한국 젊은 성인의 정규화된 아치 높이에 따른 발 유형 분석

정도영

충부대학교 물리치료학과, 운동병리과학연구소

Analysis of Foot Type in Korean Young Adults Based on Normalized Arch Height

Do-young Jung, PhD, PT

Department of Physical Therapy, Kinesiopathologic Science Institute, Joongbu University, Geumsan, Korea

Article Info

Received April 16, 2020

Revised May 10, 2020

Accepted June 3, 2020

Corresponding Author

Do-young Jung

E-mail: ptsports@joongbu.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0002-1709-837X>

Key Words

Foot type

Normalized arch height

3D foot scan

Background: The classification of foot type can be commonly determined by the height of the media longitudinal arch. The normalized arch height (NAH) is defined as the ratio of navicular or instep heights to the foot length or instep length.

Objects: This study investigated the relationships among foot characteristics, such as foot length (FL), instep length (IL), navicular height (NH), and instep height (IH), in Korean young adults. Also, the distribution of foot type based on calculated NAH was assessed.

Methods: Three-dimensional foot scanning data of young adults aged 20 to 39 years (total: 1,978; 974 male, 1,004 female) were obtained from the Korea Technology Standards Institute, and used for analyses. NAH was calculated as the following: NH/FL, IH/FL, IH/IL, NH/IL. Spearman's rank order correlation was used to identify correlations among variables. The Mann-Whitney U-test and chi-square test were used to compare the sex differences in foot characteristics and distribution of foot type.

Results: FL and IL showed a very high correlation ($r = 0.94$). The correlations between FL or IL and IH ($r = 0.50-0.57$) were greater than those between FL or IL and NH ($r = 0.23-0.72$). Males had significantly larger values than females ($p < 0.001$), and the frequency of pes planus was significantly higher in females than in males ($\chi^2 = 50.09$, $p < 0.001$). Based on the IH/IL index, the neutral foot, pes planus and pes cavus distributed by 16%, 78%, and 6% respectively.

Conclusion: Our results on foot arch distribution could be used as basic data in clinical or footwear fields, and our data on differences in arch structure according to sex may facilitate understanding of why injury to the lower limbs differs between males and females.

INTRODUCTION

인간의 발은 28개의 뼈와 33개의 관절로 구성되어 있으며 근육과 인대와 같은 다양한 연부조직으로 둘러싸여 있다[1]. 이러한 발 구조물들을 통해 발의 아치(arch)는 체중지지 혹은 스포츠 활동 중에 균형을 유지하고 체중을 지탱하며 지면 반발력을 흡수하는 안정화 및 충격 완화 역할을 한다[2]. 발에는 3개의 아치, 즉 안쪽 세로 아치(medial longitudinal arch), 가쪽 세로 아치, 그리고 세로 아치로 구성되어 있다. 이 3개의 발 아치 중에서 안쪽 세로 아치 높이 측정은 임상 연구서 가장 큰

관심을 받아왔다[3-7]. 발 안쪽 부위를 따라 뒤꿈치뼈(calcaneus), 목말뼈(talus), 발배뼈(navicular), 그리고 췌기뼈(cuneiform), 그리고 첫 번째 발허리뼈(first metatarsal)로 구성된 안쪽 세로 아치는 그 높이에 따라 발을 정상 아치 발, 평발(pes planus) 그리고 높은 아치형 발(pes cavus)로 분류한다[8]. 안쪽 세로 아치 구조의 변화 및 비정상적인 자세는 하지의 생체 역학적 변화를 일으킴으로써 근골격계 과사용 증후군 발생과 연관이 있다. 높은 아치형 발은 하지 스트레스 골절, 망치발가락 그리고 갈퀴발가락과 관련이 있고[9,10], 평발은 엄지발가락가쪽굽힘증, 뒤정강근건염 등과 관련이 있다고 보고하였다[11,12].

Kaufman 등[13]은 높은 아치형 발 혹은 평발이 정상 아치 발보다 스트레스 골절이 발생할 가능성이 약 2배 높은 것으로 보고하였다. 따라서, 안쪽 세로 아치 자세에 대한 타당성과 신뢰성을 갖춘 측정방법을 연구하는 것은 지금까지도 계속 진행되고 있다.

발 유형을 구분하기 위해 방사선 및 사진 촬영, 발자국(foot printing), 발바닥 압력 측정, 발배뼈 떨어짐(navicular drop), 발 자세 지수(foot posture index), 복사 바깥굽음 지수(malleolar valgus index), 그리고 3차원 발 스캔(3D foot scan)과 같은 다양한 측정방법들이 있다[1,4,6,14-20]. 이 중 방사선 사진은 발 측정방법의 표준이지만 비용이 많이 들고 복잡한 장비로 전문 지식이 필요하다. 발자국은 저렴하고 신속하지만, 발바닥 연부조직이 결과를 왜곡시키고 아치 구조를 정확하게 나타내지 못한다[21]. 자를 이용한 발배뼈 혹은 발등 아치 높이(dorsal arch height)는 아치의 구조적인 모양 때문에 단독으로 사용될 수 없다. 왜냐하면, 내측 종 아치는 삼각형 형태의 모양으로 아치 길이와 높이와의 관계에 있기 때문이다. 따라서 개인 간의 비교가 가능한 정규화된 아치 높이(normalized arch height)가 개발되어 사용되고 있다[6].

정규화된 아치 높이는 발 길이에 대한 발 높이로 기울기로 뒤꿈치 뼈 경사 각(calcaneal inclination angle)과 뒤꿈치-첫 번째 발허리뼈 각(calcaneal first metatarsal angle)을 나타내며, 다양한 발 길이에서도 아치 높이를 비교할 수 있다[7,22]. 이것은 아치 높이와 발 길이 사이에 선형 관계가 있을 경우에만 그 차이를 인정할 수 있지만 아직까지 아치 높이와 발 길이 사이에 선형 관계가 존재하는 문헌은 찾을 수 없었다[23,24]. Xiong 등[24]과 Hill 등[23]은 3차원 레이저 스캔 기술을 활용하여 발 길이와 아치 높이 사이의 관계를 알아본 결과, 발 길이가 발등 높이의 약한 예측 인자인 것으로 보고되었다. 하지만 이전 연구에서는 두 변수 간의 관계식을 알아보기 위한 대상자 수가 각각 50명과 62명으로 적었다는 제한점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 많은 발 계측자료를 활용하여 발 길이와 높이 사이의 유의한 선형 관계가 있는지를 알아봄으로써 신발 및 인솔 제작 모델을 만드는데 유용한 자료로 활용하고자 한다.

이전 많은 연구자들이 정규화된 발 아치 높이의 타당도와 신뢰도에 대해 보고하였다. 방사선 연구에서 발배뼈 높이는 뒤꿈치 경사각의 최댓값으로 나타내는 발바닥 쪽의 안쪽 세로 아치 높이로 가장 근접한다고 하였고[22,25], 발 전체 길이의 50% 길이에서의 발등 높이(instep height) 즉, 내측 췌기뼈의 높이는 첫 번째 발허리뼈의 경사각을 나타내는 안쪽 세로 아치의 높이를 가장 근접한다고 하였다[6,7,26]. 즉, 발배뼈와 발등 높이의 두 가지 측정방법은 내측 종 아치의 측면 방사선

사진과 비교하여 타당성을 입증하였다. 또한, 성인 발 유형 분류 시 발등 높이를 활용한 아치 높이 지수(arch height index)는 앉은 자세와 선 자세 모두 신뢰도가 매우 높았다($r = 0.86-0.99$) [1,3]. 이전 연구들을 바탕으로 타당성과 신뢰성이 입증된 정규화된 발 아치 높이에 따른 발 유형을 분류할 수 있다(Table 1) [1,22]. 하지만 아직 한국 젊은 성인을 대상으로 정규화된 발 아치 높이에 따른 발 유형 분포를 알아본 연구는 없는 실정이다. 또한, 성별, 나이, 비만 지수와 같은 다양한 요인들이 아치 구조와 연관이 있다[2,27-29]. 특히, 성별에 따른 아치 구조 차이는 성별에 따른 하지의 손상을 이해하는 데 도움이 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 한국 젊은 성인의 성별에 따른 아치 유형의 빈도를 비교하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 대상자 및 자료 획득

발 계측치는 한국인 제 5차 인체치수조사사업(Size Korea)에서 2003년 3월부터 2004년 11월까지, 8세에서 75세까지 남녀 19,200명을 대상으로 전국 시, 도, 구에서 인체치수 및 형상을 측정한 자료 중 20-30대 젊은 성인을 대상으로 한 3D 발 스캔 자료를 조사하였다[30]. 2,076명 자료 중 결측 자료가 있는 98명을 제외한 총 1,978명의 자료를 사용하였으며, 대상자에 대한 일반적 특성은 Table 2에 제시하였다.

한국인 인체치수조사사업에서는 다음과 같은 방법으로 발 계측치를 측정하였다. 3차원 발 측정에 대한 동의서를 작성한 후 3차원 인체 측정 프로토콜에 의해 진행하였으며 발 스캔을 하기 위해 INFOOT 3D Digitalizer 모델 IF-21Series (I-Ware Laboratory Co., Ltd, Osaka, Japan)을 사용하였다. 각 대상자의 특정 해부학적 표시점에 13개의 마커를 붙이고 대상자의 오른쪽 발을 편안한 자세로 레이저 스캐너 내부의 유리 발판 위에 올려놓고 왼쪽 발은 동일한 높이의 스캐너 옆 계단 옆에 놓았다. 소프트웨어를 통해 통합된 데이터로 발이 스캔되었고 발 계측할 수 있도록 오른쪽 발의 3차원 이미지를 형성하였다. 처리된 이미지에서 마커의 위치를 확인하고 자동으로 계산된 치수를 캡처하였다[30].

2. 자료 처리

본 연구에서는 스캔으로 생성된 발 계측 자료 40개 항목 중, 발 전체 길이(foot length), 발등 길이(instep length), 발등 높이(instep

Table 1. Foot type classification based on normalized arch height

Normalized arch height	Pes planus	Normal foot	Pes cavus
NH/IH [22]	≤ 0.213	0.214-0.314	≥ 0.315
IH/IL [1]	≤ 0.345	0.3455-0.364	≥ 0.365

IL, instep length; IH, instep height; NH, navicular height.

Table 2. Subjects characteristics

Variable	Sex		Total (N = 1,978)
	Male (n = 974)	Female (n = 1,004)	
Age	29.45 $\pm$ 5.60	29.48 $\pm$ 5.81	29.47 $\pm$ 5.70
Weight	69.72 $\pm$ 11.11	55.11 $\pm$ 7.93	62.31 $\pm$ 12.09
Height	171.11 $\pm$ 6.28	158.73 $\pm$ 54.29	164.82 $\pm$ 8.52
Body mass index	23.77 $\pm$ 3.37	21.87 $\pm$ 2.97	22.81 $\pm$ 3.31

Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

length), 그리고 발배뼈 높이(navicular height)만을 사용하였다. 4개의 측정자료는 다음으로 정의된다. 1) 발 길이(foot length, FL): 발 축을 따라 측정된 발뒤꿈치점(ponion)과 가장 긴 발가락 사이의 거리, 발 축은 발 뒤꿈치의 후부 중간 점에서 두 번째 발가락까지 발의 시상이 분절로 정의함, 2) 발등 길이(instep length, IL): 발 뒤꿈치의 뒤쪽 면에서 첫 번째 발허리발가락 관절의 관절선까지의 수직 거리, 3) 발등 높이(instep height, IH): 발 전체 길이의 50% 지점에서 발등 부위에서 가장 높은 지점과 지지면 사이의 거리, 4) 발배뼈 높이(navicular height, NH): 발배뼈 거친 면과 지지면 사이의 거리. 본 연구에서는 4개의 발 측정 변수로부터 아래와 같이 계산하여 정규화된 아치 높이 지수 4가지를 구하였다(Figure 1). 1) 발배뼈 높이/발 길이(NH/FL), 2) 발배뼈 높이/발등 길이(NH/IL), 3) 발등 높이/발 길이(IH/FL), 4) 발등 높이/발등 길이(IH/IL).

3. 통계방법

모든 발 측정 변수들에 대한 비모수/모수 통계를 결정하기 위하여 정규성 검정 방법으로 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시한 결과, 유의수준인 0.05보다 작게 나타나 비정규분포임이 확인되었다. 따라서 아래와 같이 모든 자료 분석은 비모수 통계 방법으로 사용하였다. 발 측정 변수들 간의 상관관계를 알아보기 위해 스피어맨 순위 순서 상관분석(Spearman's Rank Order Correlation)을 사용하였다. 성별에 따른 발 측정 변수들의 평균 차이를 알아보기 위해 Mann-Whitney U 검정을 사용하였으며, 성별에 따른 아치 유형의 분포를 비교하고자 카

이제곱-검정(χ^2 -test)을 하였다. 통계 분석은 SPSS software (version 21.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)로 실시하였으며, 통계적 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

RESULTS

성별에 따른 일반적인 특성은 나이를 제외하고 모두 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$) (Table 2). 발 측정 변수들에 관한 기술 통계량은 Table 3에 제시하였으며, 발 측정 변수 간의 상관계수는 Table 4에 제시하였다. 발 길이와 발등 길이는 매우 높은 상관관계를 보였으며($r = 0.94$), 발 길이와의 상관관계에서 발배뼈 높이($r = 0.23$ – 0.72)보다 발등 높이($r = 0.50$ – 0.57)가 더 상관관계가 높았다. 정규화된 아치 높이 지수들은 발 길이에 대해 음의 상관관계를 보였으나 상관관계는 매우 낮았다(Table 4, Figure 2).

모든 발 측정 변수에서 남성이 여성보다 유의하게 컸으며($p < 0.001$) (Figure 3), 발배뼈 높이/발등 길이와 발배뼈 높이/발등 길이 지수에 대한 성별에 따른 발 유형 분포가 유의한 차이를 보였다($\chi^2 = 50.09$, $p < 0.001$). 즉, 남녀 간에 발 유형 분포가 달랐다(Table 5). 발등 높이/발등 길이 지수를 기준으로 평발 78%, 정상 발 16% 그리고 높은 아치형 발은 6%로 분포하였으며, 발배뼈 높이/발등 길이 지수를 기준으로 평발 44%, 정상 발 55%, 그리고 높은 아치형 발은 1%였다.

DISCUSSION

본 연구에서는 발 길이와 발등 길이 사이에 매우 높은 상관관계를 보

Figure 1. Normalized arch height calculation. [1] NH/FL, [2] NH/IL, [3] IH/FL, [4] IH/IL. FL, foot length; IL, instep length; IH, instep height, NH, navicular height.

Table 3. Descriptive statistics for all foot measurements

Variable	Sex		Total (N = 1,978)
	Male (n = 974)	Female (n = 1,004)	
FL	254.30 ± 11.32	232.56 ± 9.71	243.27 ± 15.13
IL	185.72 ± 9.20	170.34 ± 7.72	177.92 ± 11.45
IH	61.07 ± 4.78	54.22 ± 4.03	57.60 ± 5.59
NH	42.72 ± 8.64	37.06 ± 6.78	39.84 ± 8.25
NH/FL	0.168 ± 0.035	0.160 ± 0.030	0.164 ± 0.033
NH/IL	0.231 ± 0.048	0.218 ± 0.042	0.224 ± 0.045
IH/FL	0.240 ± 0.019	0.233 ± 0.019	0.237 ± 0.019
IH/IL	0.329 ± 0.029	0.319 ± 0.027	0.324 ± 0.028

Values are presented as mean ± standard deviation. FL, foot length; IL, instep length; IH, instep height, NH, navicular height.

Table 4. Correlation coefficients between each foot measurement

Variables	IL	IH	NH	NH/FL	NH/IL	IH/FL	IH/IL
FL	0.941*	0.568*	0.273*	-0.036	-0.028	-0.080*	-0.056*
IL		0.499*	0.232*	-0.063*	-0.090*	-0.121*	-0.172*
IH			0.461*	0.305*	0.311*	0.752*	0.742*
NH				0.941*	0.937*	0.340*	0.345*

FL, foot length; IL, instep length; IH, instep height, NH, navicular height. * $p < 0.05$.

Figure 2. Scatter plots among the foot metrics. FL, foot length; IL, instep length; IH, instep height, NH, navicular height.

Figure 3. Sex difference for all foot measurements. FL, foot length; IL, instep length; IH, instep height, NH, navicular height. * $p < 0.001$.

Table 5. Distribution of foot type according to sex based normalized arch height

Sex	NH/IL			IH/IL		
	Pes planus	Neutral foot	Pes cavus	Pes planus	Neutral foot	Pes cavus
Male	360 (18.2)	591 (30.0)	19 (1.0)	699 (35.5)	189 (9.6)	83 (4.2)
Female	499 (25.3)	502 (25.4)	2 (0.1)	837 (42.5)	121 (6.1)	42 (2.1)
Total	859 (43.5)	1,093 (55.4)	21 (1.1)	1,536 (77.9)	310 (15.7)	125 (6.3)

Values are presented as number (%). IL, instep length; IH, instep height; NH, navicular height.

였기 때문에($r = 0.94$), 정규화된 아치 높이를 계산하기 위해 발 길이와 발등 길이 모두 사용이 가능하다. 본 연구와 마찬가지로 이전 연구에서도 발 길이와 발등 길이와의 상관관계($r = 0.97$)뿐만 아니라, 발등 높이/발 길이 지수와 발등 높이/발등 길이 지수 사이의 상관관계가 매우 높았다($r = 0.98$)고 보고하였다[26]. 따라서 임상가들은 발가락 기형이 존재하지 않는 한 발 길이를 사용하고 발 길이로 발등 길이를 예측하여 정규화된 아치 높이를 발등 높이/발등 길이 지수를 예측할 수 있다고 언급하였다. 또한, Williams와 McClay [6]는 갈퀴발가락과 엄지발가락가쪽힘증과 같은 발가락 기형이 있는 경우에는 발 길이에 영향을 줄 수 있으므로 발 길이를 사용한 정규화된 아치 높이는 왜곡될 수 있다고 지적하였다. 본 연구 결과, 발등 높이/발 길이 지수와 발등 높이/발등 길이 지수는 수치적으로 다르므로 상호 교환하여 사용할 수 없으며, 발 기형을 고려한다면 정규화된 아치 높이 지수를 알아보기 위해서는 발 길이보다는 발등 길이를 활용하여 계산하는 것이 타당하다고 사료된다.

본 연구에서는 정규화된 아치 높이를 알아보기 위해 발배뼈 높이와 발등 높이를 사용하였다. 정규화된 아치 높이는 발배뼈 혹은 발등 높이에 대한 발 길이 혹은 발등 길이의 비율기로서 발배뼈 혹은 발등 높이와 발 길이 사이에 선형 관계가 있는 경우에 아치 높이를 정규화할 수 있다. 이전 연구에서의 발 길이 혹은 발등 길이에 대한 발배뼈 높이 혹은 발등 높이의 약한 상관관계와는 달리($r = -0.017-0.117$) [23,24], 본 연구 결과에서는 더 높은 상관관계를 보였다. 또한, 발 길이 혹은 발등 길이에 대한 발배뼈 높이($r = 0.23-0.27$)보다 발등 높이($r = 0.50-0.57$)의 상관관계가 더 높았다. Mcpoil 등[26]은 발배뼈 높이 측정 시 뼈 표식 점을 측정한 것보다 발 길이의 50%에서의 발등 높이를 측정하는 것이 임상가들에게 더 신뢰할 수 있는 측정이라고 언급하였다. 또한, Williams와 McClay [6]는 캘리퍼와 방사선 사진을 이용하여 정규화된 아치 높이 지수들을 조사한 결과, 4개의 지수 중 발등 높이/발등 길이 지수가 가장 신뢰도와 타당도가 높다고 보고하였다. 따라서 이전 연구에서 언급한 내용과 발 길이 혹은 발등 길이에 대한 발배뼈 높이보다 발등 높이의 상관관계가 더 높았던 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 정규화된 아치 높이를 알아보기 위해서는 발배뼈 높이보다는 발등 높이를 활용하는 것을 추천한다.

3차원 레이저 스캔은 캘리퍼 기반의 측정보다 더 빠르게 데이터를 캡처할 수 있다는 장점이 있으며, 임상 연구뿐만 아니라 인간공학 및 신발 연구 분야에서 많이 사용되고 있는 추세이다. 특히 본 연구에서

사용된 스캐너는 측정자 간과 측정자 내 신뢰도가 매우 높았으며 캘리퍼 및 방사선 측정과 비교하여 타당성이 입증되었다[31,32]. Hill 등 [23]은 3차원 레이저 스캔을 활용하여 발 길이와 아치 높이는 유의한 상관관계가 존재하지 않지만 발 길이와 정규화된 아치 높이는 유의한 역의 상관관계를 지녔다고 보고하였다($r = -0.402$ to -0.577). 즉, 짧은 발이 정규화된 아치 지수가 비례적으로 더 높다는 것을 암시한다. 따라서 이들은 신발 아치 스케일링 시 발 길이에 따라 선형 공식이 사용될 수 없음을 언급하였다. 이것은 동일한 발 길이에 대한 정규화된 아치 높이의 변화가 존재한다는 것을 의미하며 정규화된 아치 높이는 발 길이 외에 발 너비와 같은 다른 발 치수에 의존할 수 있음을 나타낸다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 발 길이와 정규화된 아치 높이가 음의 상관관계를 보였으나 상관관계는 유의하지 않았다($r = -0.036$ to -0.172). 이러한 이전 연구와 상반된 연구 결과는 본 연구에서는 정상 발 이외의 다른 발 아치 유형이 포함됐지만, 이전 연구에서는 발 자세 지수(foot posture index)에 의한 정상 발을 선정기준으로 하여 대상을 참여시켰기 때문에 발 길이에 상관없이 정상 아치이므로 정규화된 발 아치 높이는 발 길이와 역의 상관관계로 나타내진 것으로 여겨진다.

이전 연구에서 발 유형별 정규화된 발 아치 높이 값을 제시하였다 [1,22]. 이전 연구에서 제시된 발 유형별 발등 높이/발등 길이 지수에 따라 Song 등[20]의 연구에서는 1,090명의 군인을 대상으로 평발 73.4% (남성: 71.8%, 여성: 92.0%), 정상 발 20.3% (남성: 21.7%, 여성: 5.3%), 그리고 높은 아치형 발은 6.2% (남성: 6.5%, 여성: 2.70%) 분포한다고 보고하였다. 또한, 그들은 흑인이 백인, 아시아인, 그리고 히스패닉에 비해 발등 높이/발등 지수가 낮았으나, 아시아인이 흑인에 비해 보행 중 과도한 엽침(over-pronation)이 일어난다고 보고하였다. 본 연구에서는 평발 78% (남성: 72.0%, 여성 83.7%), 정상 발 16% (남성: 19.5%, 여성: 12.1%) 그리고 높은 아치형 발은 6% (남성: 8.5%, 여성: 4.2%)로 이전 연구와 유사하게 여성이 남성보다 평발이 더 많이 분포하였다. 이전 몇몇 연구에서 발배뼈 떨어짐과 하지 정렬과의 관계를 조사하였다. Nguyen과 Shultz [33]는 발배뼈 떨어짐과 젖힌무릎(genu recurvatum), 정강뼈 비틀림(tibial torsion)과 상관관계가 있다고 보고하였다. 하지만 Medina McKeon과 Hertel [34]는 여성이 남성에 비해 넙다리네갈래근 각(quadriceps angle), 젖힌 무릎(genu recurvatum), 골반 앞 경사 그리고 넙다리 앞경사(femoral anteversion)가 큰 반면에 발배뼈 떨어짐과 정강뼈 안굽음(tibial varum)에는 성별 차

이가 없다고 보고하였고, Shultz 등[35]은 남성에 비해 여성이 엉덩관절의 안쪽회전, 무릎 박굽이 각이 더 컸으나, 발배뼈 떨어짐은 차이가 없다고 보고하였다. 이전 연구들에서는 정규화된 아치 높이가 아닌 발배뼈 떨어짐으로 비교하였다. 향후 연구에서는 성별에 따른 정규화된 발 아치 높이와 하지 정렬의 상관성을 비교하고 발 유형에 따른 하지 과사용 증후군의 빈도를 알아볼 필요가 있을 것이다. 본 연구 결과는 정규화된 발 아치 지수를 바탕으로 한국인의 아치 유형 분포도를 제시함으로써 임상 혹은 발 보조기 분야에서 기초 자료로써 활용하고 성별에 따른 하지 손상 기전을 이해하는데 도움이 될 것으로 기대한다. 또한, 향후 연구에서 기존 연구에서 제시한 정규화된 발 아치 높이를 기준으로 한 발 유형을 성별 혹은 인종 별로 세분화할 필요가 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로 20-30대 젊은 성인을 대상으로 하였기 때문에 본 연구의 결과를 일반화할 수 없다. 아동은 발의 아치가 성장하는 과정이고 노인들은 발의 퇴행성 변화에 의해 아치와 발의 문제점이 많아 다른 연령대에 비해 건강한 발을 선택하다 보니 젊은 성인을 대상으로 선택하였다. 향후 연구에서는 아동과 노인을 포함하여 다양한 연령대에서의 발 계측 변수 간 상관관계와 정규화된 발 아치 지수에 따른 발 아치 유형 분포를 알아볼 필요가 있다. 또한, 비만, 신발 그리고 인종과 같은 다양한 요인들이 정규화된 아치 높이 지수에 미치는 영향을 알아볼 필요가 있을 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 20-30대 젊은 성인의 3차원 발 스캔 자료를 통해 발 계측 변수 간의 상관관계와 정규화된 발 아치 지수를 계산하여 남녀 간의 발 유형 분포도를 알아보았다. 연구 결과, 발 길이와 발등 길이 사이에 매우 높은 상관관계가 있으며 발 길이 혹은 발등 길이에 대한 발등 높이의 상관관계가 발배뼈 높이보다 높았다. 따라서 4가지 정규화된 아치 높이 중 발등 높이/발등 길이 지수를 추천한다. 발등 높이/발등 길이 지수를 기준으로 평발 78%, 정상 발 16% 그리고 높은 아치형 발 6%로 평발이 정상 발보다 많았다. 또한, 모든 발 계측 변수에서 남성이 여성보다 유의하게 컸으며, 여성이 남성에 비해 평발이 더 많이 분포되었다. 본 연구에서는 정규화된 발 아치 지수를 바탕으로 한국인의 아치 유형 분포도 결과를 제시함으로써 임상 혹은 발 보조기 분야에서 기초 자료로써 활용하고 성별에 따른 아치 구조 차이는 성별에 따른 하지 손상을 이해하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is the result of a study on the research year (2020) at Joongbu University.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

- Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB, et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. *Gait Posture* 2013;37(3): 445-51.
- Zhao X, Gu Y, Yu J, Ma Y, Zhou Z. The influence of gender, age, and body mass index on arch height and arch stiffness. *J Foot Ankle Surg* 2020;59(2):298-302.
- Butler RJ, Hillstrom H, Song J, Richards CJ, Davis IS. Arch height index measurement system: establishment of reliability and normative values. *J Am Podiatr Med Assoc* 2008;98(2): 102-6.
- Pohl MB, Farr L. A comparison of foot arch measurement reliability using both digital photography and calliper methods. *J Foot Ankle Res* 2010;3:14.
- Saltzman CL, Nawoczenski DA, Talbot KD. Measurement of the medial longitudinal arch. *Arch Phys Med Rehabil* 1995;76(1): 45-9.
- Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Phys Ther* 2000;80(9):864-71.
- Xiong S, Goonetilleke RS, Witana CP, Weerasinghe TW, Au EY. Foot arch characterization: a review, a new metric, and a comparison. *J Am Podiatr Med Assoc* 2010;100(1):14-24.
- Root ML, Orien WP, Weed JH. Normal and abnormal function of the foot. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corp.;1977;2.
- De Doncker E, Kowalski C. [The normal and pathological foot. Concepts of anatomy, physiology and pathology of foot deformities]. *Acta Orthop Belg* 1970;36(4):386-551. French.
- Sugathan HK, Sherlock DA. A modified Jones procedure for managing clawing of lesser toes in pes cavus: long-term follow-up in 8 patients. *J Foot Ankle Surg* 2009;48(6):637-41.
- Ledoux WR, Shofer JB, Ahroni JH, Smith DG, Sangeorzan BJ, Boyko EJ. Biomechanical differences among pes cavus, neutrally aligned, and pes planus feet in subjects with diabetes. *Foot Ankle Int* 2003;24(11):845-50.
- Levy JC, Mizel MS, Wilson LS, Fox W, McHale K, Taylor DC, et al. Incidence of foot and ankle injuries in West Point cadets

- with pes planus compared to the general cadet population. *Foot Ankle Int* 2006;27(12):1060-4.
13. Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, Johnson CW, Cullison TR. The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med* 1999;27(5):585-93.
 14. Chang CH, Chen YC, Yang WT, Ho PC, Hwang AW, Chen CH, et al. Flatfoot diagnosis by a unique bimodal distribution of foot-print index in children. *PLoS One* 2014;9(12):e115808.
 15. Coughlin MJ, Kaz A. Correlation of Harris mats, physical exam, pictures, and radiographic measurements in adult flatfoot deformity. *Foot Ankle Int* 2009;30(7):604-12.
 16. Evans AM, Copper AW, Scharfbillig RW, Scutter SD, Williams MT. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. *J Am Podiatr Med Assoc* 2003;93(3):203-13.
 17. Gilmour JC, Burns Y. The measurement of the medial longitudinal arch in children. *Foot Ankle Int* 2001;22(6):493-8.
 18. Queen RM, Mall NA, Hardaker WM, Nunley JA 2nd. Describing the medial longitudinal arch using footprint indices and a clinical grading system. *Foot Ankle Int* 2007;28(4):456-62.
 19. Scharfbillig R, Evans AM, Copper AW, Williams M, Scutter S, Iasiello H, et al. Criterion validation of four criteria of the foot posture index. *J Am Podiatr Med Assoc* 2004;94(1):31-8.
 20. Song J, Hillstrom HJ, Secord D, Levitt J. Foot type biomechanics. Comparison of planus and rectus foot types. *J Am Podiatr Med Assoc* 1996;86(1):16-23.
 21. Weimar WH, Shroyer JF. Arch height index normative values of college-aged women using the arch height index measurement system. *J Am Podiatr Med Assoc* 2013;103(3):213-7.
 22. Murley GS, Menz HB, Landorf KB. A protocol for classifying normal- and flat-arched foot posture for research studies using clinical and radiographic measurements. *J Foot Ankle Res* 2009;2:22.
 23. Hill M, Naemi R, Branthwaite H, Chockalingam N. The relationship between arch height and foot length: Implications for size grading. *Appl Ergon* 2017;59(Pt A):243-50.
 24. Xiong S, Goonetilleke RS, Witana CP, Lee Au EY. Modelling foot height and foot shape-related dimensions. *Ergonomics* 2008;51(8):1272-89.
 25. Razezghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture* 2002;15(3):282-91.
 26. McPoil TG, Cornwall MW, Vicenzino B, Teyhen DS, Molloy JM, Christie DS, et al. Effect of using truncated versus total foot length to calculate the arch height ratio. *Foot (Edinb)* 2008;18(4):220-7.
 27. Dunn J, Dunn C, Habbu R, Bohay D, Anderson J. Effect of pregnancy and obesity on arch of foot. *Orthop Surg* 2012;4(2):101-4.
 28. Zhao X, Tsujimoto T, Kim B, Katayama Y, Tanaka K. Characteristics of foot morphology and their relationship to gender, age, body mass index and bilateral asymmetry in Japanese adults. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2017;30(3):527-35.
 29. Zifchock RA, Davis I, Hillstrom H, Song J. The effect of gender, age, and lateral dominance on arch height and arch stiffness. *Foot Ankle Int* 2006;27(5):367-72.
 30. SizeKorea. 5th size Korea. Korean Agency for Technology and Standards [Internet]. Eumseong: 2004 Nov [cited 2020 Mar 1]. Available from: <https://sizekorea.kr/page/report/3>.
 31. De Mits S, Coorevits P, De Clercq D, Elewaut D, Woodburn J, Roosen P. Reliability and validity of the Infoot 3D foot digitizer for normal healthy adults. *Footwear Sci* 2010;2(2):65-75.
 32. De Mits S, Coorevits P, De Clercq D, Elewaut D, Woodburn J, Roosen P. Reliability and validity of the INFOOT three-dimensional foot digitizer for patients with rheumatoid arthritis. *J Am Podiatr Med Assoc* 2011;101(3):198-207.
 33. Nguyen AD, Shultz SJ. Identifying relationships among lower extremity alignment characteristics. *J Athl Train* 2009;44(5):511-8.
 34. Medina McKeon JM, Hertel J. Sex differences and representative values for 6 lower extremity alignment measures. *J Athl Train* 2009;44(3):249-55.
 35. Shultz SJ, Nguyen AD, Schmitz RJ. Differences in lower extremity anatomical and postural characteristics in males and females between maturation groups. *J Orthop Sports Phys Ther* 2008;38(3):137-49.