후검증은 조립 인솔(고경도, 중경도, 저경도)이 일반 인솔에 비하여 통계적으로 작게 나타났다.

Table 1. Descriptive information for impact variables at the stance phase during 2.7m/s running

Variables	Basic insole[a]	H insole[b]	M insole[c]	L insole[d]	F	p	Post-hoc	Effect size (η_p^2)	Statistical power
IM (BWs)	0.104±0.056	0.118±0.057	0.110±0.062	0.118±0.056	1.973	.128	–	.094	.482
IF (BW)	1.180±0.295	1.173±0.311	1.133±0.307	1.171±0.310	.599	.618	–	.031	.167
PVGRF (BW)	1.841±0.419	1.919±0.419	1.903±0.430	1.910±0.426	.836	.480	–	.042	.220
VLR (BW/s)	25.527±3.585	22.910±4.275	23.498±4.243	22.571±3.817	7.566	.000	b, c, d < a	.285	.982
BIM (BWs)	0.005±0.002	0.004±0.002	0.004±0.002	0.005±0.002	.538	.658	–	.028	.154
PIM (BWs)	0.009±0.001	0.009±0.001	0.009±0.001	0.009±0.001	2.095	.111	–	.099	.508

H insole: Hard hardness insole, M insole: Medium hardness insole, L insole: Low hardness insole
IM: impulse, IF: impact force, PVGRF: peak vertical ground reaction force, VLR: vertical loading rate, BIM: braking impulse, PIM: propulsion impulse

다음으로, 3.3m/s 달리기의 충격 관련 변인을 살펴보면(Table 2), IM은 일반 인솔이 0.099±0.055BWs, 고경도 인솔이 0.107±0.063BWs, 중경도 인솔이 0.114±0.061BWs, 저경도 인솔이 0.110±0.058BWs로 나타났으며, 인솔 간 차이는 F=3.255 (p=.028), 효과크기는 η_p^2=.146, 통계적 검증력은 power=.718로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 사후검증은 중경도와 저경도 인솔이 일반 인솔에 비하여 통계적으로

크게 나타났다. PVGRF는 일반 인솔이 1.976±0.418BW, 고경도 인솔이 2.052±0.424BW, 중경도 인솔이 2.092±0.432BW, 저경도 인솔이 2.066±0.435BW로 나타났으며, 인솔 간 차이는 F=3.793 (p=.015), 효과크기는 η_p^2=.166, 통계적 검증력은 power=.788로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 사후검증은 조립 인솔(고경도, 중경도, 저경도)이 일반 인솔에 비하여 통계적으로 크게 나타났다. VLR은 일반 인솔이 32.059±6.230BW/s, 고경도 인솔이 28.927±5.862BW/s, 중경도 인솔이 27.929±4.929BW/s, 저경도 인솔이 28.044±4.636BW/s로 나타났으며, 인솔 간 차이는 F=13.329 (p=.000), 효과 크기는 η_p^2=.412, 통계적 검증력은 power=1.000로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 사후검증은 조립 인솔(고경도, 중경도, 저경도)이 일반 인솔에 비하여 통계적으로 작게 나타났다. BIM은 일반 인솔이 0.007±0.002BWs, 고경도 인솔이 0.005±0.003BWs, 중경도 인솔이 0.005±0.002BWs, 저경도 인솔이 0.005±0.002BWs로 나타났으며, 인솔 간 차이는 F=4.697 (p=.005), 효과 크기는 η_p^2=.198, 통계적 검증력은 power=.875로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 사후검증은 조립 인솔(고경도, 중경도, 저경도)이 일반 인솔에 비하여 통계적으로 작게 나타났다.

Table 2. Descriptive information for impact variables at the stance phase during 3.3m/s running

Variables	Basic insole[a]	H insole[b]	M insole[c]	L insole[d]	F	p	Post-hoc	Effect size (η_p^2)	Statistical power
IM (BWs)	0.099±0.055	0.107±0.063	0.114±0.061	0.110±0.058	3.255	.028	a < c, d	.146	.718
IF (BW)	1.298±0.278	1.255±0.317	1.270±0.320	1.254±0.316	.906	.444	–	.045	.236
PVGRF (BW)	1.976±0.418	2.052±0.424	2.092±0.432	2.066±0.435	3.793	.015	a < b, c, d	.166	.788
VLR (BW/s)	32.059±6.230	28.927±5.862	27.929±4.929	28.044±4.636	13.329	.000	b, c, d < a	.412	1.000
BIM (BWs)	0.007±0.002	0.005±0.003	0.005±0.002	0.005±0.002	4.697	.005	b, c, d < a	.198	.875
PIM (BWs)	0.011±0.001	0.011±0.001	0.011±0.001	0.011±0.001	1.891	.141	–	.091	.464

H insole: Hard hardness insole, M insole: Medium hardness insole, L insole: Low hardness insole
IM: impulse, IF: impact force, PVGRF: peak vertical ground reaction force, VLR: vertical loading rate, BIM: braking impulse, PIM: propulsion impulse

마지막으로, 1km 가벼운 달리기를 실시한 후 조사한 착화감 결과는 (Table 3)과 같다. 본 연구에 사용된 인솔 중 높은 선호도 조사 결과는 20명 중 저경도 인솔이 10명, 중경도 인솔이 7명, 일반 인솔이 3명으로 나타났다. 전족의 쿠션에 대한 인솔 간 차이는 F=6.831 (p=.001), 효과크기는 η_p^2=.264, 통계적 검증력은 power=.969로 통계적인 차이가 나타났으며, 전족의 착화감에 대한 인솔 간의 차이는 F=8.824 (p=.000), 효과크기는 η_p^2=.317, 통계적 검증력은 power=.993로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 전족 부위의 착화감에 대한 사후검증은 일반 인솔이 조립 인솔에 비하여 좋은 것으로 나타났으며, 중경도와 저경도 인솔이 고경도 인솔에 비하여 좋은 것으로 나타났다. 후족의 쿠션에 대한 인솔 간 차이는 F=4.258 (p=.009), 효과크기는 η_p^2=.183, 통계적 검증력은 power=.838로 통계적인 차이가 나타났으며, 후족의 착화감에 대한 인솔 간의 차이는 F=3.675 (p=.018), 효과크기는 η_p^2=.170, 통계적 검증력은 power=.773로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 후족 부위의 착화감에 대한 사후검증은 일반 인솔과 중경도, 저경도 인솔이 고경도 인솔에 비하여 좋은 것

Table 3. Descriptive information for short-term (1km running) comfort test

Question	Basic insole[a]	H insole[b]	M insole[c]	L insole[d]	F	p	Post-hoc	Effect size (η_p^2)	Statistical power
First priority	3	0	7	10	–	–	–	–	–
Forefoot width	82.5±16.8	75.7±18.6	80.4±16.2	74.0±18.9	1.934	.134	–	.092	.474
Forefoot cushioning	77.0±19.2	53.2±23.7	72.2±18.8	72.0±18.9	6.831	.001	b < a, c, d	.264	.969
Forefoot comfort	84.7±15.6	61.5±20.0	76.0±14.8	73.8±16.8	8.824	.000	b < c, d < a	.317	.993

Table 3. Descriptive information for short-term (1km running) comfort test (Continued)

Question	Basic insole[a]	H insole[b]	M insole[c]	L insole[d]	*F*	*p*	Post-hoc	Effect size (η_p^2)	Statistical power
Rearfoot width	80.1±20.4	71.1±23.1	75.5±23.2	79.2±17.9	2.022	.121	–	.096	.493
Rearfoot cushioning	68.3±22.3	62.2±25.8	76.0±21.3	79.8±16.4	4.258	.009	b < c, d	.183	.838
Rearfoot comfort	71.0±20.7	56.9±26.1	67.9±24.8	74.3±16.6	3.675	.018	b < a, c, d	.170	.773
Foreignness	81.9±18.0	59.4±31.7	65.5±22.0	70.5±21.8	5.432	.002	b, c, d < a	.222	.921
Overall cushioning	70.6±24.5	53.0±25.7	66.8±18.7	75.2±18.6	5.276	.003	b < a, c, d	.217	.913
Overall comfort	73.4±20.1	54.6±23.8	65.4±21.7	69.4±16.7	3.877	.014	b < a, d	.169	.798

H insole: Hard hardness insole, M insole: Medium hardness insole, L insole: Low hardness insole

으로 나타났으며, 후족 부위의 쿠션은 중경도와 저경도 인솔이 고경도 인솔에 비하여 좋은 것으로 나타났다. 인솔의 이물감에 대한 인솔 간 차이는 F=5.432 (p=.002), 효과크기는 η_p^2=.217, 통계적 검증력은 power=.921로 통계적인 차이가 나타났으며, 사후검증은 조립 인솔이 일반 인솔에 비하여 이물감을 크게 느끼는 것으로 나타났다. 인솔의 전반적인 쿠션에 대한 인솔 간 차이는 F=5.276 (p=.003), 효과크기는 η_p^2=.217, 통계적 검증력은 power=.913로 통계적인 차이가 나타났으며, 인솔의 전반적인 착화감에 대한 인솔 간의 차이는 F=3.877 (p=.014), 효과크기는 η_p^2=.169, 통계적 검증력은 power=.798로 통계적인 차이가 나타났다. 이때 인솔의 전반적인 쿠션에 대한 사후검증은 일반 인솔과 중경도, 저경도 인솔이 고경도 인솔에 비하여 좋은 것으로 나타났으며, 인솔의 전반적인 착화감은 일반 인솔과 저경도 인솔이 고경도 인솔에 비하여 좋은 것으로 나타났다.

4. Discussion

본 연구에서는 부위별 같은 치수로 제작되어 있는 조립 형태 인솔의 충격 흡수 효과를 검증하고 착화감을 살펴보고자 하였다. 본 연구에서 사용된 인솔은 부위별 경도가 다른 조각 인솔을 조립하여 사용할 수 있다는 측면에서 향후 사용자의 쿠션 선호도나 취향에 따라 맞춤형 인솔로 활용될 것으로 기대된다.

우선, 본 연구의 2.7m/s와 3.3m/s 달리기에서 충격 관련 변인을 살펴보면, 4가지 인솔의 PVGRF의 평균값이 약 1.9BW와 2.0BW로 나타났으며, VLR은 약 23.6BW/s와 29.2BW/s로 나타났다. 유사한 달리기 속도에서 PVGRF와 VLR을 분석한 선행연구를 살펴보면, 성인과 노인 간에 달리기(2.7m/s)의 운동역학적 차이를 비교한 연구(Fukuchi et al., 2013)에서는 PVGRF가 1.54BW, VLR이 36.1BW/s로 보고되었으며, 신발 미드솔 차이가 달리기(3.3m/s) 역학에 미치는 효과를 살펴본 연구(Baltich et al., 2015)에서는 PVGRF가 약 1.62BW로 보고되었다. 또한, 맨발 달리기와 신발을 신은 달리기(3.5m/s) 간에 운동역학적 차이를 비교한 연구(Wit et al., 2000)에서는 PVGRF가 1.9BW, VLR이 90BW/s로 보고되었다. 본 연구의 PVGRF는 위 선행연구와 유사한 결과를 보인 반면, VLR은 선행연구 결과에 비하여 다소 작게 나타났으며, 이것은 신발과 인솔의 차이로 인한 수직 지면반력 초기 피크까지의 시간 지연에 따른 결과라 판단된다.

2.7m/s와 3.3m/s 달리기의 충격 관련 변인을 종합적으로 살펴보면, 3가지 경도의 조립 인솔의 PVGRF가 일반 인솔에 비하여 크게 나타난 반면, VLR은 약 11.5% 작게 나타났다. 이것은 신발 달리기가 맨발 달리기에 비하여 PVGRF가 크게 나타난 반면, VLR은 4배 이상 작게 나타났다고 보고했던 연구(Wit et al., 2000)를 통해 알 수 있듯이, 달리기 착지 순간 조립 인솔에서 PVGRF가 일반 인솔에 비하여 크게 나타났으나 조립 인솔의 후족 부위가 일반 인솔에 비하여 PVGRF가 발현되는 시점까지 시간 지연이 나타나 VLR을 감소시킨 것으로 사료된다. 이를 통하여 본 연구에서 사용된 조립 형태의 인솔도 달리기 착지 순간 수직 부하율을 감소시키기 위하여 인솔 소재를 변화시켰던 연구(Shin and Jin, 2006)와 족저 근막염(plantar fasciitis) 예방을 위해 제작된 DSAS 인솔 검증 연구(Lewinson and Stefanyshyn, 2017)와 같이 인체에 가해지는 충격과 부하를 감소시키는데 긍정적인 역할을 한다고 판단된다. VLR은 인체에 전달되는 충격과 부하를 판단하는 척도로, 달리기의 상해 위험 요인으로 평가되고 있다(Milner et al., 2006; Chan et al., 2018; Davis et al., 2016; Futrell et al., 2018). 달리기 동호인 중 상해 유무에 따른 차이를 살펴본 후향적 연구(Futrell et al., 2018; Marshall et al., 2000)에서는 상해 무경험자가 상해

경험자에 비하여 VLR이 작게 나타났으며, 전향적 연구(Davis et al., 2016)에서도 VLR은 부상을 예측하는 변수로 활용될 수 있다고 보고되었다. 다만, 조립 인솔의 경도 간에는 PVGRF와 VLR이 차이가 나타나지 않았다. 이것은 가벼운 달리기(2.7m/s)에서 신발 쿠션 정도 간에 VLR이 차이가 없었으나 빠른 달리기(4.0m/s)에서는 쿠션 정도에 따라 차이가 나타났다고 보고한 연구(Kulmala et al., 2018)를 통해 알 수 있듯이, 조립 인솔의 경도 간의 차이와 효과는 더 빠른 속도의 달리기나 보다 역동적인 움직임에서 크게 나타날 것으로 예상된다.

마지막으로 사용자가 주관적으로 평가하는 착화감 결과를 살펴보면, 전족과 후족 부위, 전반적인 쿠션과 착화감이 고경도 인솔이 가장 낮은 것으로 평가되었으며, 중경도와 저경도 인솔, 일반 인솔 간에는 차이가 없었다. 전반적 이물감에 대한 평가는 3가지 조립 인솔이 일반 인솔에 비하여 낮게 평가되었다. 위에서는 3가지 경도의 인솔이 일반 인솔에 비하여 충격 흡수 기능과 관련된 변인에서 뛰어난 것으로 나타났으나 착화감은 충격 흡수 기능과는 별개로 고경도 인솔이 가장 낮은 평가를 받았다. 이것은 착화감 조사가 약 30분 정도의 짧은 달리기를 실시한 후, 진행되다 보니 상대적으로 가장 경도가 높은 인솔에 대한 쿠션과 착화감에 대한 단기간의 평가가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 일반 인솔에 비하여 조립 인솔의 두께가 두껍다는 점에서 적응시간이 더 길게 필요할 것으로 판단된다. 향후 조립 인솔을 평가하는데 있어 장시간 착용하고 착화감을 조사하여 조립 형태 인솔의 적응시간과 고경도 인솔의 착화감을 세밀하게 분석할 필요가 있다.

본 연구 결과를 종합해보면, 조립 인솔이 일반 인솔에 비하여 충격 흡수 기능이 좋은 것으로 판단되지만, 인솔에 대한 충분한 적응시간이 필요하다고 사료된다. 향후에는 조립 인솔에 대한 장기간 착화감을 조사하고 발 치수 및 형태에 따른 경도의 선호도 조사와 운동역학적 관계를 살펴볼 필요가 있다.

5. Conclusion

본 연구에서는 부위별 경도 변화가 가능한 조립 형태의 인솔에 대한 충격 흡수 기능과 착화감을 살펴보고자 하였다. 본 연구에서 비교한 3가지 경도의 조립 인솔은 일반 인솔에 비하여 달리기 착지 순간 수직 지면반력 초기 피크가 크게 나타났으나 VLR은 약 11.5% 작게 나타났다(p<.05). 이를 통하여 후족 부위의 조립 인솔이 충격 흡수 기능에 긍정적인 역할을 하는 것으로 판단된다. 다만, 단시간 착화감 조사에서 조립 인솔은 일반 인솔에 비하여 이물감이 크게 나타났으며(p<.05), 고경도 인솔의 쿠션과 착화감이 낮게 평가되었다(p<.05). 이 결과를 바탕으로 조립 인솔의 충격 흡수 기능은 긍정적이지만 적응시간에 대한 의문점과 장시간 착화감에 대한 추가적 연구가 기대된다.

References

Baltich, J., Maurer, C. and Nigg, B.M., Increased vertical impact forces and altered running mechanics with softer midsole shoes. *PLoS One*, 10(4), e0125196, 2015.

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.

Cook, S.D., Brinker, M.R. and Poche, M., Running shoes: Their relationship to running injuries. *Sports Medicine*, 10(1), 1-8, 1990.

Davis, I.S., Bowser, B.J. and Mullineaux, D.R., Greater vertical impact loading in female runners with medically diagnosed injuries: A prospective investigation. *British Journal of Sports Medicine*, 50(14), 887-892, 2016.

Fukuchi, R.K., Stefanyshyn, D.J., Stirling, L., Duarte, M. and Ferber, R., Flexibility, muscle strength and running biomechanical adaptations in older runners. *Clinical Biomechanics*, 29(3), 304-310, 2013.

Futrell, E.E., Jamison, S.T., Tenforde, A.S. and Davis, I.S., Relationships between habitual cadence, footstrike, and vertical load rates in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(9), 1837-1841, 2018.

Hume, P., Hopkins, W., Rome, K., Maulder, R., Coyle, G. and Nigg, B., Effectiveness of foot orthoses for treatment and prevention of lower limb injuries: a review. *Sports Medicine*, 38(9), 759-779, 2008.

Krauss, I., Grau, S., Mauch, M., Maiwald, C. and Horstmann, T., Sex-related differences in foot shape. *Ergonomics*, 51(11), 1693-1709, 2008.

Kulmala, J.P., Kosonen, J., Nurminen, J. and Avela, J., Running in highly cushioned shoes increases leg stiffness and amplifies impact loading. *Scientific Reports*, 8(1), 17496, 2018.

Lewinson, R.T. and Stefanyshyn, D., Effect of a commercially available footwear insole on biomechanical variables associated with common running injuries. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 29(4), 341-343, 2017.

Lewinson, R.T., Wordbets, J. and Stefanyshyn, D., Control conditions for footwear insole and orthotic research. *Gait Posture*, 48, 99-105, 2016.

Lucas-Cuevas, A.G., Encarnación-Martínez, A., Camacho-García, A., Llana-Belloch, S. and Pérez-Soriano, P., The location of the tibial accelerometer does influence impact acceleration parameters during running. *Journal of Sports Sciences*, 35(17), 1734-1738, 2017.

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.

Mauch, M., Grau, S., Krauss, I., Maiwald, C. and Horstmann, T., A new approach to children's footwear based on foot type classification, *Ergonomics*, 52(8), 999-1008, 2009.

Milner, C.E., Ferber, R., Pollard, C.D., Hamill, J. and Davis I.S., Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 323-328, 2006.

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.

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.

Taunton, J., Ryan, M., Clement, D., McKenzie, D., Lloyd-Smith, D. and Zumbo, B., A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run "In Training" clinics. *British Journal of Sports Medicine*, 37(3), 239-244, 2003.

Valiant, G.A., McMahon, T.A. and Frederick, E.C., A new test to evaluate the cushioning properties of athletic shoes. *Biomechanics X-B*, 937-941, 1987.

Wit, B.D., Clercq, D.D. and Aerts, P., Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*, 33(3), 269-278, 2000.

Yen, S.C., Gutierrez, G.M., Wang, Y.C. and Murphy, P., Alteration of ankle kinematics and muscle activity during heel contact when walking with external loading. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1683-1692, 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