

# 무릎 신전 제한형 보조기 착용이 보행 시 하지 내 협응에 미치는 영향

## Influence on Intra-limb Coordination in Individuals Wearing a Knee Extension Constraint Brace during Walking

장윤희\*, 정보라, 강성재, 류제청, 김규석, 문무성, 고창용  
J. Chang, B. Jeong, S. Kang, J. Ryu, G.S. Kim, M. Mun, C.Y. Ko

### 요 약

본 연구의 목적은 무릎 신전 제한형 보조기 착용 후 보행시 하지 내 협응에 미치는 영향을 평가하는 하는 것이다. 본 연구에는 7명의 건강한 성인 남성(32.3±2.7 세, 175.2±3.8cm, 76.2±8.7kg)이 참여하였다. 이들은 무릎보조기를 착용하거나 착용하지 않고 10m의 평지를 보행하였다. 이때 시공간적 파라미터, 하지의 각도, 하지 내 연속상대 위상(CRP)를 측정 및 계산하였다. 그 결과 시공간적 요인은 차이가 없었다 (all  $p > 0.05$ ). 무릎보조기 착용 시 엉덩관절의 가동범위 및 각도 변화는 없었으나, 무릎관절의 가동범위는 감소하였으며 (65.5±3.7° vs. 60.5±3.5°,  $p < 0.05$ ), 최대 굴곡 역시 감소하였다 (입각기: 31.9±4.6 vs. 25.6±5.5, 유각기: 76.7±3.1 vs. 68.9±3.4, all  $p < 0.05$ ). 발목관절의 가동범위는 변화가 없었으나, 최대 배측굴곡 (22.4±2.6 vs. 19.2±2.1,  $p < 0.05$ )은 감소하였으며, 최대 족저굴곡이 증가하였다 (9.5±3.0 vs. 15.7±2.2,  $p < 0.05$ ). 대부분의 CRP는 차이가 없었으며, 유각기 엉덩관절과 무릎관절 사이의 CRP만 감소하였다 (93.0±7.8 vs. 84.7±4.9,  $p < 0.05$ ). CRP의 표준편차는 대부분 증가하였다 (유각기 엉덩관절과 무릎관절사이: 25.1±6.7 vs. 32.4±1.9, 입각기 무릎관절과 발목관절사이: 46.0±12.9 vs. 80.1±31.1, 유각기 무릎관절과 발목관절 사이: 34.5±4.1 vs. 37.6± 3.1, all  $p < 0.05$ ). 이와 같은 결과로부터 무릎 신전 제한형 보조기 착용은 관절의 각도, 하지 내 협응에는 영향을 미치지만, 보행특성에는 큰 영향을 미치는 않는다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate Influence on intra-limb coordination in individuals wearing knee brace during walking. Seven healthy male adults (32.3±2.7 years old, 175.2±3.8cm, 76.2±8.7kg) participated. They wore knee brace or didn't wear any knee brace and were asked to walk along a 10 m long walkway. Spatiotemporal parameters, angles of the lower limbs, and intra-limb continuous relative phase (CRP) were measured and calculated. No differences of spatiotemporal parameters were shown (all  $p > 0.05$ ). There were no changes in the angle and its range of motion (ROM) in the hip for the subjects as wearing knee brace, while ROM (65.5±3.7° vs. 60.5±3.5°,  $p < 0.05$ ) of the angle and maximum flexion angles (stance: 31.9±4.6 vs. 25.6±5.5, swing: 76.7±3.1 vs. 68.9±3.4, all  $p < 0.05$ ) in the knee significantly decreased. No changes in ROM of angle in the ankle were shown, whereas maximum dorsiflexion decreased (22.4±2.6 vs. 19.2±2.1,  $p < 0.05$ ) and maximum plantarflexion increased (9.5±3.0 vs. 15.7±2.2,  $p < 0.05$ ). There were no changes in most of CRP between joints. CRP between the hip and knee joints decreased (93.0±7.8 vs. 84.7±4.9,  $p < 0.05$ ). Most of CRP standard deviation increased (between the hip and ankle joint during swing: 25.1±6.7 vs. 32.4±1.9, between the knee and ankle joint during stance: 46.0±12.9 vs. 80.1±31.1, between the knee and ankle joint during swing: 34.5±4.1 vs. 37.6±3.1, all  $p < 0.05$ ). These results indicated that wearing knee brace affected joint angle and intra-limb coordination, but less affected gait features.

Keyword : Continuous relative phase, Joint angle, Knee brace, Spatiotemporal parameters, Walking

## 1. 서론

모든 스포츠 활동에서 손상을 가장 많이 받는 신체 부위는 무릎이며, 특히 무릎 손상의 44%는 전방십자인대 손상으로 알려져 있다 [1]. 전방십자인대 손상으로 인한 수술 및 재활치료 비용은 전체 의료비 중 매우 높은 비중을 차지하고 있으며, 치료 이후에도 스포츠 활동 복귀로 인한 재손상과 퇴행성 무릎관절염, 만성 무릎 불안정성, 반월판 및 연골 손상과 같은 후유증은 여전히 의료비에 대한 경제적 부담을 가중시키고 있다[2].

이에 최근에는 스포츠 무릎 손상을 사전에 방지하기 위한 예방 측면의 연구가 활발히 진행되고 있으며[3], 이 중 무릎보호대의 착용은 대퇴골에 대한 경골의 전방 변위를 유의하게 감소시켜 스포츠 활동 도중 무릎 부상률을 감소시킨다고 보고된 바 있다[4,5].

기존의 무릎보조기 사용은 주로 수술 후 초기 재활치료 단계에서 무릎관절의 과도한 염좌를 예방하거나, 재발 방지 또는 수술 후 무릎 보호 차원에서 착용하였으나, 점차적으로 스포츠 활동 중 부상을 예방하기 위한 목적으로도 그 사용 범위를 넓히고 있다. 이미 임상에는 네오프렌이나 카본 소재 등을 이용한 다양한 무릎보조기가 상용화되어 있으며, 그 중 무릎 신전 제한형 보조기(knee extension constraint brace)는 점프, 착지 동작 시 무릎의 굴곡 각도를 증가시키고, 후방 지면반발력을 감소시켜 무릎의 비접촉식 전방십자인대 손상을 예방하는데 매우 효과적이라고 보고된 바 있다[2]. 일반적으로

무릎보조기는 정상적인 운동기능은 유지하면서 비정상적인 움직임은 예방할 수 있도록 설계되었으며, 특히 대퇴골에 대해 경골이 과도하게 전위되지 못하도록 고안되었다[6]. 이와 같은 특성과 효과는 주로 전방십자인대 재건술 환자를 대상으로 운동형상학적 및 운동역학적 변화, 또는 대퇴부 근육의 활성화도에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다. 하지만 무릎보조기 착용으로 인해 변화될 수 있는 하지의 관절 간 및 체절 간의 협응에 대한 평가 역시 매우 중요하다. 협응 평가는 다양한 분석 방법이 있지만, 인접한 두 관절 및 체절사이의 위상차를 측정하는 방법인 연속상대위상(Continuous Relative Phase, CRP)이 가장 많이 사용되고 있는 방법 중 하나이다. 스포츠 손상과 관련된 선행연구에서 전방십자인대 재건술 환자를 대상으로 수술 후 보행이나 러닝 동작 시 또는 외다리 점프 동작 시 CRP의 변화를 분석한 연구가 일부 진행되었지만[7,8], 무릎보조기 착용 시 하지 협응에 대한 평가 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 CRP를 기반으로 무릎 신전 제한형 보조기 착용 여부에 따른 하지 내 엉덩관절, 무릎관절과 발목관절의 협응을 평가하는 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상자

본 연구는 정상 성인남성 7명이 참여하였으며, 연구대상자의 평균 연령은  $32.3 \pm 2.7$ 세, 신장  $175.2 \pm 3.8$ cm, 체중  $76.2 \pm 8.7$ kg 이다. 연구대상자는 과거 무릎손상의 병력이 없고, 현재 보행에 지장을 줄 수 있는 근골격계 및 신경계 질환이 없는 자 중에서 선정하였다. 또한 모든 연구 진행은 근로복지공단 재활공학연구소 기관생명윤리위원회의 심의를 받아 진행하였으며, 실험 전 연구대상자에게 실험 내용을 설명하고 동의를 구하였다.

### 2.2 측정장비 및 실험절차

보행 시 시공간적, 운동형상학적 데이터 측정을 위해 적외선 카메라(Eagle 4) 8대, 디지털 비디오 카메라(Sony Ltd., Japan) 1대, 측정용 소프트웨어(Cortex, Motion Analysis Ltd., USA)로 구성된 3차원 동작분석시스템(Motion Analysis Ltd., 2006, USA)을 사용하였다.

접 수 일 : 2016.06.30

심사완료일 : 2016.07.21

게재확정일 : 2016.07.22

\* 장윤희 : 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원  
imygnam@gmail.com (주저자)

정보라 : 근로복지공단 재활공학연구소  
hkmin@inu.ac.kr

강성재 : 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원  
vvibe637@kcomwel.or.kr

류제청 : 근로복지공단 재활공학연구소 부소장  
jeryu@kcomwel.or.kr

김규석 : 근로복지공단 재활공학연구소 연구위원  
gskim7379@kcomwel.or.kr

문무성 : 근로복지공단 재활공학연구소 소장  
msmun@kcomwel.or.kr

고창용 : 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원  
cyko@kcomwel.or.kr (교신저자)

※ 본 논문은 문화관광부가 지원하는 산업핵심기술개발사업 (No.10048732, 생활스포츠에 필요한 스포츠기어의 설계 변수 도출 및 스포츠 재활훈련 프로토콜 개발)을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

Helen Hayes marker set에 따라 머리 꼭대기, 이마 전면 중앙부, 후두부 중앙, 좌우 견봉돌기, 좌우 주관절 외측 상과, 좌우 손목 경상돌기, 우측 견갑골 하부, 좌우 후상 장골극의 중간지점, 좌우 전상 장골극, 좌우 전상장골극과 슬개골 중심부를 연결한 선상의 중간 지점, 좌우 외측 대퇴관절 용기, 좌우 내측 대퇴관절 용기, 좌우 경골 전연의 상위 1/3 지점, 좌우 족관절 외과, 좌우 족관절 내과, 좌우 종골의 중심, 좌우 제 2 중족골두 상면에 총 29개의 마커를 부착하였다(Fig. 1). 연구에 사용된 무릎보조기는 상용화된 제품 중 카본 프레임 형태로 제작된 무릎 신전 제한형 보조기 (CTI, Össur Ltd., USA)를 사용하였으며, 연구대상자 모두 우측에 착용하였다. 연구대상자는 마커부착 후 기립상태에서 정적 검사를 시행한 후, 10m 보행로를 자신이 선택한 보행속도로 무릎보조기 착용과 미착용 상태에서 각각 보행하였으며, 5회 이상 보행한 후 이들 데이터의 평균값을 분석하였다. 이때의 각 관절의 운동형상학적 결과를 측정하였으며, 또한 관절의 운동형상학적 결과로부터 엉덩관절에서는 최대 신전각도, 무릎의 입각기 및 유각기시 최대 굴곡각도, 발목의 입각기에서의 최대 족저굴곡 및 배측굴곡, 전유각기에서 최대 족저굴곡을 측정하였다.



그림 1. Helen Hayes marker set 마커 부착한 무릎 보조기 착용 피검자

Fig. 1 A subject wearing knee brace with Helen Hayes marker set

### 2.3 연속상대위상 계산

하지 내 엉덩관절과 무릎관절(HK), 무릎관절과 발목관절(KA)간의 협응력을 평가하기 위하여 두 관절사이의 CRP를 다음의 과정을 통하여 계산하였다 [9,10]. 우선 각 관절의 각도와 이에 따른 각속도를 계산하였으며, 보행 전체 주기를 0~100%까지로 정

규화 하였다. 다음으로 관절의 각도는 다음의 수식 (1)로부터 -1부터 +1까지 정규화 하였다.

$$norm\theta_n = 2 \times \frac{\theta_n - \min(\theta)}{\max(\theta) - \min(\theta)} - 1 \quad (1)$$

여기서  $norm\theta_n$ 은 각 보행주기에서의 정규화된 관절 각도,  $\theta_n$ 은 보행주기가 n%일 때의 관절 각도,  $\min(\theta)$ 은 전체 보행에서 최소 관절각도,  $\max(\theta)$ 는 전체 보행에서 최대 관절각도이다.

$$norm\omega_n = \frac{\omega_n}{|\max(\omega)|} \quad (2)$$

여기서  $norm\omega_n$ 은 각 보행주기에서의 정규화된 관절 각속도,  $\omega_n$ 은 보행주기가 n%일 때의 관절 각속도,  $\max(\omega)$ 은 전체 보행주기에서 최대 관절각속도이다.

정규화된 관절 각도(x축)와 관절 각속도(y축)를 기반으로 수식(3)으로부터 위상각을 산출하였다.

$$\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{norm\omega_n}{norm\theta_n}\right) \quad (3)$$

여기서  $\theta_p$ 는 각 보행주기에서 위상각,  $norm\theta_n$ 은 각 보행주기에서의 정규화된 관절 각도,  $norm\omega_n$ 은 각 보행주기에서의 정규화된 관절 각속도이다.

계산된 위상각에 대하여 언랩(unwrap)을 수행하여 위상의 비연결성을 개선하였다. 최종적으로 근위부 관절(엉덩관절 및 무릎관절)의 위상각에서 원위부 관절(무릎관절 및 발목관절)의 위상각을 빼서 두 관절 사이의 CRP를 계산하였다. 본 연구에서는 전체 보행주기를 입각기와 유각기로 나누어 각 시기에 따른 CRP의 평균제곱근(RMS, root mean square) 및 표준편차를 계산하였다.

## 2.4 통계적 분석

보행 시 무릎보조기 착용 여부에 대한 결과를 비교하기 위하여 Wilcoxon 검정을 실시하였으며, 통계적 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 하였다. 이때 SPSS 20.0(IBM Corp, USA)을 사용하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 운동형상학적 결과

보행 시 각 관절의 각도에 대한 결과는 Fig. 2에 나타났다. 보행 시 무릎보조기 착용 여부에 따른 엉덩관절과 발목관절의 가동범위(Range of motion)는 차이가 없었다 (비착용:  $49.2 \pm 4.0$ ,  $32.3 \pm 4.5$ , 착용 시:  $46.5 \pm 3.9$ ,  $35.0 \pm 3.6$ ,  $p > 0.05$ ). 하지만, 무릎의 관절 가동범위는 무릎보조기 착용시 유의하게 감소하였다 ( $65.5 \pm 3.7^\circ$  vs.  $60.5 \pm 3.5^\circ$ ,  $p < 0.05$ ). 엉덩관절의 최대 신전은 무릎보조기 착용 여부에 따라 이 없었다 ( $p > 0.05$ , Table 1). 무릎의 최대 굴곡은 입각기와 유각기에서의 무릎 보조기 착용시 유의하게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다 ( $p < 0.05$ ).

### 3.2 하지 내 연속상대위상 (Continuous Relative Phase)

보행 시 무릎보조기 착용 여부에 따른 하지 내 CRP를 비교한 결과는 Table 2.와 같다. 먼저 엉덩관절과 무릎관절 간 CRP는 입각기동안 무릎보조기 비착용 평균 155.5도에서 무릎보조기 착용 후 124.5도로 보조기 비착용시보다 20% 감소하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다.

표 1. 관절 각도 비교

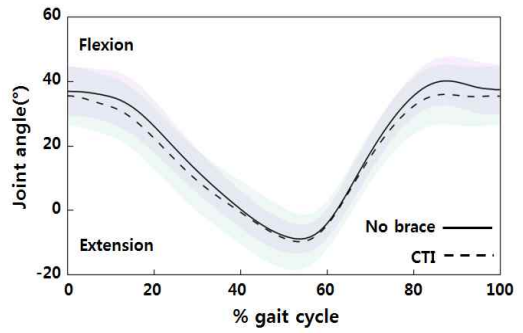
Table 1. Comparison of joint angle

		No brace	CTI
Hip	Maximum extension	$9.0 \pm 4.6$	$10.0 \pm 8.5$
	1st maximum flexion	$31.9 \pm 4.6$	$25.6 \pm 5.5^*$
Knee	2nd maximum flexion	$76.7 \pm 3.1$	$68.9 \pm 3.4^*$
	Maximum dorsiflexion	$22.7 \pm 2.6$	$19.2 \pm 2.1^*$
Ankle	Maximum plantar flexion	$9.6 \pm 3.0$	$15.7 \pm 2.2^*$

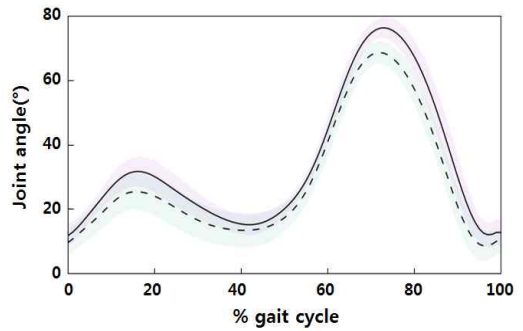
\*: vs. No brace ( $p < 0.05$ )

또한 유각기동안에는 무릎보조기 비착용시 평균 93.0도에서 무릎보조기 착용 후 84.7도로 9% 감소하였으며, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

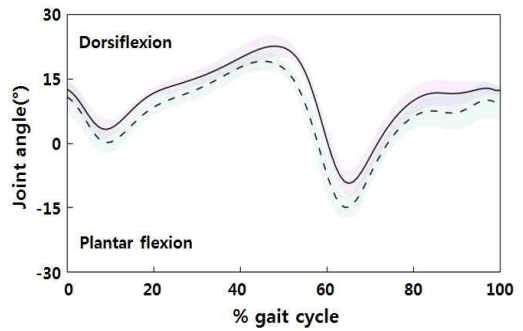
무릎관절과 발목관절의 CRP는 입각기동안 무릎보조기 비착용시 평균 53.5도에서 무릎보조기 착용시 61.6도로 15% 증가하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다. 또한 유각기동안 CRP는 무릎보조기 비착용시보다 착용시에 그 값이 조금 감소하였지만 통계적으로 유의하지 않았다.



(a) hip



(b) knee



(c) ankle

그림 2. 관절 운동형상적 결과

Fig. 2. Comparison of joint kinematics

### 3.3 하지 내 연속상대위상의 표준편차(CRP\_SD)

보행 시 무릎보조기 착용 여부에 따른 하지 내 CRP\_SD를 비교한 결과는 Table 3. 와 같다. 엉덩관절과 무릎관절의 CRP\_SD는 입각기동안 무릎보조기 비착용 시 평균 68.8도에서 무릎보조기 착용 시 61.4도로 11% 감소하였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 또한 유각기 CRP\_SD는 무릎보조기 비 착용시 25.1도에서 무릎보조기 착용시 32.4도로 29% 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ).

무릎관절과 발목관절의 CRP\_SD는 입각기동안 무릎보조기 비착용 시 46.0도에서 보조기 착용 시 80.1도로 74% 증가하였으며, 이는 통계적으로도 유

의하였다( $p < 0.05$ ). 또한 유각기동안 CRP\_SD도 무릎보조기 비착용 시 34.5도에서 무릎보조기 착용 시 37.6도로 9% 증가하였으며, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

### 3.4 시공간적 요인

보행 시 무릎보조기 착용 여부에 따른 시공간적 요인에 대한 비교 결과는 table 4와 같다. 연구 결과, 보행속도, 분속수, 입각기, 유각기, 보장비율은 무릎보조기 착용여부에 따라 유의한 차이는 없었다 ( $p > 0.05$ ).

표 2. CRP 비교  
Table 2. Comparison of CRP

		No brace mean±SD	CTI mean±SD
CRPH-K	ST	155.5±36.2	124.5±37.6
	SW	93.0±7.8	84.7±4.9*
CRPK-A	ST	53.5±13.0	61.6±19.8
	SW	70.5±7.8	68.7±4.3

CRPH-K: continuous relative phase between hip and knee, CRPK-A: continuous relative phase between knee and ankle, ST: stance phase, SW: swing phase, \*: vs. No brace( $p < 0.05$ )

표 3. CRP\_SD 비교  
Table 3. Comparison of CRP SD

		No brace mean±SD	CTI mean±SD
CRPH-K	ST	68.8±13.3	61.4±11.9
	SW	25.1±6.7	32.4±1.9*
CRPK-A	ST	46.0±12.9	80.1±31.1*
	SW	34.5±4.1	37.6±3.1*

CRPH-K: continuous relative phase between hip and knee, CRPK-A: continuous relative phase between knee and ankle, ST: stance phase, SW: swing phase, \*: vs. No brace( $p < 0.05$ )

표 4. 시공간적 요인 비교, 평균±표준편차  
Table 4. Comparison of spatiotemporal parameters, mean±SD

	No brace	CTI
Gait velocity (cm/s)	142.9±13.3	141.5±13.9
Cadences (steps/min)	110.6±6.2	110.4±3.9
Stance phase (%gait cycle)	62.3±0.7	62.1±1.6
Swing phase (%gait cycle)	37.7±0.7	37.9±1.6
Step length ratio	0.98±0.02	0.98±0.03

## 4. 논의

본 연구는 정상 성인남성을 대상으로 보행 시 무릎보조기 착용 여부에 따른 하지 내 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절 사이의 CRP를 측정하여 각 관절 사이의 협응을 평가하였으며, 이를 통하여 무릎보조기 착용 여부에 따른 하지 협응의 차이에 대하여 비교 분석 하였다.

무릎 보조기 착용 보행시 엉덩관절의 각도변화는 없었으나, 무릎과 발목의 각도 특성이 변화하였다. 특히 무릎의 가동범위가 감소하였으며, 발목 가동범위는 변화가 없었지만, 각도 변화의 형태가 전이되었다. 이와 같은 결과로부터 무릎 보조기 착용은 무릎의 굴곡을 억제시키며, 발목에서는 배측굴곡의 억제 및 족저굴곡을 증가시키는 것을 확인 할 수 있었다. 이로부터 무릎 보조기는 주로 무릎과 발목에 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다. 또한, 무릎 보조기로 인하여 제한된 무릎의 굴곡은, 발목의 거동의 변화로 보상하는 것으로 여겨진다.

CRP는 관절간 상(phase)특성을 의미하며, 0에 가까울 수록 in-phase 특성을 보이지만, 180에 가까울 수록 out-of-phase 특성을 보인다[7]. 엉덩관절과 무릎관절의 CRP는 무릎보조기 착용 여부와 상관없이 입각기가 유각기보다 out-of-phase 경향을 보였으며, 이와 같은 특성은 입각기동안 엉덩관절은 주로 굴곡에서 신전되며, 무릎관절은 주로 굴곡되어 엉덩관절과 무릎관절이 반대방향으로 움직이는 것에서 기인한 것으로 보인다. 반면 유각기동안 엉덩관절과 무릎관절은 주로 동시에 굴곡되는 특성을 나타낸다. 이와 같이 입각기와 유각기 사이에 엉덩과 무릎관절의 움직임 특성의 차이로 인하여 입각기와 유각기의 CRP가 다르며, 특히 유각기동안의 CRP가 입각기에 비하여 낮은 값을 보였다 [11]. 무릎 보조기 착용시 엉덩관절과 무릎관절의 CRP는 유각기에서 감소하였지만, 입각기에서는 차이가 없었다. 또한 무릎관절과 발목관절 사이의 CRP에서 입각기와 유각기 모두 차이가 없었다. 이는 입각기에서는 각 관절사이의 협응의 상(phase)특성은 유지되지만, 유각기에서는 엉덩관절과 무릎관절이 in-phase 특성을 보이는 것을 나타낸다. 이와 같은 특성은 각 관절 각도 변화에 따라 기인한 것으로 여겨진다. 무릎 관절은 무릎 보조기로 인하여 굴곡이 제한되며, 발목관절은 이에 대한 보상작용으로 각도 특성이 변화했다. 이에 따라 두 관절 사이의 상 변화는 없는 것으로 여겨진다. 이에 반하여 엉덩

관절의 각도 변화는 거의 없었다. 이에 따라 무릎관절과 엉덩관절 상이 변화가 발생하는 것으로 여겨진다.

CRP\_SD는 관절 간 협응의 변동성(variability)을 의미한다. 입각기에서는 지면의 정보를 확인하여 다리의 자세 제어를 위해서 주로 변동성이 높다[12,13]. 반면 유각기에서는 다리의 위치를 옮기는 과정이며, 이때 다리를 제어하는 필요한 에너지를 최소로 하는 것이 에너지 소모 측면에서 유리하기 때문에 변동성이 낮은 것이 효율적이다[14]. 본 연구에서는 입각기에서 무릎 보조기 착용 시 무릎관절과 발목관절 사이의 CRP\_SD가 증가하였으며, 이로 인하여 무릎 보조기 착용이 입각기 자세 유지에 유리할 것으로 여겨진다[12,13]. 이에 반하여 유각기에서 무릎 보조기 착용 시 엉덩관절과 무릎관절 사이의 CRP\_SD와 무릎관절과 발목관절 사이의 CRP\_SD는 증가하였다. 이는 유각기동안 무릎 보조기 착용으로 무릎의 굴곡이 억제되고, 발목의 족저 굴곡이 증가하여, 발끝림이 발생할 수도 있으며, 이와 같은 발끝림 방지(foot clearance)를 위하여 더 많은 에너지가 필요하기 때문으로 여겨진다.

이와 같이 무릎 보조기는 관절의 거동 및 관절 사이의 협응에는 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 시공간적 요인은 보행 보조기 착용시에도 큰 변화가 없었다. 이는 보행 보조기 착용이 보행에는 직접적으로 영향을 거의 미치지 않음을 나타낸다. 이로부터 본 연구에서 사용한 무릎 보조기는 무릎 관절의 보호하는 역할을 위해서 비정상적인 보행을 유발하지 않는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 무릎 보조기 착용 보행 시 시상면에서의 하지 관절의 거동 및 관절간 협응에 대하여 연구를 진행하였다. 하지만, 본 연구에서 사용한 무릎 보조기의 경우 프레임으로 인하여 시상면을 제외하고 다른 면(plane)은 제한하게 된다. 또한 실제 보행은 관상면 및 횡단면에서 관절의 거동이 발생하므로 향후 3차원적인 관절의 거동 및 관절간 협응에 대한 연구가 필요하다.

## 5. 결론

본 연구는 정상성인 남성을 대상으로 보행 시 기능성 무릎 신전 제한형 보조기 착용 여부에 따른 하지 내 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절 간 협응에 대한 차이를 정량적으로 평가하고자 하였다. 그 결과 무릎 보조기 착용 시 무릎과 발목의 각도 변화가 발생하였으며, 이로 인하여 엉덩관절과 무릎관절

사이의 협응 및 무릎관절과 발목관절 사이의 협응 또한 변화되는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만, 보행의 시공간적 요인 결과에서는 무릎 보조기 착용 여부에 따라 큰 차이가 없었음을 확인할 수 있었다. 이로부터 무릎 신전 제한형 보조기 착용은 보행 시 각 관절을 거동에는 영향을 주지만, 관절간 협응의 보상작용으로 인하여 보행 특성에는 큰 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 향후 스포츠 손상 예방 관련 기능성 무릎 보조기의 효과 검증 등에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## REFERENCES

- [1] Meeuwisse, W. H., Sellmer, R. and Hagel, B. E., "Rates and risks of injury during intercollegiate basketball." *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 31, no. 3, pp. 379-385, 2003.
- [2] Stanley, C. J., Creighton, R. A., Gross, M. T., Garrett, W. E. and Yu, B., "Effects of a knee extension constraint brace on lower extremity movements after ACL reconstruction." *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, vol. 469, No. 6, pp. 1774-1780, 2011.
- [3] Ford, K. R., Myer, G. D. and Hewett, T. E., "Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players." *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 35, No. 10, pp. 1745-1750, 2003.
- [4] Teitz, C. C., Hermanson, B. K., Kronmal, R. A. and Diehr, P. H., "Evaluation of the use of braces to prevent injury to the knee in collegiate football players." *J Bone Joint Surg Am*, vol. 69, No. 1, pp. 2-9, 1987.
- [5] Sitler, M., Ryan, C. J., Hopkinson, L. W., Wheeler, L. J., Santomier, J., Kolb, L. R. and Polley, C. D., "The efficacy of a prophylactic knee brace to reduce knee injuries in football A prospective, randomized study at West Point." *The American journal of sports medicine*, vol. 18, No. 3, pp. 310-315, 1990.
- [6] Han, K.-H. and Lim, B.-O., "The Effects of Knee Brace on the Knee Muscular Neuro-Biomechanical Variables during the Rebound in Female Highschool Basketball Players." *Korean Journal of Sport Biomechanics*, vol. 17, No. 4, pp. 107-113,

2007.

- [7] Van Uden, C. J. T., Bloo, J. K. C., Kooloos, J. G. M., Van Kampen, A., De Witte, J. and Wagenaar, R. C., "Coordination and stability of one-legged hopping patterns in patients with anterior cruciate ligament reconstruction: preliminary results." *Clinical biomechanics*, vol. 18, no. 1, pp. 84-87, 2003.
- [8] Kurz, M. J., Stergiou, N., Buzzi, U. H. and Georgoulis, A. D., "The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on lower extremity relative phase dynamics during walking and running." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, vol. 13, no. 2, pp. 107-115, 2005.
- [9] Chang, Y. H., Jung, B., Kang, S., Ryu, J., Mun, M. and Ko, C. Y., "Evaluation of intralimb coordination in transfemoral amputee during level walking." *Journal of rehabilitation welfare engineering & assistive technology* vol. 10, no. 2, pp. 147-153, 2016.
- [10] Chiu, S.-L., Chang, C.-C., Dennerlein, J. T. and Xu, X., "Age-related differences in inter-joint coordination during stair walking transitions." *Gait & posture*, vol. 42, No. 2, pp. 152-157, 2015.
- [11] Russell Esposito, E. and Wilken, J. M., "The relationship between pelvis-trunk coordination and low back pain in individuals with transfemoral amputations." *Gait & posture*, vol. 40, no. 4, pp. 640-646, 2014.
- [12] Yi, L. C., Sartor, C. D., Souza, F. T. and Sacco, I. C. N., "Intralimb Coordination Patterns in Absent, Mild, and Severe Stages of Diabetic Neuropathy: Looking Beyond Kinematic Analysis of Gait Cycle." *PloS one*, vol. 11, No. 1, pp. e0147300, 2016.
- [13] Hamill, J., Palmer, C. and Van Emmerik, R. E. A., "Coordinative variability and overuse injury." *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, vol. 4, no. 1, pp. 1, 2012.
- [14] Chen, H.-L., Lu, T.-W. and Chou, L.-S., "Effect of concussion on inter-joint coordination during divided-attention gait." *Journal of medical and biological engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 28-33, 2015.



**장 윤 희 (Yoonhee Chang)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원  
2012년 2월 삼육대학교 물리치료학과 박사졸업

Interest: Biomechanics, gait analysis, physical therapy and rehabilitation



**정 보 라 (Bora Jeong)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소  
2014년 2월 연세대학교 의공학과 석사졸업

Interest: Biomedical engineering, Motion analysis



**강 성 재 (Sungjae Kang)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소 책임연구원  
2013년 8월 연세대학교 대학원 의공학전공 공학박사

Interest: Rehabilitation Engineering, Biomechanics, Biomedical Engineering



**류 제 청 (Jeicheong Ryu)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소 부소장  
1992년 중학대학교 대학원 기계공학전공 공학박사

Interest: Rehabilitation Engineering, Rehabilitation Robot, Biomechanics



**김 규 석 (Gyu Seok Kim)**

현재: 재활공학연구소 연구위원  
2008년 연세대학교 기계공학과 공학박사

Interest: Rehabilitation Engineering, Rehabilitation Robot



**문무성(Museong Mun)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소  
장  
1992년 University of Minnesota  
의공학전공 공학박사

Interest: Rehabilitation Engineering,  
Biomechanics



**고창용(Chang-Yong Ko)**

현재 근로복지공단 재활공학연구소  
책임연구원  
2011년 2월 연세대학교 대학원 의  
공학전공 공학박사

Interest: Rehabilitation Engineering,  
Biomechanics, Biomedical  
Engineering