

## 무지외반증 발가락 교정기 착용 여부가 가상 환경 시뮬레이션 시 보행에 미치는 영향

김동수 · 이다은 · 신현아 · 전지원 · 우영근<sup>†</sup>  
전주대학교 의과대학 물리치료학과

### Effects of Wearing Toe Braces of Hallux Valgus on Gait during Virtual Environment Simulation

Dong-Su Kim, P.T., B.S. · Da-Eun Lee, P.T., B.S. · Hyun-A Shin, P.T., B.S. ·  
Ji-Won Jeon, P.T., B.S. · Young-Keun Woo, P.T., Ph.D.<sup>†</sup>

*Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Jeonju University*

Received: November 16, 2022 / Revised: March 6, 2023 / Accepted: March 15, 2023

© 2023 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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.

#### | Abstract |

**Purpose:** Hallux valgus (HV) is one of the most common chronic foot disorders, occurring when the first toe deviates laterally toward the other toe. HV impairs muscle strength and affects gait function (postural sway and gait speed). Thus, this study aims to investigate using the FDM system the effect of wearing braces on gait while wearing a virtual reality (VR) device.

**Methods:** This study was conducted on 28 healthy adults with HV of 15 degrees or more. To compare differences in walking, depending on whether a toe brace can be worn, the subject walked without wearing anything, walked after wearing the VR device, and walked after wearing the VR device and the toe brace, and the FDM system was used for the gait ability measurement analysis.

**Results:** As a result of a one-way repeated analysis of variance, the walking speed-related variables (cadence, velocity, etc.) in the HV group were higher during comfortable walking. In addition, walking while wearing a VR device and walking while wearing a VR device and a toe brace demonstrated more significant values in terms of six gait parameters (double stance phase, loading response, stage, stage, stage, and stage). The maximum pressure of the forefoot was significantly reduced when walking while wearing a VR device and a toe brace compared to comfortable walking, but in all variables, there was no statistically significant difference between walking while wearing a VR device and walking while wearing a VR device and a toe brace.

**Conclusion:** Orthosis with a VR device during gait (OVG) and gait with a VR device (GVR) affect gait in HV patients. However, there was no significant difference between GVR and OVG. Thus, it is necessary to conduct experiments on various HV angles and increase the duration of wearing the toe brace.

**Key Words:** Hallux valgus, Toe brace, Virtual reality

<sup>†</sup>Corresponding Author : Young-Keun Woo (ykw092@naver.com)

## I. 서론

무지외반증(Hallux valgus, HV)은 가장 흔한 만성 발 질환 중 하나이며, 내측으로 두드러진 제1중족골두(metatarsal head)와 제1족지의 벌림(abduction) 및 외반 돌림(valgus rotation)이 결합한 첫 번째 중족지관절(metatarsophalangeal joint)의 기형이다(Vanore et al., 2003). 일반적으로 한쪽 발에 발생하지만 양쪽 발에 발생하는 경우도 있으며(Wülker & Mittag, 2012), 무지외반증 유병률은 나이가 들면서 증가하며 남성보다 여성에서 더 높은 비율로 나타났다. 또한, 통합 유병률 추정치는 18-65세 성인에서 23%, 65세 이상 노인에서 35.7%로 통계된다(Nix et al., 2010). 이러한 무지외반증은 측정 각도에 따라 크게 정상(no deformity, 엄지발가락 가 쪽 휜 각도 15° 미만), 경도(mild, 15° 이상 20° 미만), 중등도(moderate, 20° 이상 40° 미만), 중증(severe, 40° 이상)으로 크게 4가지로 분류한다(Coughlin & Jones, 2007).

무지외반증의 외재적 요인으로 굽이 높은 신발이나 앞 코가 좁은 신발의 착용으로 인한 제1중족골의 체중 부하와 외반 증가가 있으며, 내재적인 요인에는 유전, 성별 차이 등이 존재한다(Perera et al., 2011). 굽이 높은 신발은 발뒤꿈치 높이로 인한 아래쪽 방향의 압력이 중족골두에 증가되고, 첫 번째 중족지관절 움직임을 제한하며, 아킬레스건(Achilles tendon)의 강성(rigidity)을 증가시킨다. 또한 앞 코가 좁은 신발은 발의 내측과 발가락 사이의 압력을 증가시켜 발 통증과 기형에 기여할 수 있다(Menz et al., 2016). 이러한 기형이나 통증은 활액낭염, 부종 등의 증상과 함께 같이 동반하여 나타날 수 있으며, 앞서서 일어서거나 보행과 같은 기능적 손상으로 이어질 수 있다(Schweitzer et al., 1999). 무지외반증에서 보행 기능과 근력이 손상된 경우 자세의 흔들림 및 보행 속도와 같은 기능적 측정 변수는 기능적 장애를 나타내는 유용한 지표가 될 수 있다(Hurn et al., 2015).

Ji 등(2020)은 정상인과 젊은 성인의 무지외반 증세를 보이는 사람 간의 보행 중 압력 중심점(center of pressure, COP)의 이동거리와 속도, 그리고 발바닥에

부하되는 힘의 보행 변수에는 차이가 나타나지 않았다고 하였다(Ji et al., 2020). 하지만, Chan 등(2019)은 13명의 정상 성인을 대상으로 가상 환경동안 보행 시 엉덩이 관절과 무릎 관절의 최대 및 최소 굽힘과 폼 각도에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 발목 관절의 최대 발바닥 굽힘 각도가 유의하게 감소함을 보고하였으며, 이로 인한 온걸음 길이가 통계적으로 유의하게 감소함을 보고하였다.

가상환경 시뮬레이션(virtual reality, VR)은 균형과 보행의 재활에 추가적인 이점이 있음이 입증된 새로운 도구 중 하나로(Cano et al., 2018), 대상자에게 다양한 자극을 제공하여 보행 불안정을 유발할 수 있는 환경을 제공한다(Hollman et al., 2006). 또한, 가상환경을 대상자의 관심 영역, 예를 들어 숲길이나 도심 등을 실시간으로 제공할 수 있는 장점이 있어 대상자의 흥미를 유발하여 동기 부여효과도 발생할 수 있다(Morel et al., 2015).

무지외반증의 치료방법은 수술적 방법과 비수술적 방법으로 구분되며, 수술적 치료 방법인 원위 연부 조직술은 원위부 발가락과 바깥쪽 종자뼈의 바깥쪽 면으로부터 족부 내전근 건을 제거하고 가로 중족 인대 및 측면 관절낭을 완화하는 방법이다. 또 다른 수술적 치료 방법인 근위 반월상 중족골 절골술은 중족골두를 옆으로 이동시키면서 근위 골절편을 중앙으로 이동시켜 중족골 간 각도를 교정한 후 시행된다(Dreeben & Mann, 1996). Milachowski와 Krauss (2008)은 무지외반증 수술 없이 영구적인 무지외반 각의 교정이 불가능하다고 하였지만, 새로운 발가락 교정기인 Hallufix를 사용하여 무지외반 각도가 유의하게 감소함을 보고하였다(Milachowski & Krauss, 2008). 또한, Arias-Martín 등(2018)도 수술 이외의 치료 방법으로 보조기를 사용한 무지외반증 효과를 제시하였다.

따라서, 본 연구는 무지외반증의 젊은 성인을 대상으로 일반 보행, 가상 환경 보행과 발가락 교정기의 착용 여부가 일반적인 보행 변수와 족저압 데이터를 이용한 시공간적 변수 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 J 시 소재 대학 재학생을 대상으로 시행하였다. 연구에 참여하는 연구 대상자의 수는 20대 남녀 30명을 대상으로 모집하였고, 그 중 2명은 연구 중 중도 포기하여 총 28명(남성 6명, 여성 22명)의 대상자로 본 연구를 진행하였다(Table 1). 대상자는 무지외반각이 15도 이상인 자를 대상으로 하였다(Jang et al., 2014). 하지에 근골격계 질환과 외과적 수술을 경험한 자(Ji et al., 2020), 그리고 폐쇄 공포증이 있는 자는 가상 환경을 이용한 치료목적이 아니므로 대상자에서 제외하였다(Botella et al., 1999). 모든 연구 대상자는 측정 전 연구의 목적과 방법에 대한 충분한 설명을 숙지하였으며, 이에 자발적으로 참여에 동의하고 서명으로 동의서를 제출하였다. 본 연구는 전주대학교 생명윤리 위원회의 승인(jjIRB-210715-HR-2021-0724)을 받았다.

Table 1. General characteristics of participants (N=28)

Characteristics	Mean±SD <sup>a</sup>
Gender (male/female)	6/22
Age (years)	21.21 ± 1.40
Height (cm)	165.24 ± 6.44
Weight (kg)	61.89 ± 11.16
Dominant foot (right/left)	27/1
Angle of HV(°), Left	15.96 ± 3.53
Angle of HV(°), Right	15.68 ± 2.75

<sup>a</sup>Mean±standard deviation

2. 측정도구

1) 측각기(Goniometer)를 이용한 무지외반 각도 측정

측각기 중앙에 축이 있는 측각계(MEDIZINISCHER GELENKMESSER, Wecker, Luxembourg) (36 × 4.5 cm)를 이용해 무지외반 각도 측정을 하였다. 평평한 곳에

두 발로 선 자세에서 시행하였다. 제1중족골에 고정자, 제1중족지절관절에 축, 그리고 제1족지에 가동자를 놓고 제1족지 외반 각의 각도를 측정하였다(Fig. 1). 무지외반 각이 15도 이하이고, 제1-2중족골간 각이 8~9도 이하일 때 정상인으로 분류하였으며 이보다 더 증가하였을 경우 무지외반으로 분류하여 무지외반 각이 15도 이상인 사람을 대상자로 선정하였다(Jang et al., 2014).



Fig. 1. Hallux valgus angle measurement using a goniometer.

2) 교정기

중족골의 아치교정 및 엄지발가락 교정에 도움을 주는 Hallufix (Die Hallufix® Hallux Valgus Schiene, Germany)는 발을 황아치 형태로 잡아주어 중족골이 바른 위치로 되게 하는 힌지형 부목, 엄지발가락을 바른 위치로 당겨주는 엄지발가락 밴드, 발의 균형을 잡아주어 안정감 있는 보행이 가능하게 하는 중족부 밴드, 사이드 젤 쿠션을 포함하고 있다(Fig. 2).



Fig. 2. Hallufix and Wearing hallufix.

### 3) 가상환경 시뮬레이션 기기

스마트폰 삽입형 가상환경 시뮬레이션 기기 헤드셋(PICO-U VR, Goertek Inc., China)을 사용하였다. 대상자들은 실제 도보 환경이 아닌 가상 환경 영상을 시청하며 보행하였다(순천 문화의 거리, Fig. 3). 실험 시작에 앞서 대상자는 보행 시작 위치에 서서 대기하고, 가상 환경 영상을 대기시킨 핸드폰을 VR 헤드셋에 연결한 후, 핸드폰과 연결된 스마트 위치의 플레이 버튼을 눌러 가상 환경 영상을 제공하였다. 영상이 재생되고 있는 동안 대상자는 평소 보행 속도에 맞춰 보행하도록 하였다.



Fig. 3. Virtual reality device environment video.

### 4) FDM을 이용한 보행 능력 측정

보행 능력 측정은 The FDM System Type FDM 1.5 힘판(Zebris©, Medial GmbH, Isny, Germany)을 이용하였다. The FDM System Type FDM 1.5는 1580×605×21 mm 크기의 측정 장비로 1초 당 120Hz로 기록되며, 총 11,264개의 압력 센서가 내장되어 있다. 보행의 평균 값을 측정하기 위하여 보행 측정 판 두 개를 연결하여 3m의 보행 측정 지점을 만들고, 보행의 가속기와 감속기를 고려하여 측정 판 앞뒤에 각각 2m씩 연장 거리를 배치해 총 7m를 보행하도록 하였다. 보행 변수의 측정은 FDM 프로그램 (Zebris FDM ver. 1.18.48)을 통하여 일반적인 보행 주기 변수와 족저압 데이터를 통한 시공간적 변수를 측정하였다. 보행 주기 변수는 이중 지지기, 부하 반응기, 전유각기, 한발 지지기, 입각기

와 시공간적 변수는 분당 걸음 수, 속도, 온걸음 길이, 온걸음 시간, 걸음 길이, 앞발에 걸리는 힘을 측정하였다.

### 3. 측정 방법

본 연구는 대상자의 보조기 착용 여부에 대한 보행의 차이를 비교하기 위해 모든 대상자가 편안한 보행(Comfortable Gait, CG), VR 기기를 착용한 보행(Gait with VR, GVR), VR 기기와 보조기를 착용한 보행(Orthosis with VR during Gait, OVG)의 세 가지 방법으로 측정하였다. 측정 순서에 따른 신뢰성을 확보하기 위하여 무작위 추첨을 통한 세 가지 측정 방법을 진행하였으며, 대상자들에게 보행 방법에 대하여 교육하고 보행 측정을 실시하였다(Table 2). 대상자는 보행 측정판 앞 2m 지점에 선 후, 정면을 응시한 상태로 보행을 시작하였으며, VR 기기 착용으로 인한 어지러움과 그에 따른 오차를 최소화하기 위해 대상자는 각 측정 사이 2분간 휴식을 제공하였다. 세 가지 방법은 각 3회씩 반복 보행하여 총 9회 보행의 각 평균 값을 최종 자료로 사용하였다.

Table 2. Classification of Gait methods

	CG <sup>a</sup>	GVR <sup>b</sup>	OVG <sup>c</sup>
VR	X <sup>e</sup>	O <sup>d</sup>	O <sup>d</sup>
Hallufix	X <sup>e</sup>	X <sup>e</sup>	O <sup>d</sup>

<sup>a</sup>Comfortable Gait, <sup>b</sup>Gait with VR, <sup>c</sup>Orthosis with VR during Gait, <sup>d</sup>wearing, <sup>e</sup>not worn

### 4. 분석 방법

본 연구 자료의 통계 처리를 위해 통계 프로그램(SPSS 26 version, IBM, USA)을 사용하였다. 발가락 교정기 착용 여부로 인한 보행을 정규성 검정 후, 반복 측정 일원 분산 분석(one way repeated ANOVA)을 시행하였다. 이후 사후 검정으로 Bonferroni를 시행하였으며, 통계학적 유의수준  $\alpha$ 는 0.05로 설정하였다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 무지외반증 집단의 보행주기 변수

무지외반증 집단의 보행주기 변수의 결과는 Table 3과 같았다. 한발 지지기는 CG에 비해 GVR과 OVG에

서 통계적으로 유의하게 감소하였다. 이중 지지기, 부하 반응기, 전유각기, 입각기는 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 하지만, 모든 변수에서 GVR과 OVG 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Gait phase parameter

Parameters	Condition (Mean±SD)			F	p	
	CG <sup>a</sup>	GVR <sup>b</sup>	OVG <sup>c</sup>			
Double stance phase (%)	25.13±3.51	32.53±6.23 <sup>d</sup>	31.37±5.66 <sup>c</sup>	16.02	0.00	
Load response (%)	L	12.86±1.70	16.47±2.96 <sup>d</sup>	15.78±2.75 <sup>c</sup>	16.07	0.00
	R	12.52±2.11	16.41±3.70 <sup>d</sup>	15.87±2.95 <sup>c</sup>	13.84	0.00
Pre-Swing (%)	L	12.40±2.03	16.21±3.58 <sup>d</sup>	15.73±3.05 <sup>c</sup>	13.75	0.00
	R	12.69±1.67	16.30±2.94 <sup>d</sup>	15.63±2.80 <sup>c</sup>	16.09	0.00
Single limb support (%)	L	37.41±1.68	33.80±3.07 <sup>d</sup>	34.04±3.18 <sup>c</sup>	15.32	0.00
	R	37.70±2.00	33.75±3.43 <sup>d</sup>	34.61±2.88 <sup>c</sup>	15.09	0.00
Stance phase (%)	L	62.58±2.04	66.53±3.44 <sup>d</sup>	65.56±2.89 <sup>c</sup>	14.65	0.00
	R	62.87±1.95	66.18±3.01 <sup>d</sup>	65.77±3.19 <sup>c</sup>	11.88	0.00

<sup>a</sup>Comfortable Gait, <sup>b</sup>Gait with VR, <sup>c</sup>Orthosis with VR during Gait, <sup>d</sup>Significant differences between CG and GVR, <sup>e</sup>Significant difference between CG and OVG

Table 4. Spatiotemporal gait parameters

Parameters	Condition (Mean±SD)			F	p	
	CG <sup>a</sup>	GVR <sup>b</sup>	OVG <sup>c</sup>			
Cadence (steps/min)	111.44±9.89	97.27±14.71 <sup>d</sup>	97.17±13.52 <sup>c</sup>	11.39	0.00	
Velocity (km/h)	4.21±0.73	2.93±0.79 <sup>d</sup>	2.92±0.74 <sup>c</sup>	27.05	0.00	
Stride length (cm)	125.17±13.91	99.09±15.62 <sup>d</sup>	99.02±15.68 <sup>c</sup>	27.95	0.00	
Stride time (sec)	1.09±0.10	1.27±0.23 <sup>d</sup>	1.27±0.20 <sup>c</sup>	9.34	0.00	
Step length (cm)	L	62.63±7.09	49.47±7.82 <sup>d</sup>	49.64±7.81 <sup>c</sup>	27.77	0.00
	R	62.54±7.10	49.62±7.99 <sup>d</sup>	49.38±8.12 <sup>c</sup>	26.46	0.00
Step time (sec)	L	0.54±0.06	0.63±0.12 <sup>d</sup>	0.64±0.10 <sup>c</sup>	8.69	0.00
	R	0.54±0.05	0.64±0.11 <sup>d</sup>	0.63±0.10 <sup>c</sup>	9.41	0.00
Maximum force of Forefoot (N)	L	740.00±153.00	662.98±126.57	645.18±125.24 <sup>c</sup>	3.87	0.02
	R	750.74±149.33	672.54±133.64	647.70±135.60 <sup>c</sup>	4.15	0.02
Time change of heel to forefoot (%)	L	37.50±4.30	46.86±6.85 <sup>d</sup>	47.62±6.81 <sup>c</sup>	23.87	0.00
	R	38.32±4.87	46.17±7.34 <sup>d</sup>	45.38±10.13 <sup>c</sup>	8.70	0.00
Time maximum force of Forefoot (% of stance time)	L	74.29±1.94	76.02±2.99 <sup>d</sup>	76.36±2.80 <sup>c</sup>	5.05	0.01
	R	74.54±1.65	75.97±1.91 <sup>d</sup>	76.95±1.81 <sup>c</sup>	12.78	0.00

<sup>a</sup>Comfortable Gait, <sup>b</sup>Gait with VR, <sup>c</sup>Orthosis with VR during Gait, <sup>d</sup>Significant differences between CG and GVR, <sup>e</sup>Significant difference between CG and OVG

## 2. 무지외반증 집단의 시공간적 보행 변수

무지외반증 집단의 시공간적 보행 변수는 Table 4와 같았다. 분당 걸음 수, 걸음 길이, 온걸음 길이, 보행 속도는 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 감소하였다. 걸음 시간, 온걸음 시간은 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였다.

뒤꿈치에서 앞발까지의 시간 변화 비율과 앞발 압력의 최대값이 나타난 보행 주기의 평균 시점은 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 앞발의 최대압력은 CG에 비해 OVG에서 유의하게 감소하였다. 하지만, 모든 변수에서 GVR과 OVG 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

## IV. 고 찰

본 연구는 무지외반증의 젊은 성인을 대상으로 일반 보행, 가상 환경 보행과 발가락 교정기의 착용 여부가 일반적인 보행 변수와 족저압 데이터를 이용한 시공간적 변수 변화에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 연구 대상자는 편안한 보행, VR 기기를 착용한 보행, VR 기기와 보조기를 착용한 보행을 하는 세 가지 방법으로 7m의 보행 시 보행 변수를 측정하였다. 측정 결과, 편안한 보행(CG)과 VR 기기를 착용한 보행(GVR)과 VR 기기와 보조기를 착용한 보행(OVG)의 대부분의 보행 변수에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만, VR 기기를 착용한 보행과 VR 기기와 보조기를 착용한 보행에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Xiang 등(2022)은 계통 검토와 메타 분석을 통해 무지외반증의 수술적 치료 방법과 보조기를 이용한 비수술적 치료방법으로 제1중족골두 압력 감소와 앞쪽 발의 압력 감소의 효과가 나타났다고 하였다. 하지만, 수술적 치료 방법은 수술로 인한 보행에서 좋지 않은 결과가 있을 수 있다고 하였다. Kwan 등(2021)은 보조기가 발바닥 압력과 앞발 통증을 상당

히 줄이는 데 도움이 된다고 하였으며, Tehraninasr 등(2008)은 30명의 무지외반증에 적용한 발가락 퍼짐기(toe spreader)는 통증 감소를 보여주었지만 무지외반 각도에 영향을 주지는 않았다. 또한, Kwan 등(2021)은 무지외반증 보조기는 보행 시 압력 중심점 증가가 발생할 수 있지만, 부드러운 보조기를 사용할 경우 무지외반증 외반 각도의 즉각적인 감소와 제1중족골두 압력 감소를 보고하였다. 또한 Moulodi 등(2019)은 1개월 동안 보조기 사용 시 무지외반 각도에 유의한 차이가 있었으며, 이는 첫 번째 중족지관절의 수동적 가동 범위가 증가하여 보행 시 효과적이라고 보고하였다. 하지만, Hurn 등(2015)의 연구에서 대조군과 경증 HV 환자 사이에 족저압, 발목의 배측 굴곡, 발 가동성 크기, 근력 등에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구에서는 모든 보행 변수에서 GVR과 OVG 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 본 연구에 참여한 대상자의 평균 무지외반 각도가 약 15도인 경증 무지외반증이기 때문에 보조기로 인한 보행의 변수의 차이가 나타나지 않았다고 사료된다.

Nix 등(2013)의 계통 검토 연구에서는 무지외반증의 보행 중 제1중족골두의 압력 증가, 앞쪽 발 안쪽의 부하 증가와 말기 입각기 동안의 발목 동작 감소, 그리고 뒤꿈치의 동작 감소, 내재적 근육 활동 증가를 보고하였지만, 대부분은 시공간적 변수에는 차이가 없었다고 하였다. 다만, 노인의 무지외반증에서만 보행 속도 감소와 걸음 길이 감소를 보고하였다. 본 연구에서는, 보행 주기 변수 중 이중 지지기, 부하 반응기, 전유각기와 입각기는 CG에서보다 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였으며, 한발 지지기의 경우 통계적으로 유의하게 감소하였다. 이중 지지기의 경우 약 25%에서 32%, 부하반응기와 전유각기는 약 12%에서 15-16%, 입각기는 약 2%에서 65-66%로 증가하였으며, 한발 지지기의 경우 약 37%에서 33-34%로 감소하였다. Janeh 등(2017)은 VR에서 걸을 때 보행 속도와 보폭이 감소하는 것뿐만 아니라 이중 지지기 7% 증가한다는 것을 발견하였으며, 이러

한 변수들은 VR을 착용한 보행에서 더 높은 비율이 나온 이유는 VR기기를 착용했기 때문이며, 본 연구의 결과와 유사하게 나타났다. 또한, 한발 지지기는 보행 주기 중 이중 지지기의 비율이 높아졌기 때문으로 보인다.

시공간적 보행 변수의 분석 결과, CG에서의 분당 걸음 수와 보행 속도는 GVR과 OVG에서보다 유의하게 증가했다. 걸음 길이, 온걸음 길이는 CG에 비해 GVR과 OVG에서 유의하게 짧지만, 걸음 시간과 온걸음 시간은 유의하게 길었다. Kannape 등(2014)은 가상 환경에서 보행은 가상 환경으로 읽나 보행의 정확도를 우선시하는 인지 과제가 부가되는 상황이라고 하였다. 본 연구에서도 대상자가 VR 환경에서 걸으면서 발생한 인지 부하가 보행 변수에 강한 영향을 미친 것으로 생각된다.

뒤꿈치에서 앞발까지의 시간 변화 비율과 앞발 압력의 최대값이 나타난 보행 주기의 평균 시점은 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. Hollman 등(2006)은 VR 환경에서 걷는 것은 보행 불안정을 반영하여 시공간 보행 매개변수의 변화를 유발할 수 있다고 하였다. 따라서, 본 연구에서도 발생한 보행 불안정이 뒤꿈치에서 앞발까지 걸리는 시간이 길어지게 하고, 앞발이 땅에 닿는 시간도 자연스럽게 늘어나게 하여 앞발 압력의 최대값이 나타난 보행 주기의 평균 시점 또한 증가하였다고 사료된다. 따라서 본 연구에서도 CG에 비해 OVG에서 앞발의 최대압력이 통계적으로 유의하게 감소한 것으로 보인다.

본 연구는 경증의 무지외반증 젊은 성인으로 단일 시점 측정된 연구로서, 대상자의 보조기 착용이 측정 당시만 이루어졌으며, 보조기의 지속적인 착용이 이루어지지 않아 보행 변수의 차이가 제시하기에는 제한이 있었다고 생각된다. 향후 연구에서는 경증, 중증도 등의 다양한 수준의 무지외반증과 다양한 무지외반증 보조기의 지속적 착용으로 인한 효과와 함께 시공간적 보행 변수 뿐만 아니라 발가락 외반 각도를 고려한 측정이 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결론

본 연구는 무지외반증 젊은 성인의 일반 보행과 가상 환경 시뮬레이션 시 발가락 교정기 착용이 보행에 미치는 영향을 비교해 보았다. 연구 대상자는 무지외반 각이 15도 이상인 자로 하여, 총 28명의 20대 남녀를 대상으로 하였다. 대상자는 편안한 보행(CG), VR 기기를 착용한 보행(GVR), VR 기기와 보조기를 착용해 보행(OVG) 하는 세 가지 방법으로 측정하여 보행 시 보행 변수와 족저압 데이터를 얻었다. 그 결과, 보행 주기 변수 중 이중 지지기, 부하 반응기, 전유각기, 입각기는 CG에서보다 GVR과 OVG에서 유의하게 높은 비율이 나타났다. 다만 한발지지기는 GVR과 OVG에서보다 CG에서 더 높은 비율을 보였다. 시공간적 보행 변수의 분석 결과, CG에서의 분당 걸음 수와 보행 속도, 걸음 길이와 온걸음 길이는 GVR과 OVG에서보다 유의하게 증가했다. 걸음 시간과 온걸음 시간, 뒤꿈치에서 앞발까지의 시간 변화 비율과 앞발 압력의 최대값이 나타난 보행 주기의 평균 시점은 CG에 비해 GVR과 OVG에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 본 연구에서 모든 변수에서 GVR과 OVG 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 이후 다양한 수준의 무지외반을 대상으로 연구와 보조기 착용 기간을 보완하여 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## References

- Arias-Martín I, Reina-Bueno M, Munuera-Martínez PV. Effectiveness of custom-made foot orthoses for treating forefoot pain: a systematic review. *International Orthopaedics*. 2018;42(8):1865-1875.
- Botella C, Villa H, Baños R, et al. The treatment of claustrophobia with virtual reality: changes in other phobic behaviors not specifically treated. *Cyberpsychology and Behavior*. 1999;2(2):135-141.

- Cano Porras D, Siemonsma P, Inzelberg R, et al. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review. *Neurology*. 2018;90(22):1017-1025.
- Chan ZYS, MacPhail AJC, Au IPH, et al. Walking with head-mounted virtual and augmented reality devices: effects on position control and gait biomechanics. *PLoS One*. 2019;14(12):e0225972.
- Coughlin MJ, Jones CP. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot & Ankle International*. 2007;28(7):759-777.
- Dreeben S, Mann RA. Advanced hallux valgus deformity: long-term results utilizing the distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot & Ankle International*. 1996;17(3):142-144.
- Hollman JH, Brey RH, Robb RA, Bang TJ, Kaufman KR. Spatiotemporal gait deviations in a virtual reality environment. *Gait & Posture*. 2006;23(4):441-444.
- Hurn SE, Vicenzino B, Smith MD. Functional impairments characterizing mild, moderate, and severe hallux valgus. *Arthritis Care & Research*. 2015;67(1):80-88.
- Janeh O, Langbehn E, Steinicke F, et al. Walking in virtual reality: effects of manipulated visual self-motion on walking biomechanics. *ACM Transactions on Applied Perception*. 2017;14(2):1-15.
- Jang KS, Kim TW, Kim HJ. Diagnosis and pathophysiology of hallux valgus. *Journal of Korean Foot and Ankle Society*. 2014;18(2):43-47.
- Ji MK, Park HD, Lee HY, Yoo MI, Ko ES, Woo YK. Effects of the hallux valgus angle on one-leg stance and gait parameters in young adults: a preliminary study. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2020;9(1):10-17.
- Kannape OA, Barré A, Aminian K, Blanke O. Cognitive loading affects motor awareness and movement kinematics but not locomotor trajectories during goal-directed walking in a virtual reality environment. *PLoS One*. 2014;9(1):e85560.
- Kwan MY, Yick KL, Yip J, Tse CY. Hallux valgus orthosis characteristics and effectiveness: a systematic review with meta-analysis. *BMJ Open*. 2021;11(8):e047273.
- Kwan MY, Yick KL, Yip J, Tse CY. The immediate effects of hallux valgus orthosis: a comparison of orthosis designs. *Gait & Posture*. 2021;90:283-288.
- Milachowski KA, Krauss A. Comparative radiological study of a hallux valgus night brace and a new dynamic orthosis for correction of the hallux valgus. *Fuss und Sprunggelenk*. 2008;6(1):14-18.
- Menz HB, Roddy E, Marshall M, Thomas MJ, Rathod T, Peat GM, et al. Epidemiology of shoe wearing patterns over time in older women: associations with foot pain and hallux valgus. *Biological Science and Medical Sciences*. 2016;71(12):1682-1687.
- Morel M, Bideau B, Lardy J, Kulpa R. Advantages and limitations of virtual reality for balance assessment and rehabilitation. *Neurophysiologie Clinique*. 2015;45(4-5):315-326.
- Moulodi N, Kamyab M, Farzadi M. A comparison of the hallux valgus angle, range of motion, and patient satisfaction after use of dynamic and static orthoses. *The Foot*. 2019;41:6-11.
- Nix S, Smith M, Vicenzino B. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2010;3:21.
- Nix SE, Vicenzino BT, Collins NJ, Smith MD. Gait parameters associated with hallux valgus: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2013;6(1):9.
- Perera AM, Mason L, Stephens MM. The pathogenesis of hallux valgus. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. 2011;93(17):1650-1661.
- Schweitzer ME, Maheshwari S, Shabshin N. Hallux valgus and hallux rigidus: MRI findings. *Clinical Imaging*. 1999;23(6):397-402.



- Tehraninasr A, Saeedi H, Forogh B, Bahramizadeh M, Keyhani MR. Effects of insole with toe-separator and night splint on patients with painful hallux valgus: a comparative study. *Prosthetics and Orthotics International*. 2008;32(1):79-83.
- Vanore JV, Christensen JC, Kravitz SR, Schubert JM, Thomas JL, Weil LS, et al. Diagnosis and treatment of first metatarsophalangeal joint disorders. section 1: hallux valgus. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2003;42(3):112-123.
- Wülker N, Mittag F. The treatment of hallux valgus. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2012;109(49):857-868.
- Xiang L, Mei Q, Wang A, Fernandez J, Gu Y. Gait biomechanics evaluation of the treatment effects for hallux valgus patients: a systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*. 2022;94:67-78.