

Research Article

Open Access

보행 시 신발끈 매듭법이 발바닥 압력에 미치는 영향

김현수 · 김범준¹ · 정도영^{2†}

중부대학교 물리치료학과, ¹연세대학교 물리치료학과, ²중부대학교 물리치료학과

Effect of Shoe Lacing Techniques on Plantar Pressure during Walking A Cross-Sectional Study

Hyun-Soo Kim, PT · Beom-Jun Kim, PT, MS¹ · Do-Young Jung, PT, PhD^{2†}

Department of Physical Therapy, The Graduate School, Joongbu University

¹SEIN Healthcare Laboratory, Department of Physical Therapy, The Graduate School, Yonsei University

²Department of Physical Therapy, Kinesiopathologic Institute, Joongbu University

Received: December 24, 2024 / Revised: March 17, 2025 / Accepted: May 7, 2025

© 2025 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to compare the effects of crisscross lacing (CCL) and loop lacing (LL) on the medial/lateral ratio of plantar pressure during walking.

METHODS: Twelve subjects participated in this study. They wore wearable foot pressure devices to walk along a 20 m-long corridor. The medial/lateral mean and peak plantar pressure for three plantar areas: forefoot, midfoot, and hindfoot were collected during walking under two conditions, namely, the CCL and LL techniques. The medial/lateral mean and peak plantar pressure ratios were calculated for the three plantar areas. A paired t-test was used to compare the medial/lateral ratio of mean and peak plantar pressure between the CCL and LL techniques.

RESULTS: The LL technique significantly reduced the medial/lateral ratio of mean plantar pressure in the forefoot and midfoot compared to the CCL technique ($p < .05$). However, there were no significant differences observed in the hindfoot. The medial/lateral ratio of peak plantar pressure did not show significant differences between the two conditions in all plantar areas.

CONCLUSION: The LL technique redistributed plantar pressure towards the lateral aspect, effectively reducing pronation. The LL technique is recommended to prevent and manage musculoskeletal disorders of the lower extremity related to flat feet.

Key Words: Footwear, Medial-lateral ratio, Plantar pressure, Shoe lacing

†Corresponding Author : Jung Do-Young
ptsports@joongbu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-1709-837X>
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

인간의 발은 26개의 뼈와 30개 이상의 관절로 구성되어 있으며 10개의 주요한 외재근의 건, 그리고 수많은 내재근과 같은 다양한 연부조직으로 둘러싸여 있다[1].

이러한 발 구조물들을 통해 발의 아치는 체중 지지, 충격 흡수, 에너지 조절 등 다양한 기능을 수행하는 역할을 한다. 아치는 안쪽과 가쪽 세로 아치(medial/lateral longitudinal arch)와 가로 아치(transverse arch)로 구성되어 있으며[2], 안쪽 세로 아치의 해부학적 높이에 따라 인간의 발은 요족(pes cavus), 정상 아치 발, 그리고 평발(pes planus)로 3가지 구조적인 범주로 분류된다[3]. 이 중 평발은 인구의 약 20% 이상을 차지한다[4]. 평발은 서거나 보행과 같은 체중지지 활동 동안 과도한 목말뼈의 모음과 발바닥 굽힘 그리고 발 뒤꿈치의 바깥쪽 변진 즉, 과도한 옆침(excessive pronation) 자세 혹은 움직임으로 인한 안쪽 세로 아치 붕괴가 특징이며, 주로 발의 안쪽 부위에 손상을 일으킨다[5]. 평발은 유연성 평발과 강직성 평발로 분류된다. 유연성 평발은 체중 지지 시에만 아치가 무너지는 반면에 강직성 평발은 체중 지지와 관련 없이 아치가 무너지는 특징을 가지고 있다[6]. 발의 과도한 옆침은 뒤정간근 힘줄염(tibialis posterior tendinitis), 발바닥 근막염(plantar fasciitis), 인대의 이완(laxity of the ligament), 아킬레스 힘줄염(Achilles tendonitis), 발의 피로감, 그리고 발목과 무릎 그리고 엉덩 관절 손상을 발생시킬 수 있다[7].

평발 환자의 치료적 중재로는 수술적 중재 접근법과 비수술적 중재 접근법이 있다[6,8]. 수술적 중재 접근 방법에는 손상된 인대를 복구하는 연부조직 시술(soft tissue procedures)과 관절 주위의 정렬을 구조적으로 맞춰주는 절골술(osteotomy)이 있다[9]. 비수술적 중재 접근 방법에는 운동치료, 발의 옆침 움직임을 제어하는 보조기(AFO), 인솔, 그리고 신발 수정법(shoe modification) 등이 있다[10,11,12]. 비수술적 중재 접근 방법 중 토마스 힐(Thomas heel), 강화된 뒤꿈치 월형(reinforced heel counter), 안쪽 뒤꿈치 웨지(medial heel wedge)와 같은 다양한 신발 수정법은 발의 옆침 움직임을 제어하는 중요한 중재 방법으로 추천된다[11]. 그러나 축구화나 골프화과 같은 스포츠 전용 신발은 주로 운동 수행 능력 향상을 목적으로 설계되기 때문에, 개인의 발 유형에 따라 신발을 수정하는 것은 제한이 있다[13]. 이러한 제한점은 신발 끈 묶기 기법을 통해 부분적으로 해결할 수 있다. 예를 들어, 요족, 평발, 폭이 좁은 발, 폭이

좁은 뒤꿈치, 발등 통증 그리고 엄지발가락 통증과 같은 발 상태에 따라 다양한 신발 끈매듭법(shoe lacing techniques)이 있다. 수학적인 관점에서 가장 흔히 사용되는 십자형 끈 매듭법 (crisscross lacing)은 가장 강하고 편안한 방법으로 여겨진다[14,15](Fig. 1). 특히, 평발을 위한 끈 매듭법으로는 바깥구멍 십자형 끈 매듭법(outside-eyelet crisscross lacing)과 뒤꿈치 맞춤 끈 매듭법(heel fit lacing)이 있다[16]. 뒤꿈치 맞춤 끈 매듭법은 몸 쪽 다섯 번째에서 같은 쪽 몸 쪽 여섯 번째 구멍으로 끈을 당겨 루프를 만든 후, 반대쪽 루프로 끈을 통과시키는 매듭법이다. 이러한 매듭법은 러너들과 신발 제조 업체에서 권장하고 있다. 이전 연구에서 뒤꿈치 맞춤 매듭법은 뒷발의 옆침 움직임 속도를 감소시키고 뒷발의 발바닥 압력은 감소시키지만 앞발의 압력은 증가시킨다고 보고하였다[17]. 한편, 바깥구멍 십자형 끈 매듭법은 기존 십자형 매듭법과 유사하지만, 끈을 안쪽 구멍에서 바깥쪽 구멍으로 연결하여 더 강한 지지력을 확보하는 방식이다. 그러나 실제 착용 시 보행 과정에서 발의 내측에서 외측으로 당겨지는 힘이 장시간 유지되기 어려운 점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해, 본 연구에서는 신발 끈을 바깥쪽 방향으로 당기도록 설계하여 방향성과 각도를 개선한 루프 끈 매듭법(loop lacing)을 고안하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법이 보행 시 발바닥 안쪽과 바깥쪽 압력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 본 연구의 가설로 “십자형 끈 매듭법 보다 루프 끈 매듭법이 보행 시 발바닥 내/외측 발바닥 압력 비율



Fig. 1. Crisscross lacing (CCL).

(medial/lateral ratio of plantar pressure)을 더 줄여줄 것이다.”라고 정하였다.

II. 연구방법

1. 대상자

본 연구의 대상자는 정상 성인 12명(남성 7명, 여성 5명; 연령 $34.05 \pm .30$; 키 170.54 ± 1.64 ; 체중 $67.25 \pm 3.23\text{kg}$)을 대상으로 정상인의 선정 조건은 다음과 같다. 발에 외과적, 신경학적 질환이나 최근 6개월 동안 보행 시 발에 통증이 없는 자, 당뇨병이 없고 발에 기형이 없는 조건을 충족하였다. 2024년 6월 1일부터 8월 31일까지 전단지 및 홍보물을 이용하여 경기도 김포시 소재의 OO병원에서 지원자를 모집하였으며, 실험 내용에 대해 충분한 설명을 한 후 연구 동의서에 서명을 한 사람들 중 연구에 참여할 대상자를 모집하였다. 본 실험은 10월 1일부터 12월 1일까지로 연구 대상자는 남자 7명, 여자 5명이었다. 대상자에게 연구 대상자의 표본 크기는 G Power (Version 3.1.9.6, Universität Kiel, Germany)을 사용하여 산출하였으며, 효과 크기는 선행 연구의 결과값을 바탕으로 .25으로 설정하였고, 검정력 .80 유의수준 .05로 산출된 표본 크기는 왼발과 오른발 각각 24개로 총 12명이었다[18]. 본 연구는 중부대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받은 후 실험을 진행하였다(승인번호: JIRB-2024090501-01).

2. 측정도구

1) 발바닥 압력 측정기

보행 시 지면에 가해지는 힘 변수를 측정하는 발바닥 압력 측정기(Dynafoot2, Techno Concept, France)는 신발에 장착할 수 있는 센서, 신호를 수신하는 수신장치, 노트북으로 구성되어 있다[19]. 신발에 장착되는 센서 안에 58개의 압력센서가 내장되어 있으며 앞발(forefoot)의 내측, 중간, 외측 부위, 중간발(midfoot)의 내/외측, 그리고 뒷발(hindfoot)의 내/외측 부위 총 7개의 부위의 발바닥 압력 데이터가 수집된다. 최대 발바닥

압력 측정기에 대한 측정자 내 신뢰도는 앞발(안쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .91$; 중간 $\text{ICC}_{3,1} = .97$; 가쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .92$), 중간발(안쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .93$; 가쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .77$), 그리고 뒷발(안쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .89$, 가쪽 $\text{ICC}_{3,1} = .93$) 부위별 모두 높았다[20].

2) 끈 매듭법[Shoe lacing]

십자형 끈 매듭법 (crisscross lacing)은 가장 기본적인 고 전통적인 매듭법이다. 신발 좌·우에 6개 구멍 중 가장 먼 쪽에 위치하고 있는 양쪽 구멍에 신발끈을 직선으로 가로질러 시작하고 두 번째로 먼 쪽에 위치하고 있는 다음 구멍으로 신발끈을 대각선으로 교차시켜 나 온다. 마지막 몸 쪽에 위치하고 있는 구멍까지 신발끈을 대각선으로 교차시켜 매듭 한다(Fig. 1).

루프 끈 매듭법(loop lacing)은 신발 좌·우에 6개 구멍 중 가장 먼 쪽에 위치하고 있는 양쪽 구멍에 신발끈을 직선으로 가로질러 시작하고 두 번째로 먼 쪽에 위치하고 있는 다음 구멍으로 신발끈을 대각선으로 교차시켜 나오게 하는 방법이다. 다섯 번째 몸 쪽 구멍까지 신발끈을 교차시켜 매듭하고 마지막 몸 쪽 구멍으로 올라올 때 신발끈을 교차시키지 않고 일자로 가로질러 고리를 만든 후 양쪽 고리 안으로 신발끈을 교차시키고 바깥쪽으로 당겨 매듭한다(Fig. 2).

3. 실험방법 및 자료분석

본 연구에서는 모든 대상자가 본인 사이즈에 맞는 실험용 신발(NIKE Air Pegasus, NIKE, United States)을 착용하였으며, 신발 안에 압력 센서를 삽입하였다. 실험



Fig. 2. Loop lacing (LL).

자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법을 한 신발을 착용할 때 대상자는 앞을 응시하게하여 매듭법 조건 순서를 알지 못하도록 하였다. 후 보행 시 평균 발바닥 압력과 최대 발바닥 압력을 종속변수로 자료를 수집하였다. 보행 시 보행 속도를 일정하게 유지하기 위해 편안한 보행속도를 3회 측정하여 평균 보행속도를 산출하였다. 대상자가 20m 길이가 확보된 복도에서 보행할 수 있도록 맞춘 다음 보행속도와 메트로놈의 속도를 일치시키면서 5회 예비보행을 시켰다. 연습을 통해 보폭을 맞춘 각 대상자들은 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법 시행 순서를 할당하기 위해 번호 1(십자형 끈 매듭법), 번호 2(루프 끈 매듭법)으로 번호가 매겨진 카드를 무작위로 선택하였다. 각 대상자는 보행하는 동안 무작위로 5초간 3회 반복 측정하였다. 5초 동안 좌·우 발 각각 3개의 입각기에서의 발바닥 압력 자료가 수집되었으며 3개의 입각기 중 두 번째 입각기에서의 평균 발바닥 압력과 최대 발바닥 압력을 대표값으로 하였다. 측정된 압력 분포자료는 DYNAFOOT2 프로그램을 이

용하여 보행 시 조건에서 앞발, 중간발, 뒷발의 각 영역을 구분하여 내/외측의 압력 비율을 산출하였다. 앞발은 중간 영역이 있어서 안쪽과中间的의 평균값에 대한 압력 비율로 내/외측 압력 비율로 산출하였다. 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법의 내/외측 발바닥 압력 비율을 비교하기 위해 짝 비교 t-검정(paired t-test)을 실시하였으며 유의 수준 $p = .05$ 로 하였다. 자료의 통계처리를 위하여 상용 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS version 18.0 프로그램을 사용하였다.

III. 연구결과

Table 1은 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법 조건에서의 보행 시 평균과 최대 내/외측 발바닥 압력 비율을 보여준다. 각 대상자에게 무작위로 적용한 결과 평균 내/외측 발바닥 압력 비율에서는 십자형 끈 매듭법보다 루프 끈 매듭법이 앞발과 중간발에서 평균 내/외측 발

Table 1. Medial/lateral ratio of mean and peak plantar pressure in CCL and LL (n = 12)

Planter areas	Medial/Lateral ratio			
	Mean plantar pressure		Peak plantar pressure	
	CCL	LL	CCL	LL
Forefoot	1.8 (.37) ^a	1.67 (.41)	2.12 (.43)	2.1 (.41)
Midfoot	.86 (.26)	.77 (.21)	.9 (.21)	.83(.18)
Hindfoot	.86 (.88)	.92 (.11)	1.28 (.83)	1.17(.64)

CCL: crisscross lacing, LL: loop lacing, ^aMean (standard deviation)

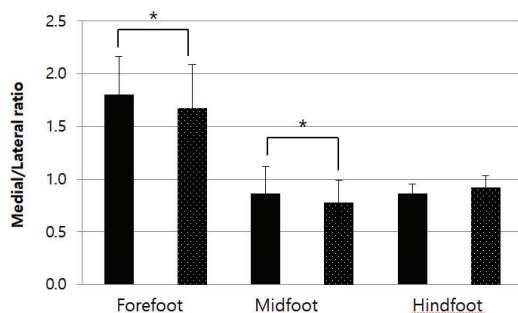


Fig. 3. Medial/lateral ratio of mean plantar pressure in each plantar areas * $p < .05$.
(■: crisscross lacing ▨: loop lacing)

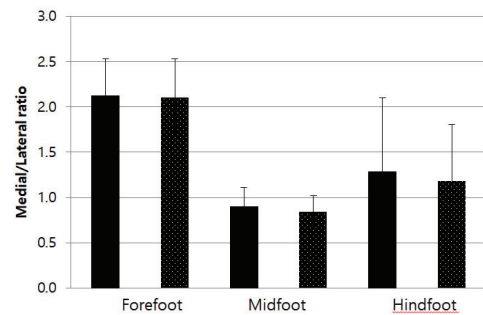


Fig. 4. Medial/lateral peak plantar pressure ratio in each plantar areas.
(■: crisscross lacing ▨: loop lacing)

바닥 압력 비율이 유의하게 감소하였으며, 뒷발에서는 유의한 차이가 없었다(Fig. 3)($p < .05$). 두 가지 조건에서의 최대 내/외측 발바닥 압력 비율에서 유의한 차이가 없었다(Fig. 4)($p < .05$).

IV. 고 찰

본 연구에서는 보행 시 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법의 발의 각 영역에서 나타나는 내/외측 발바닥 압력 비율에 미치는 영향을 비교하였다. 이전 연구에서 해부학적인 아치 붕괴로 인해 평발이 정상 발보다 내/외측 발바닥 압력 비율이 높았다고 보고하였으므로 보행 시 내/외측 발바닥 압력 비율의 감소는 발의 옆침 감소를 의미한다[21, 22]. 연구 결과, 보행 시 평균 발바닥 내/외측 압력 비율에서 루프 끈 매듭법이 십자형 끈 매듭법보다 앞발과 중간발 영역에서 내/외측 압력 비율이 유의하게 더 작았다. 본 연구의 결과는 신발 끈을 바깥쪽 방향으로 당기도록 설계하여 방향성과 각도를 개선한 루프 끈 매듭법이 보행 시 발의 내측에 가해지는 압력을 외측으로 이동시킴으로써 발의 과도한 회내전을 억제하고 평발 환자에게 긍정적인 효과를 줄 가능성을 시사한다.

이전 연구들에서 평발을 위한 신발 수정법, 발 보조기, 테이핑, 그리고 신발 끈 매듭법과 같은 다양한 방법들이 발바닥에 가해지는 스트레스 감소 효과를 알아보기 위해 발바닥 압력 변화를 알아보았다[11, 12, 18]. Russo와 Chipchase (2001)의 연구에서는 로우다이 테이핑(low-dye taping) 유무에 따른 앞발과 중간발의 내/외측 최대 발바닥 압력 비율이 감소했다고 보고하였다[23]. 비록 본 연구에서는 앞발과 중간발의 평균 발바닥 내/외측 압력 비율이 루프 끈 매듭법이 십자형 끈 매듭법보다 유의하게 감소하였다. 최대 발바닥 내/외측 압력 비율은 유의한 차이가 없었지만 중간발의 내/외측 최대 발바닥 압력 비율이 0.90에서 0.83으로 감소하였고, 앞발의 내/외측 압력 비율이 2.12에서 2.10로 감소하였다. 이전 로우다이 테이핑 연구와 비교했을 때, 루프 끈 매듭법의 효과가 작았던 원인은 로우다이 테이핑은

앞발과 중간발에 직접적으로 아치를 지지함으로써 보행 시 발에 가해지는 수직방향의 체중을 직접적으로 지지하는 반면에, 루프 끈 매듭법은 중간발에서 내측에서 외측으로 잡아당기는 수평 힘이 적용되므로 로우다이 테이핑보다는 내/외측 최대 발바닥 압력 비율이 효과가 작았을 것으로 사료된다.

몇몇 연구들에서 다양한 신발끈 매듭법들이 보행 속도, 보폭, 옆침 속도와 같은 시공간적 변수, 옆침 각도와 같은 운동형상학적 변수, 발바닥 압력, 충격완화와 관련한 최대 충격량(peak vertical impact forces)과 최대 충격속도(maximum vertical force rates)와 같은 운동역학적 변수 그리고 편안함, 안정감 그리고 신발에서의 미끄러짐 정도를 알아보는 주관적 변수에 미치는 영향을 알아보았다[24, 25, 17, 26, 27]. Hong (2011)의 연구에서는 15명의 아마추어 러너를 대상으로 끈 있는 런닝화와 끈 없는 탄력 덮개가 있는 런닝화를 비교한 결과, 끈 있는 런닝화가 끈 없는 탄력 덮개가 있는 런닝화보다 편안하며 유의하게 뒷발 발바닥 압력과 옆침 각도는 작았다고 보고하면서 달리기 시 끈 없는 런닝화보다 끈 있는 런닝화 작용하는 것을 추천하였다[27]. Fiedler (2011)의 연구에서는 레이스락 시스템(Lace-lock system)을 통해 신발끈 조임 세기를 단단함, 느슨함 그리고 완전히 느슨함 세 가지 단계로 나누어 발바닥 압력과 미끄러짐 정도를 측정된 결과, 완전히 느슨하게 끈을 조일수록 뒷꿈치의 위-아래 방향과 발바닥의 앞-뒤 방향으로 주관적인 미끄러짐 정도가 증가하였으나 발바닥 압력에서는 유의미한 차이가 없었다[26]. Murano (2022)은 21명의 건강한 성인을 대상으로 느슨함, 일반, 그리고 단단함과 같은 3가지 신발 끈의 매듭 강도가 몸통의 좌우 움직임, 보행 속도, 그리고 보폭에 미치는 영향을 알아본 결과, 느슨할수록 유의하게 몸통 좌우 흔들림이 크고 보행 속도와 보폭은 작아진다고 보고하면서, 신체적 안정성을 유지하고 피로도를 유발시키지 않기 위해 신발을 착용할 때 끈을 안정적으로 매듭하는 것을 권장하였다[24]. Sandrey (2001)은 평발인 고등학교 축구선수 20명을 대상으로 맨발, 신발, 아치 지지대가 삽입된 신발, 그리고 뒤꿈치 맞춤 끈 매듭법을 한 신발을 적용한 조건을 비교한 결과, 뒤꿈치 맞춤 끈

매듭법을 한 신발이 가장 최대 바깥 변집(calcaneal eversion) 각도가 작았다[13]. Hagen (2009)은 20명의 숙련된 러너들에게 6가지 신발 끈 묶는 방법을 적용하여 발바닥 압력, 뒷발 옆침 속도, 최대 충격량, 최대 충격 속도, 착용감을 비교한 결과, 뒤꿈치 맞춤 끈 매듭법과 단단한 끈 매듭법이 다른 끈 매듭법 보다 옆침 각도는 차이가 없었으나, 뒷발의 발바닥 압력과 옆침 속도를 유의하게 감소시켰다고 보고였다[17]. 비록 이전 연구와 달리 본 연구에서는 옆침 각도 혹은 속도를 측정하지 않았지만, 루프 끈 매듭법이 보행 시 발의 옆침 움직임을 간접적으로 알아볼 수 있는 내/외측 발바닥 압력 비율이 감소하였다[17,21,25].

본 연구에서는 보행 시 정상 성인을 12명을 대상으로 루프 신발 끈 매듭법이 발바닥 내/외측 압력 비율에 미치는 영향을 알아보았지만, 대상자 수가 작았으며 정상 성인으로 한정하여 연구를 진행하였기에 일반화 하는데 제한이 있으며, 루프 신발 끈 매듭법으로 인한 외측으로의 체중이동은 발목 외측 염좌를 일으킬 수 있는 요인이 될 수 있으므로 매듭법 적용 시 주의해야 한다. 또한 옆침 움직임과 관련한 운동형상학적 혹은 운동역학적 변수들을 측정하지 못했다. 따라서 향후 연구에서 과도한 옆침과 관련한 다양한 하지의 근골격계 환자를 대상으로 루프 끈 매듭법이 옆침 움직임과 관련한 운동형상학적 혹은 운동역학적 변화뿐만 아니라 장기적인 효과를 알아볼 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 십자형 끈 매듭법과 루프 끈 매듭법이 발바닥 내/외측 압력 비율에 미치는 영향을 비교하였다. 연구 결과, 루프 끈 매듭법은 십자형 끈 매듭법보다 보행 시 앞발과 중간발의 평균 발바닥 내/외측 압력 비율을 유의미하게 감소시켰으며, 이는 발의 내측 아치를 간접적으로 지지함을 시사한다. 본 연구는 평발을 가진 대상자들에게 시간적 그리고 경제적 제약으로 인해 신발 수정이나 인솔 맞춤 제작이 어려운 경우, 루프 신발 끈 매듭법이 효과적인 비수술적 중재 방법으로 활용될 수 있음을 제안한다.

References

- [1] Van Boerum DH, Sangeorzan BJ. Biomechanics and pathophysiology of flat foot. *Foot and ankle clinics*. 2003;8(3):419-30.
- [2] Jung S-h, Weon Y-s, Ha S-m. The effects of transverse arch insole application on body stability in subject with flat foot. *J Musculosk Sci Tech*. 2022;6(2):80-4.
- [3] Gwani AS, Asari MA, Ismail ZM. How the three arches of the foot intercorrelate. *Folia Morph*. 2017;76(4):682-8.
- [4] Pita-Fernandez S, Gonzalez-Martin C, Alonso-Tajes F, et al. Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *J Clinical Diagn Research: JCDR*. 2017;11(4):LC22.
- [5] Dabholkar T, Agarwal A. Quality of life in adult population with flat feet. *Int. J. Health Sci. Res*. 2020;10(8).
- [6] Harris EJ, Vanore JV, Thomas JL, et al. Diagnosis and treatment of pediatric flatfoot. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2004;43(6):341-73.
- [7] Chen Y-C, Lou S-Z, Huang C-Y, et al. Effects of foot orthoses on gait patterns of flat feet patients. *Clinical biomechanics*. 2010;25(3):265-70.
- [8] Vulcano E, Deland JT, Ellis SJ. Approach and treatment of the adult acquired flatfoot deformity. *Current reviews in musculoskeletal medicine*. 2013;6:294-303.
- [9] Lee MS, Vanore JV, Thomas JL, et al. Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2005;44(2):78-113.
- [10] Riccio I, Gimigliano F, Gimigliano R, et al. Rehabilitative treatment in flexible flatfoot: a perspective cohort study. *Musculoskeletal Surgery*. 2009;93:101-7.
- [11] Marzano R. Nonoperative management of adult flatfoot deformities. *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 2014;31(3):337-47.
- [12] Toullec E. Adult flatfoot. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2015;101(1):S11-S7.
- [13] Sandrey MA, Zebas CJ, Bast JD. Rear-foot motion in soccer players with excessive pronation under 4

- experimental conditions. *Journal of sport rehabilitation*. 2001;10(2):143-54.
- [14] Polster B. What is the best way to lace your shoes? *Nature*. 2002;420(6915):476.
- [15] Sarros EA. The effect of shoe-lacing pattern on running economy in division-I endurance athletes. Middle Tennessee State University. 2016.
- [16] Werd, Matthew B., E. Leslie Knight, and Paul R, et al. *Athletic footwear and orthoses in sports medicine*. New York: Springer, 2010.
- [17] Hagen M, Hennig EM. Effects of different shoe-lacing patterns on the biomechanics of running shoes. *Journal of Sports Sciences*. 2009;27(3):267-75.
- [18] Arnold JB, Causby R, Dip Pod G, et al. The impact of increasing body mass on peak and mean plantar pressure in asymptomatic adult subjects during walking. *Diabetic foot & ankle*. 2010;1(1):5518.
- [19] Hasan IK, Kambash AH. The effect of high-intensity competition speed training using the DYNA FOOT device on developing speed endurance and some biomechanical variables and the performance of 400-meter hurdles. *Modern Sport*. 2023;22(3):0001-9.
- [20] Jung D-Y. The effect of protective socks combined with functional insole on plantar foot pressure in healthy adults: a pilot study. *J Kor Soc Phys Medicine*. 2018;13(1):147-54.
- [21] Anbarian M, Esmaili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. *Gait Posture*. 2016;48:52-6.
- [22] Buldt AK, Forghany S, Landorf KB, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: a comparison of normal, planus and cavus feet. *Gait Posture*. 2018;62:235-40.
- [23] Farzadi M, Safaeepour Z, Mousavi ME, et al. Effect of medial arch support foot orthosis on plantar pressure distribution in females with mild-to-moderate hallux valgus after one month of follow-up. *Prosthetics and orthotics international*. 2015;39(2):134-9.
- [24] Russo SJ, Chipchase LS. The effect of low-Dye taping on peak plantar pressures of normal feet during gait. *Austr J Physiother*. 2001;47(4):239-44.
- [25] Murano R, Sato T, Tomono T, et al. Effects of shoe-lacing on gait. Available at SSRN 4125375.
- [26] Fiedler KE, Stuijzand WJA, Harlaar J, et al. The effect of shoe lacing on plantar pressure distribution and in-shoe displacement of the foot in healthy participants. *Gait Post*. 2011;33(3):396-400.
- [27] Hong Y, Wang L, Li JX, et al. Changes in running mechanics using conventional shoelace versus elastic shoe cover. *Jour Sports Sci*. 2011;29(4):373-9.