



소아 편평족 환자에서 Pressure Based Customized 3-Dimensional Printing Insole의 유용성

이시욱, 최정훈, 권혁준, 송광순

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

Effect of Pressure Based Customized 3-Dimensional Printing Insole in Pediatric Flexible Flat Foot Patients

Si-Wook Lee, Jung-Hoon Choi, Hyuk-Jun Kwon, Kwang-Soon Song

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

Purpose: A flatfoot that fails to form a longitudinal foot arch is a common lower limb deformity in children. This study evaluated the structural and functional effects of the insole for pediatric flexible flat foot (PFFF).

Materials and Methods: Twenty-nine PFFF patients (20 boys and 9 girls, 58 feet) with bilateral symptomatic flatfoot deformities between February 2017 and May 2019 were included in this study. Sixteen patients (32 cases, study group) were treated with a pressured based 3-dimensional printing insole, and 13 patients (26 cases, control group) were followed up regularly without any treatment. Flatfoot was diagnosed by a lateral talo-first metatarsal angle of more than 4° in convex downward and talocalcaneal angles of more than 30° and a calcaneal pitch of less than 20°. The foot pressures, including the midfoot pressure, total foot pressure, and the ratio of the midfoot pressure to the total foot pressure, were evaluated by pedobarography. The clinical scores were assessed using the visual analogue scale (VAS), American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS), and Pediatrics Outcomes Data Collection Instrument (PODCI) scores.

Results: The mean age of the study group was 9.16 years, and the mean age of the control group was 7.73 years. The mean follow-up period was 16 months. The change in the lateral talocalcaneal angle was $-4.664 \pm 1.239^\circ$ in the study group and $-0.484 \pm 1.513^\circ$ in the control group. A significant difference in the amount of change of the lateral talocalcaneal angle was observed between the two groups ($p=0.034$). The midfoot pressures were similar in the two groups.

Conclusion: Pressure based customized 3-dimensional printing insole in PFFF may have some effect on the hindfoot bony alignment, but it does not affect the changes in midfoot pressure.

Key Words: Flexible flatfoot, Foot orthoses, 3-dimensional printing

서론

편평족은 족부의 내측 세로궁이 소실되어 족저부가 편평해진 변형을 총칭하며 신체검사상 후족부의 외반과 전족부의 외전소견을 보인다. 이러한 족부 내측 세로궁의 소실은 소아에서 대부분의 경우 정상적인 소견이며 무증상으로 치료가 필요 없고 대부분 10세까지 정상적으로 발달된다.^{1,2)} 그러나 증상이 있는 유연성 편평족 환자의 경우 보조기를 통하여 치료할 수 있으며 그 효과에 대해 많은 저자들의 의견이 아직 분분하고 대부분 방사선학적 지표로 대상으로 한 연구이다.³⁻¹⁰⁾ 소아의 경우 다른 연령에 비해 연부조직이 풍부하고 골화

Received March 23, 2020 Revised June 12, 2020 Accepted July 20, 2020

Corresponding Author: Jung-Hoon Choi

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, 1035 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Korea

Tel: 82-53-258-4773, Fax: 82-53-258-4773, E-mail: cjh0487@dsmc.or.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3687-889X>

This article was presented at 2019 Autumn Congress of Korean Foot and Ankle Society.

Financial support: None.

Conflict of interest: None.

Copyright © 2020 Korean Foot and Ankle Society. All rights reserved.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중심이 4세 이후 발달하여 방사선학적 진단이 어려운 경우가 많아 최근 족저압 검사가 많이 이용되고 있다.¹¹⁾

또한 보조기의 유형에도 신발 안에 넣어서 착용하는 삽입물 혹은 맞춤형 제작 보조기와 같은 다양한 방법들이 시도되고 있다. 최근에는 컴퓨터를 이용하여 환자의 개개인의 족저압력을 기반으로 한 삼차원(3-dimensional, 3D) 프린팅 맞춤형 삽입물을 제작하는 기술이 개발되어 사용되고 있다. 기존의 기립자세에서 조형(molding)하여 제작하는 전통적인 방식에 비하여 3D 프린팅 맞춤형 삽입물은 측정 및 제작 시 발생할 수 있는 오차를 줄이고 3D 프린팅 소프트웨어를 통하여 더욱 개별화된 보조기를 제작할 수 있도록 한다.^{12,13)} 또한 측정할 동적 족저압력에 기반하여 제작하기 때문에 사진 제작되어 판매되는 제품보다 더욱 편한 착용감을 주며 족부 생체 역학의 변화에 더욱 효율적으로 작용할 수 있다고 알려져 있다.^{14,15)}

이에 저자들은 증상이 있는 소아 유연성 편평족 환자에서 족저압력 기반으로 제작된 개별 맞춤형 3D 프린팅 맞춤형 삽입물 착용 전후의 방사선학적, 임상적 그리고 동적 족저압력 분포의 변화를 알아 보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

2017년 2월부터 2019년 5월까지 본원 외래를 내원한 소아 환자 중 증상이 있는 유연성 편평족 환자는 총 46명이었다. 그중 4세까지는 족부 골화 중심이 잘 나타나지 않아 방사선학적 측정이 어려워¹⁶⁾ 5세부터 성장판이 닫히는 시기인 남자는 16세, 여자는 14세까지를 대상으로 하여 총 29명(남자 20명, 여자 9명)을 대상으로 연구를 진행하였다. 족부 내측 종아치의 감소 정도에 대한 방사선학적 편평족의 진단 기준에 대해 논란¹⁷⁾이 있어 본 연구에서는 측면 방사선 검사상 거골-제 1중족골 간 각(talo-first metatarsal angle)은 첨부가 발바닥을 향하며 4도 이상, 거골각(talocalcaneal angle)은 30도 이상, 종골경사각(calcaneal pitch)은 20도 이하를 편평족으로 정의하였다.¹⁸⁾ 수직 거골, 거골유합, 신경학적 질환과 같은 경직성 편평족 환자들은 제외하였다. 경미한 족부 혹은 종아리 통증, 보행 시 피로감, 보행 장애 등의 증상으로 내원한 환자들에게 3D 프린팅 맞춤형 삽입물의 사용을 보호자에게 권하여 보조기 치료를 시행한 경우 실험군으로 선정하였다. 실험군은 16명(남자 10명, 여자 6명; 32예)이었으며, 단순 경과관찰을 시행한 대조군은 13명(남자 10명, 여자 3명; 26예)이었다. 모든 환자에서 초진 및 최종 추시 시 단순 방사선 검사(plain radiography), 동적 족저압 검사(pedobarography) 및 임상적 결과 측정을 위한 시각통증척도(visual analogue scale, VAS), American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS), 소아 결과자료수집도구(Pediatrics Outcomes Data Collection Instrument, PODCI) 점수를 측정하였다.

본 연구는 의무 기록과 방사선 사진 및 동적 족저압 기록을 참조하여 후향적 분석을 하였고 계명대학교 동산병원 의학연구 윤리심의위원회(승인번호: 2019-09-033)의 승인을 받아 진행되었다.

2. 연구방법

1) 단순 방사선 검사

초진 및 최종 추시 시 양하지를 신전, 중립위로 위치한 후 맨발로 체중부하 상태에서 측면 방사선 사진을 촬영하여 거골-제 1중족골 간 각, 거골각, 종골경사각을 측정하였다(Fig. 1). 초진 및 최종 추시 간의 방사선학적 지표 변화량을 측정하여 실험군 및 대조군에서의 호전 정도를 평가하였다.

2) 동적 족저압 검사

모든 환자에서 초진 시와 최종 추시 관찰 시에 족저압 검사를 시행하여 보행 시 족저압 분포를 측정하였다. 족저압 측정에는 동적 족저압 분석장치(footscan[®] systems; RSscan international NV, Paal, Belgium)를 사용하였으며 1,605 mm×469 mm×18 mm 크기의 발판에 12,288개의 센서가 내장되어 있으며 족부가 족저압 판에 접촉 순간 200 Hz로 족저압을 측정하였다. 사전에 족저압을 측정할 환자와 보호자에게 측정방법에 대하여 충분히 설명을 하고 맨발로 편안한 속도로 보행하게 하여 8~12회의 동적 족저압 측정값의 평균을 사용하였다. 족저압력 분석에는 족저압 소프트웨어(v9 Scientific software; RSscan International NV)를 이용하여 분석하였으며 족부를 족지부 2구역, 전족부 5구역, 중족부, 후족부 2구역으로 나누었다. 보행 시 각 족부구역마다 가해지는 압력을 측정하여 보행 시 중족부 및 전체 족부의 단위면적당 압력(N/cm²)을 측정하였다. 전체 족부의 단위면적당 압력, 중족부위의 단위면적당 압력, 전체 족부에 대한 중족부위의 단위면적당 압력 분포 비율을 측정하여 실험군과 대조군을 서로 비교하였다(Fig. 2).



Figure 1. Radiographic parameters are shown on weight-bearing lateral radiograph. a: talo-first metatarsal angle, b: talocalcaneal angle, c: calcaneal pitch angle.

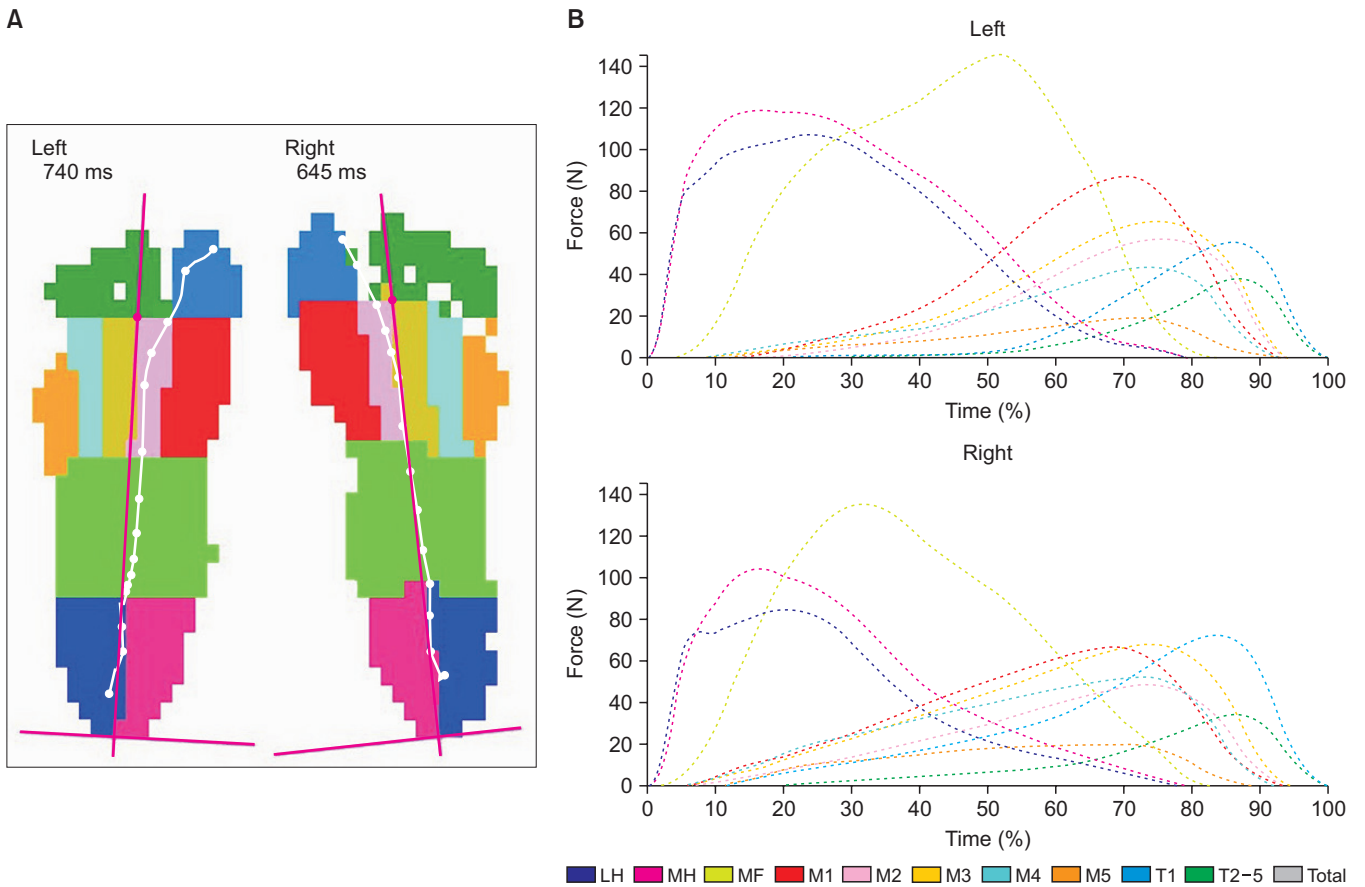


Figure 2. Pedobarographic result. (A) Ten anatomical zones. (B) Graph shows the ten anatomical zones analysis of the dynamic recording.



Figure 3. Three-dimensional printing insole.

초진 시 실험군 및 대조군 모두에서 동적 족저압 검사를 시행한 후 실험군은 동적 족저압 분석장치로 분석한 데이터를 기반으로 제작한 3D 프린팅 맞춤형 삽입물(Phits insole; RSprint, Beringen, Belgium)을 추시기간 동안 착용하도록 하였다. 3D 프린팅 맞춤형 삽입물은 에틸렌초산비닐(ethylene vinyl acetate)성분으로 구성되어 있으며 개개인에 맞추어 3D 프린팅기술을 통하여 제작되었다(Fig. 3). 최종 추시 관찰 시 실험군 및 대조군에서 동적 족저압 검사를 시행하였으며 실험군과 대조군 모두 맨발로 동적 족저압 측정을 시행하여 단위면적당 증축부 및 전체 족부의 압력분포를 측정하였다.

3) 임상적 평가

임상적 평가(clinical score)로는 VAS와 AOFAS 및 PODCI를 조사하였다. 초진 및 최종 추시 관찰 시 설문지를 통하여 환자의 임상 경과를 조사하였고 환자 본인이 정확한 의사 표현을 하지 못하는 경우에는 보호자의 환자에 대한 경과 설명으로 대신하였다.

통계적인 검증은 T&F software ver. 3.0 (YooJin BioSoft, Goyang, Korea) 및 R language ver. 3.3.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 이용하였다. 3D 프린팅 맞춤형 삽입물을 사용한 실험군과 대조군 사이의 단순 방사선 검사 및 동적 족저압 검사의 결과값을 서로 비교하였다. 두 군 간의 비교를 위하여 independent two sample t-test, chi-squared test, ANCOVA

(analysis of covariance)를 이용하여 분석하였다. 통계적 유의 수준은 5% ($p < 0.05$)로 하였다.

결 과

3D 프린팅 맞춤형 삽입물을 사용한 실험군(남자 10명, 여자 6명: 32예)의 연령은 평균 9.16 ± 3.53 세였으며 대조군(남자 10명, 여자 3명: 26예)의 연령은 평균 7.73 ± 2.37 세였다. 평균 체중은 실험군에서 39.26 ± 19.71 kg, 대조군에서 30.91 ± 16.5 kg이었으며 연령과 체중에서 두 군 간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.072$, $p=0.085$, respectively). 평균 추시기간은 실험군이 15.44 ± 5.49 개월이었고 대조군이 15.62 ± 6.78 개월로 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.914$). 첫 내원 시 체중부하 단순 방사선 검사상 측면 거골-제 1중족골 간 각 및 측면 거종각은 실험군과 대조군에서 통계적인 유의한 차이가 없었다($p=0.720$, $p=0.775$, respectively). 첫 내원 시 종골경사각은 실험군에서 8.06 ± 3.14 도였고 대조군에서 11.53 ± 4.54 도였으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.002$; Table 1).

1. 단순 방사선 검사

측면 거종각의 변화량은 실험군에서 -4.92 ± 1.43 도, 대조군에서 0.04 ± 1.18 도로 측면 거종각의 감소량은 대조군에 비하여 실험군에

서 더 컸으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.012$). 반면 측면 거골-제 1중족골 간 각 및 종골경사각의 변화량은 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

2. 동적 족저압 검사

첫 내원 시 측정된 중족부 및 전체 족부의 단위면적당 압력값과 전체 족부에 대한 중족부 단위면적당 압력의 비는 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1). 최종 추시 시 중족부 단위면적당 압력의 변화량, 전체 족부의 단위면적당 압력의 변화량, 전체 족부에 대한 중족부 단위면적당 압력의 변화량은 두 군 간에 통계적인 차이가 없었다(Table 3).

3. 임상적 평가

PODCI happiness scale의 변화량은 실험군에서 37.36 ± 17.67 이었으며 대조군에서 -4.92 ± 1.68 로 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.023$). 그 외 다른 임상적 점수는 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

위의 통계 분석 결과를 바탕으로 각 변수들을 성별, 체중 및 각 변수의 치료 전 측정값으로 보정한 후 각 변수의 치료 후 변화량이 실험군과 대조군 간에 차이가 있는지 분석하였다. 공변량 제어 후 측면 거종각 변화량의 최소 제곱 평균은 실험군에서 -4.664 ± 1.239 도이며 대조군에서 -0.484 ± 1.513 도로 통계적으로 유의한 차이가 있

Table 1. Baseline Characteristics of Variables

Variable	Study group (n=32)	Control group (n=26)	p-value*
Age (yr)	9.16±3.53	7.73±2.37	0.072
Sex (male:female)	10:6	10:3	0.238
Follow-up (mo)	15.44±5.49	15.62±6.78	0.914
Weight (kg)	39.26±19.71	30.91±16.5	0.085
Initial lateral talo-first metatarsal angle (°)	16.22±11	15.28±8.94	0.720
Initial lateral talocalcaneal angle (°)	46.9±9.76	46.28±6.6	0.775
Initial calcaneal pitch (°)	8.06±3.14	11.53±4.54	0.002
Initial midfoot pressure (N/cm ²)	243.51±123.76	190.12±140.4	0.135
Initial total foot pressure (N/cm ²)	3,968.8±1,501.31	3,349.32±1,670.15	0.139
Initial midfoot/total foot pressure percentage (%)	6.04±1.78	5.46±1.75	0.218

Values are presented as mean±standard deviation.

n: number of feet, Study group: pressure based 3-dimensional printing insole group, Control group: observation group.

*The p-values for continuous variables are computed using independent two sample t-test. The p-values for categorical variables are computed using chi-squared test. The level of significance was set at $p < 0.05$.

Table 2. Mean Comparison Analysis of Radiographic Parameters between Study Group and Control Group

Variable	Study group (n=32)	Control group (n=26)	p-value*
ΔLateral talo-first metatarsal angle (°)	-6.02±1.22	-2.65±1.79	0.127
ΔLateral talocalcaneal angle (°)	-4.92±1.43	0.04±1.18	0.012
ΔCalcaneal pitch (°)	1.82±0.6	0.25±0.54	0.065

Values are presented as mean±standard error.

n: number of feet, Study group: pressure based 3-dimensional printing insole group, Control group: observation group, Δ: delta.

*The p-values for continuous variables are computed using independent two sample t-test (statistically significant $p < 0.05$).

Table 3. Mean Comparison Analysis of Pedobarography between Study Group and Control Group

Variable	Study group (n=32)	Control group (n=26)	p-value*
ΔMidfoot pressure (N/cm ²)	13.62±26.33	-4.68±12.03	0.531
ΔTotal foot pressure (N/cm ²)	328.96±226.21	198.2±168.92	0.645
ΔMidfoot/total foot pressure percentage (%)	-0.33±0.34	0.06±0.28	0.398

Values are presented as mean±standard error.

n: number of feet, Study group: pressure based 3-dimensional printing insole group, Control group: observation group, Δ: delta.

*The p-values for continuous variables are computed using independent two sample t-test (statistically significant p<0.05).

Table 4. Comparison of Least-Square Means of Responses between Study Group and Control Group after Controlling Covariates

Variable	Study group (n=32)	Control group (n=26)	p-value*
ΔLateral talo-first metatarsal angle (°)	-5.711±1.253	-3.725±1.519	0.308
ΔLateral talocalcaneal angle (°)	-4.664±1.239	-0.484±1.513	0.034
ΔCalcaneal pitch (°)	1.476±0.563	-0.312±0.689	0.054
ΔMidfoot pressure (N/cm ²)	15.26±20.481	-26.885±24.844	0.185
ΔTotal foot pressure (N/cm ²)	365.047±203.396	299.316±240.709	0.831
ΔMidfoot/total foot pressure percentage (%)	-0.329±0.27	-0.575±0.335	0.562
ΔVAS	-0.955±0.175	-0.842±0.209	0.671
ΔAOFAS	5.606±0.98	5.222±1.171	0.798
ΔPODCI (standardized mean)			
Transfer & basic mobility scale	1.414±0.509	1.838±0.608	0.588
Sports and physical functioning scale	4.955±1.231	1.628±1.506	0.090
Pain/comfort scale	8.285±2.182	4.002±2.686	0.224
Happiness scale	9.609±1.98	-5.353±2.377	<0.001
Global functioning scale	3.285±0.788	2.417±0.969	0.490

Values are presented as least square means±standard error.

n: number of feet, Study group: pressure based 3-dimensional printing insole group, Control group: observation group, Δ: delta, VAS: visual analogue scale, AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society, PODCI: Pediatrics Outcomes Data Collection Instrument.

*The p-values are computed using ANCOVA (analysis of covariance) by adjusting covariates such as sex, weight, and each variable's measured value before treatment (statistically significant p<0.05).

었다(p=0.034). 동적 족저압 분석 검사에서 측정된 압력변수들의 변화량은 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 임상적 평가 시 사용한 PODCI happiness scale은 두 군 간 유의한 차이가 있었다(p<0.001). 그 외 다른 임상적 지표는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 본 연구에서 비교한 변수들 중 최종적으로 측면 거종각의 변화량 및 PODCI happiness scale의 변화량만이 두 군 간 유의한 차이를 나타내었다(Table 4).

고 찰

내측 세로궁은 출생 당시에는 나타나지 않으며 유아에서는 지방 조직이 위치하여 내측 세로궁을 관찰하기 힘들고 이후 성장에 따라 발달하게 된다. 정상적인 족저궁 발달에서 가장 중요한 시기는 6세 경으로 알려져 있으며 이후 10세경까지 점진적으로 내측 세로궁이 발달하게 된다.^{1,6,19)} 이 시기의 유연성 편평족 환자들은 비록 중대한 장애를 일으키지는 않지만 변형을 교정해야 하는지, 혹은 방치하였을 경우 변형이 진행하거나 성인이 되었을 때 통증이 발생하거나 기능 장애를 초래하게 되는지에 대한 걱정으로 병원을 방문하는 경우

가 많다.²⁰⁾

증상이 없는 유연성 편평족은 치료를 필요로 하지 않으나 활동과 관련된 족부 통증이나 피로감을 쉽게 느끼는 경우, 족부 내측에 굳은살이 발생하는 경우, 신발이 비정상적으로 빨리 닳는 경우 치료를 요한다.²¹⁾

많은 저자들이 종아치 형성 및 골배열 효과에 대한 보조기 착용과의 연관성을 연구하였다. 유연성 편평족 환자에서 보조기 착용 전후 방사선학적 검사에서 거종각이 통계적으로 유의한 차이가 있으며 보조기가 후족부 골배열에 영향이 있다는 보고가 있다.²²⁾ 다른 연구에서도 편평족 환자에서 보조기가 제한적으로나마 후족부 외반정렬을 교정하는 효과가 있음이 밝혀졌다.²³⁾ 편평족 환자와 정상군의 거골과 종골 간의 관계에 대한 연구에서 정상군에서는 아탈구가 없었으나 편평족에서는 체중부하가 증가할수록 아탈구가 늘어났다는 보고가 있다.²⁴⁾ 소아 편평족 환자에서 보조기를 사용한 최근 연구에서는 보조기를 사용 후 방사선학적 족부 지표의 호전은 보였으나 비정상 범위에 머물러 있었다.²⁵⁾ 본 연구에서도 보조기를 사용한 그룹에서 측면 거종각의 변화량은 통계적으로 대조군과 유의한 차이를 보이며 호전을 보였으나 방사선학적으로 정상범위에 도달하지는 못하였다



Figure 4. Initial (A) and last follow-up (B) radiograph. Radiographic parameters were improved in last follow-up radiograph. But all values were still within the abnormal range.

(Fig. 4). 다만 본 연구에서는 실험군에서 최종 추시 시 보조기를 벗은 상태에서 체중부하 방사선 검사를 시행하여 각 방사선학적 지표를 연구하였으며 이는 보조기를 착용한 직후의 일시적인 골배열 효과뿐만 아니라 장기적으로도 골배열에 영향을 줄 수도 있음을 시사한다고 생각한다.

편평족의 내측 종아치의 높이를 측정하는 것은 편평족의 진단에 필수적이며 신체 진찰 이외에도 비교적 저렴하고 친숙한 방사선 검사를 통하여 편평족의 해부병리적 변형 정도를 측정할 수 있다. 하지만 소아의 경우 다른 연령에 비하여 족부의 연부조직이 풍부하고 골화 중심이 4세까지는 잘 나타나지 않으며 10세까지는 방사선학적 검사를 통하여 얻는 정보에 제한이 있다. 또한 방사선 검사는 체중부하 상태에서 정적인 순간을 반영하므로 기능적으로 동적인 순간이 많은 족부의 특징을 반영하는 데 한계가 있어 이러한 단점을 극복하고자 최근에는 족저압 검사가 많이 이용되고 있다. 소아 유연성 편평족 환자들에서 방사선학적인 지표와 족저압 지표들의 연관성이 있다는 보고가 있다.¹¹⁾ 소아 유연성 편평족 환자에서 보조기 착용 후 즉시 시행한 동적 족저압 검사에서 의료용 신발을 착용한 경우에 비하여 압력중심축 변화량의 감소, 각 족적의 보폭 및 넓이의 동일성이 증가한 보고가 있다.²⁶⁾ 하지만 유연성 편평족 환자에서 보조기 착용 후 족부 압력변화 자체에 대한 연구는 흔하지 않으며 또한 대부분 추시기간 없이 보조기 착용 직후 족저압 검사를 시행한 연구가 대부분이다. 본 연구에서는 소아 유연성 편평족 환자에서 평균 16개월 추시 관찰 후 족저압력 변화를 연구하였다. 본 연구의 결과에서 실험군과 대조군 간 중족부 및 전체 족부의 단위면적당 압력 및 전체 족부에 대한 중족부의 단위면적당 압력 비율이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 방사선학적으로는 거골과 종골의 배열에 영향을 주는 것으로 보이거나 실제 보행 시 중족부에 가해지는 단위면적당 압

력에는 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

이번 연구를 통하여 유연성 편평족 환자들에서 내측 세로궁 지지대의 사용이 방사선학적 및 족저압에 미치는 영향을 확인할 수 있었으나 몇 가지 제한사항이 있었다. 후향적 연구로 조사 대상의 수가 적고 각 군 간 추시기간이 짧았다. 또한 환자군 대부분은 소아로 임상적 결과 측정을 위한 설문조사가 환자뿐만 아니라 보호자에 의해 이루어져 환자의 현재 상태와 일치하지 않을 수 있다는 제한점이 있었다. 그리고 동적 족저압 검사 전 환자 및 보호자에게 사전에 충분히 검사 방법에 대하여 설명한 후 8~12회 이상의 반복적인 검사를 시행하여 불안정하고 부자연스러운 보행을 제외하려고 하였으나 완전히 배제할 수는 없었다는 점이 있다. 본 연구에서는 동적 족저압 검사로 측정된 수치를 통하여 3D 프린팅 맞춤형 삽입물을 제작하였으며 이로 인하여 일반 맞춤형 보조기를 제작하기 위한 조형과정을 생략할 수는 있었으나 두 가지 보조기의 효과에 대하여는 서로 비교하지 못하여 추가적인 연구가 필요할 것이라 생각된다. 만약 더 많은 수의 환자군과 더 오랜 추시기간을 통하여 본 연구를 시행한다면 더욱 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다.

결론

소아의 유연성 편평족 환자에서 족저압력 기반 3D 프린팅 맞춤형 삽입물의 사용은 방사선학적으로 측면 거중각의 변화량에 영향을 주었으나 동적 족저압 검사상 중족부 압력의 변화에는 영향을 미치지 않았다.

ORCID

Si-Wook Lee, <https://orcid.org/0000-0002-2733-6992>

Hyuk-Jun Kwon, <https://orcid.org/0000-0003-1778-5134>

Kwang-Soon Song, <https://orcid.org/0000-0001-6029-1901>

REFERENCES

1. Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69:426-8.
2. Vanderwilde R, Staheli LT, Chew DE, Malagon V. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70:407-15.
3. Bok SK, Kim BO, Lim JH, Ahn SY. Effects of custom-made rigid foot orthosis on pes planus in children over 6 years old. *Ann Rehabil Med.* 2014;38:369-75. doi: 10.5535/arm.2014.38.3.369.
4. Bordelon RL. Correction of hypermobile flatfoot in children by molded insert. *Foot Ankle.* 1980;1:143-50. doi: 10.1177/107110078000100303.
5. Choi JY, Hong WH, Suh JS, Han JH, Lee DJ, Lee YJ. The long-

- term structural effect of orthoses for pediatric flexible flat foot: a systematic review. *Foot Ankle Surg.* 2020;26:181-8. doi: 10.1016/j.fas.2019.01.007.
6. Gould N, Moreland M, Alvarez R, Trevino S, Fenwick J. Development of the child's arch. *Foot Ankle.* 1989;9:241-5. doi: 10.1177/107110078900900506.
 7. Kanath U, Aktas E, Yetkin H. Do corrective shoes improve the development of the medial longitudinal arch in children with flexible flat feet? *J Orthop Sci.* 2016;21:662-6. doi: 10.1016/j.jos.2016.04.014.
 8. Mereday C, Dolan CM, Lusskin R. Evaluation of the University of California Biomechanics Laboratory shoe insert in "flexible" pes planus. *Clin Orthop Relat Res.* 1972;82:45-58.
 9. Riccio I, Gimigliano F, Gimigliano R, Porpora G, Iolascon G. Rehabilitative treatment in flexible flatfoot: a perspective cohort study. *Chir Organi Mov.* 2009;93:101-7. doi: 10.1007/s12306-009-0037-z.
 10. Wenger DR, Mauldin D, Speck G, Morgan D, Lieber RL. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71:800-10.
 11. Seol YJ, Jung ST, Yang HK, Lee KB, Oh CS, Jung YJ, et al. Diagnostic availability of pedobarography and correlation of radiographic and pedobarographic measurements in pediatric flexible flatfoot. *J Korean Orthop Assoc.* 2014;49:366-73. doi: 10.4055/jkoa.2014.49.5.366.
 12. Erdemir A, Saucerman JJ, Lemmon D, Loppnow B, Turso B, Ulbrecht JS, et al. Local plantar pressure relief in therapeutic footwear: design guidelines from finite element models. *J Biomech.* 2005;38:1798-806. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.09.009.
 13. Telfer S, Gibson KS, Hennessy K, Steultjens MP, Woodburn J. Computer-aided design of customized foot orthoses: reproducibility and effect of method used to obtain foot shape. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93:863-70. doi: 10.1016/j.apmr.2011.12.019.
 14. Cha YH, Lee KH, Ryu HJ, Joo IW, Seo A, Kim DH, et al. Ankle-foot orthosis made by 3D printing technique and automated design software. *Appl Bionics Biomech.* 2017;2017:9610468. doi: 10.1155/2017/9610468.
 15. Xu R, Wang Z, Ma T, Ren Z, Jin H. Effect of 3D printing individualized ankle-foot orthosis on plantar biomechanics and pain in patients with plantar fasciitis: a randomized controlled trial. *Med Sci Monit.* 2019;25:1392-400. doi: 10.12659/MSM.915045.
 16. Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. Is the foot structure of preschool children moderated by gender? *J Pediatr Orthop.* 2008;28:593-6. doi: 10.1097/BPO.0b013e318173f782.
 17. Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2018;11:21. doi: 10.1186/s13047-018-0264-3.
 18. Bok SK, Lee H, Kim BO, Ahn S, Song Y, Park I. The effect of different foot orthosis inverted angles on plantar pressure in children with flexible flatfeet. *PLoS One.* 2016;11:e0159831. doi: 10.1371/journal.pone.0159831.
 19. Rose GK, Welton EA, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg Br.* 1985;67:71-8. doi: 10.1302/0301-620X.67B1.3968149.
 20. Joo SY, Kim JR. Management of flexible flatfoot in children and adolescent. *J Korean Orthop Assoc.* 2016;51:109-16. doi: 10.4055/jkoa.2016.51.2.109.
 21. Carr JB 2nd, Yang S, Lather LA. Pediatric pes planus: a state-of-the-art review. *Pediatrics.* 2016;137:e20151230. doi: 10.1542/peds.2015-1230.
 22. Kuhn DR, Shibley NJ, Austin WM, Yochum TR. Radiographic evaluation of weight-bearing orthotics and their effect on flexible pes planus. *J Manipulative Physiol Ther.* 1999;22:221-6. doi: 10.1016/s0161-4754(99)70048-5.
 23. Kitaoka HB, Luo ZP, Kura H, An KN. Effect of foot orthoses on 3-dimensional kinematics of flatfoot: a cadaveric study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:876-9. doi: 10.1053/apmr.2002.32681.
 24. Ferri M, Scharfenberger AV, Goplen G, Daniels TR, Pearce D. Weight-bearing CT scan of severe flexible pes planus deformities. *Foot Ankle Int.* 2008;29:199-204. doi: 10.3113/FAI.2008.0199.
 25. Choi JY, Lee DJ, Kim SJ, Suh JS. Does the long-term use of medial arch support insole induce the radiographic structural changes for pediatric flexible flat foot? - A prospective comparative study. *Foot Ankle Surg.* 2020;26:449-56. doi: 10.1016/j.fas.2019.05.017.
 26. Aboutorabi A, Saeedi H, Kamali M, Farahmand B, Eshraghi A, Dolagh RS. Immediate effect of orthopedic shoe and functional foot orthosis on center of pressure displacement and gait parameters in juvenile flexible flat foot. *Prosthet Orthot Int.* 2014;38:218-23. doi: 10.1177/0309364613496111.