

## 보행 시 Wedged 인솔과 보행진행 각이 슬관절 외측 밀림(Lateral Thrust)에 미치는 영향

정도영

순천제일대학교 의료보장구과

김문환

연세대학교 원주의과대학 원주기독병원 재활의학과 물리치료실

권오윤

연세대학교 보건과학대학 물리치료학과, 보건환경대학원 인간공학치료학과, 보건과학연구소

### Abstract

#### The Influence of Wedged Insole and Foot Progression Angle on Lateral Thrust of Knee During Walking

Jung Do-young, M.Sc., P.T.

Dept. of Prosthetics and Orthotics, Suncheon First College

Kim Moon-hwan, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, Wonju Christian Hospital, Wonju College of Medicine, Yonsei University

Kwon Oh-yun, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Dept. of Ergotherapy, The Graduate School of Health and Environment, Yonsei University

Institute of Health Science, Yonsei University

The purpose of this study was to identify the influence of wedged insole and foot progression angle (FPG) on lateral thrust of knee in healthy subjects. Fifteen healthy male subjects were recruited from Suncheon First College, in Suncheon. The subjects randomly walked at the comfortable velocity under five conditions: bare footed, medio-lateral 10° wedged insoles, toe-in and toe-out gait. The lateral thrust was measured by a accelerometer with telemeter during walking. Data was collected while each subject walked for about 10 gait cycle on a flat, level walkway at their normal speed. The middle three gait cycle were used for averaged peak value of lateral acceleration. The three averaged peak value of lateral acceleration were collected under each condition at heel strike. The results showed that averaged peak value of lateral acceleration increased significantly in medial wedged insole and toe-in gait and decreased significantly in lateral wedged insole and toe-out gait as compared with bare footed ( $p < .05$ ). These results suggest that wedged insole as well as walking strategy, such as foot progression angle, may prevent progression of degenerative knee osteoarthritis.

**Key Words:** Foot progression angle; Lateral thrust; Osteoarthritis; Wedged insole.

### I. 서론

퇴행성 슬관절염(knee osteoarthritis)은 가장 호발하는 관절염 중의 하나로 연령이 증가할수록 그리고 남성

보다는 여성에게서 유병률이 높다(Guccione 등, 1990). 퇴행성 슬관절염은 대퇴경골관절(tibiofemoral joint)의 내측과 외측 그리고 슬개대퇴관절(patellofemoral joint) 등 세 구획 중 하나 또는 두 부위에 발생하는 것이 보통이며, 그 호발부위는 대퇴경골관절 외측보다 내측이 거의 10배 정도로 높는데 그 이유는 보행과 같은 체중 지지 활동 동안 전체 하중의 71~91%가 내측 대퇴경골관절로 이동하는 내측 구획 힘(medial compartment force) 때문이다(Kettelkamp와 Chao 1972; Schipplein과 Andriacchi, 1991). 발병요인으로는 외상으로 인한 빈도가 높고 이에 따른 수술, 내반 및 외반 변형, 무혈성 괴사 및 박리성 골연골염 등이다(Felson과 Radin, 1994). 초기 입각기 시에 갑작스런 슬관절의 외측 이동을 슬관절 밀림(knee thrust)이라 하는데 전방십자인대(anterior cruciate ligament: ACL)의 불안정성과 외측 연부조직의 느슨함으로 결국 슬관절 밀림이 증가되고 내반 방향으로 기계적인 신체정렬(mechanical alignment)이 이동하여 결국 퇴행성 슬관절염을 일으키는 원인이라고 보고하였다(Harrington 1983; Kanus 1989; Noyes 등, 1992). 보행하는 동안 슬관절을 내반 방향으로 작용하게 하는 정상적인 힘은 내반 토크(varus torque)를 생성하게 하는데 이는 슬관절의 내측 구획에 적용되는 압력(compressive force)과 직접적인 관련이 있으며, 슬관절의 기계적인 신체정렬과 지면 반발력(ground reaction force)에 따라 변화될 수 있다(Goh 등, 1993; Schipplein과 Andriacchi 1991).

퇴행성 슬관절염의 치료방법은 관절성형술(arthroplasty), 근위경골 절제술(high tibial osteotomy)과 같은 외과적 수술, 약물치료, 물리치료, 그리고 인솔(insole) 등을 적용한 신발과 보조기의 사용이 있다. Majima 등(2000)은 근위경골 절제술 1년 후에 슬관절의 기능이 수술 전 보다 유의하게 향상되었다고 보고하였다. 이러한 외과적 수술은 슬와 동맥(popliteal artery), 경골 신경(tibial nerve), 비골 신경(peroneal nerve)의 손상, 심부정맥 혈전증(deep vein thrombosis: DVT)의 발병, 그리고 염증 등 여러 가지 합병증이 발생할 수 있다(Georgoulis 등, 1999; Magyar 등, 1999). 약물치료는 통증과 염증을 감소시키지만 질병의 퇴행을 방지하지는 못한다. 그러나 외측 wedged 인솔과 외반슬 보조기(valgus knee brace)와 같은 전통적인 치료법은 초기단계의 퇴행성 슬관절염 환자의 통증을 감소시키고 기능을 증진시킨다는 임상적인 연구가 선행되었다(Hewett

등, 1998; Matsuno 등, 1997; Pollo 등, 2002). Wolfe와 Brueckann 등(1991)은 외측 wedged 인솔의 적용으로 인한 슬관절의 생체역학적인 변화를 설명하면서 슬관절에 작용하는 힘의 각도(angle of force)를 변화시킴으로써 내측 구획 힘을 감소시켜 내측 퇴행성 슬관절염 환자의 82%가 통증이 줄었다고 보고하였다.

퇴행성 슬관절염 환자의 환측이 건측보다 더 높은 내반 토크를 생성하게 된 것은 지면 반발력에 대한 슬관절 중심에서의 모멘트 팔(moment arm) 길이가 증가되기 때문에 치료접근방법 또한 모멘트 팔을 줄이는데 중점을 두는 wedged insole 및 보조기가 유용하다고 보고하였다(Wang 등, 1990). 이러한 모멘트 팔을 줄이는 또 다른 방법으로는 toe-out 각을 증가시켜 보행 전략(walking strategy)을 변화시킴으로써 내반 토크를 줄일 수 있다고 보고하였다(Andrews 등, 1996; Wang 등, 1990). Hurwitz 등(2002)은 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 보행 중 슬관절 최대 내반 토크와 하지의 기계적인 정렬, 방사선상의 손상정도, 보행 중 toe-out 각의 상관관계를 연구한 결과 모두 높은 상관관계를 보였다고 보고하였다. Lin 등(2001)에 의한 연구에서는 정상인을 대상으로 보행진행 각(foot progression angle: FPA)에 따른 내반 토크 변화를 알아보았는데 toe-in 보행 시 가장 컸으며, toe-out 보행은 정상보행보다 1/3배 유의하게 감소한다고 보고하였다. 그러나 이전 연구에서는 wedged 인솔과 보행진행 각이 슬관절 외측 밀림에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 내·외측 wedged 인솔과 보행진행 각에 따른 슬관절 최대 외측 밀림을 비교함으로써 퇴행성 슬관절염 예방 및 치료를 위한 유용한 자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 연구기간

본 연구의 대상자는 전라남도 순천시에 소재한 순천제일대학 재학생 15명으로 하였으며 선정기준은 다음과 같다. 첫째, 보행 장애가 없고 족부의 통증이 없는 자, 둘째, 족관절의 관절가동범위가 정상이며, 셋째, 후족각이 5° 이하인 자로 목발밀관절(subtalar joint)의 과도한 외반(valgus)이나 내반(varus), 무지외반증(hallux valgus)과 같은 족부 기형이 없는 자, 넷째, 내반슬(genu varus), 외반슬(genu valgus) 그리고 경골염전(tibial

표 1. 연구대상자 일반적 사항

(N=15)

구분	연령(세)	신장(cm)	체중(kg)
평균±표준편차	21.3±3.1	173.7±4.1	71.2±7.3

torsion)이 없는 자로 하였다. 모든 대상자는 연구내용에 대한 충분한 설명을 듣고 동의한 경우에 실험에 참여하도록 하였다. 연구 대상자의 평균연령은 21.3세, 평균신장은 173.7 cm, 평균체중은 71.2 kg이었으며(표 1), 연구기간은 2003년 4월 15일부터 2003년 4월 30일까지였다.

### 2. 측정도구 및 실험 방법

#### 가. 슬관절 외측 밀림 측정

슬관절 외측 밀림을 측정하기 위해 2G 범위의 ADXL250<sup>1)</sup> 단축 가속도계(unidirectional accelerometer)로 그 크기는 4 × 2 × 2 cm이며 무게는 43 g이다. 가속도 신호는 함께 연결된 PIC16F732<sup>2)</sup>을 이용하여 디지털 신호로 변환되고 RF 모듈 TX1<sup>3)</sup>을 이용하여 9600 bps의 속도로 컴퓨터에 전송되어 표시된다(그림 1). 표본추출율(sampling rate)은 각 신호 당 96 Hz이었다.

#### 나. Wedged 인솔 제작

Wedged 인솔의 제작은 각 대상자의 후족 폭에 맞도록 코르크(cork)로 제작하였다. 내·외측의 각도가 각각

10°가 되도록 하였으며 길이는 세로 10 cm로 하였다.

### 3. 실험방법

가속도계는 외측을 양의 방향이 되도록 경골조면(tibia tubercle)에 견고하게 부착하고, 초기 접지(initial contact) 시기를 측정하기 위하여 족부 스위치(foot switch)를 대상자의 발뒤꿈치에 부착하였다(그림 1)(그림 2). 보행속도를 일정하게 유지하기 위하여 편안한 보행속도를 3회 측정한 후 평균 보행속도를 산출하여 산출된 보행속도와 메트로놈의 속도를 일치시키고 대상자가 보행하도록 하였다. 예비보행 중에 족부 스위치와 가속도계 신호가 정상적으로 나타나는지 확인한 후 본 실험을 시행하였다. 양쪽 후족에 wedged 인솔을 부착하기 위하여 발목지지 탄력붕대(ankle support elastic bandage)를 이용하여 견고하게 착용하였으며, 정상보행, 내·외측 wedged 인솔 착용 후 보행, toe-in 그리고 toe-out 보행을 무작위순으로 시행하였다. 보행진행 각에 따른 보행은 익숙할 때 까지 연습을 충분히 한 후 시행하였다. 실험자가 '시작' 구령을 하면 대상자가 메트로놈 박자에 맞춰 보행하며, 각 조건 하에서 3회 반복측정하였다. 슬관절 외측 밀림은 편평한 통로에서 약

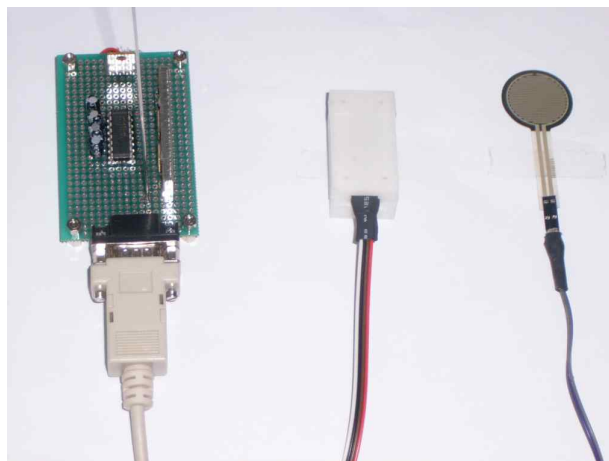


그림 1. 가속도계, RF전송모듈, 족부 스위치

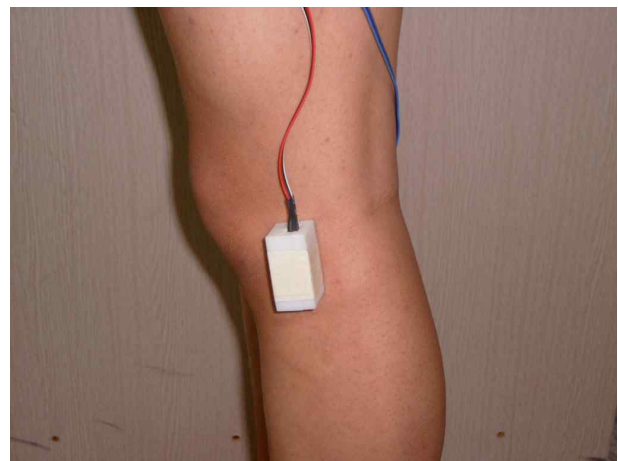


그림 2. 가속도 센서 부착 모습

1) Analog Device Inc. U.S.A.  
2) Microchip, U.S.A.  
3) Radiometrix, U.K.

10개의 보행주기 동안 자료를 수집하였으며 그중 중간 3개의 보행주기에서의 초기접지 시 슬관절 최대 외측 가속도값의 평균값을 자료분석을 위해 사용하였다.

#### 4. 분석방법

각 조건을 3회 반복측정한 값에서 한 회당 그중 3개의 보행주기 중 초기접지 시의 슬관절 최대 외측 가속도값의 평균을 대표값으로 하였다. 평균 최대 슬관절 최대 외측 가속도 값의 측정간 신뢰도를 알아보기 위해 급간내 상관계수(intraclass correlation coefficient: ICC) 분석방법을 사용하였다. wedged 인솔 및 보행진행 각에 따른 평균 최대 슬관절 외측 가속도값을 비교하기 위해 반복측정된 일요인 분산분석(one-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 다중비교를 위해 본페로니 수정법(Bonferroni's adjustment)을 적용하였다. 통계학적 유의 수준을 검정하기 위하여  $\alpha$ 는 .017(.05/3)로 하였으며 자료의 통계처리는 윈도우용 SPSS version 11.0 프로그램을 사용하였다.

### III. 결과

그림 3은 보행주기 동안의 슬관절 외측 가속도 값의 변화를 보여주고 있다. 반복측정된 슬관절 최대 외측 가속도값의 신뢰도 ICC(3,1)은 외측 wedged 인솔착용 시 .70, 내측 wedged 인솔착용 시 .86, 정상보행 시 .80, toe-in 보행 시 .77, toe-out 보행 시 .83 이었다(표 2). 평균 최대 슬관절 외측 가속도값은 외측 wedged 인솔착용 시 2.11 ㎍, 내측 wedged 인솔착용 시 2.62 ㎍, 정상보행 시 2.35 ㎍, toe-in 보행 시 2.60 ㎍ 그리고 toe-out 보행 시 2.14 ㎍이었다. 정상보행 시 보다 외측 wedged 인솔과 toe-out 보행 시에 유의하게 감소하였으며 정상보행 시 보다 내측 wedged 인솔과 toe-in 보행 시에 유의하게 증가하였다( $p < .05$ )(표 3)(표 4). 사후 분석 결과 wedged 인솔 및 보행진행 각에 따라 모두 유의한 차이를 보였다( $p < .05$ )(그림 4).

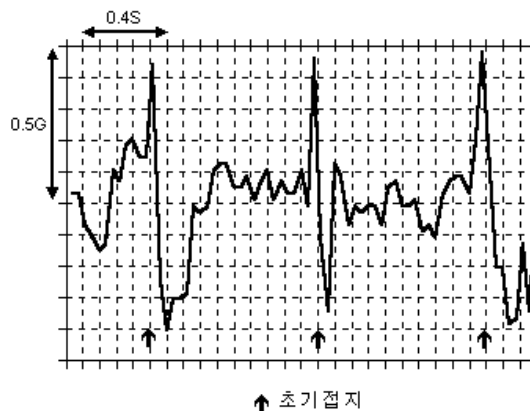
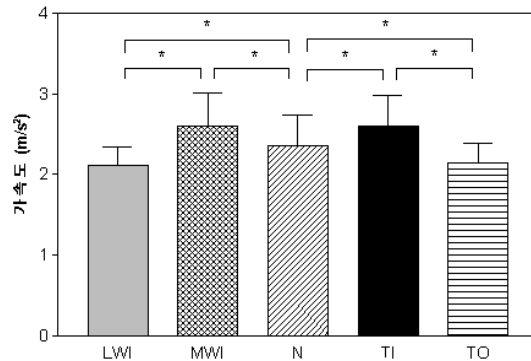


그림 3. 보행주기의 슬관절 외측 가속도값

표 2. 슬관절 외측 최대 가속도의 측정간 신뢰도

조건	ICC(3,1)	95% CI
외측 wedged 인솔	.70	.64~.86
내측 wedged 인솔	.86	.70~.95
정상보행 시	.80	.56~.92
toe-in 보행 시	.77	.50~.92
toe-out 보행 시	.83	.62~.93



\*p<.017

**그림 4.** Wedged 인솔과 보행진행 각에 따른 평균 최대 슬관절 외측 가속도값의 다중 비교(LWI: 외측 wedged 인솔; MWI: 내측 wedged 인솔; N: 정상보행; TI: toe-in 보행; TO: toe-out 보행)

**표 3.** 보행 시 wedged 인솔에 따른 반복측정된 유의성 검정 (단위: %) (단위: %)

조건	최대 슬관절 외측 가속도		자유도	F
	평균±표준편차			
정상보행 시	2.35±.38		2	17.71*
외측 wedged 인솔	2.11±.23			
내측 wedged 인솔	2.61±.41			

\*p<.05

**표 4.** 보행 시 보행진행 각에 따른 반복측정된 유의성 검정 (단위: %) (단위: %)

조건	최대 슬관절 외측 가속도		자유도	F
	평균±표준편차			
정상보행 시	2.35±.38		2	27.95*
toe-out 보행 시	2.14±.24			
toe-in 보행 시	2.60±.37			

\*p<.05

#### IV. 고찰

가속도계는 기존 삼차원 동작분석 시스템의 계산에 의한 것보다 운동형상학 및 운동역학 자료의 빠르고 정확한 검출이 가능할 뿐만 아니라 공간의 제약이 없고 상대적으로 저렴하며 장비보정(calibration)이 필요 없어 그 유용성에 관한 연구가 몇 십년간 계속되어 오고 있다. 가속도계값으로부터 얻을 수 있는 자료는 에너지 소

모량 산출, 균형능력 평가, 중추신경계 환자의 보행 및 동작분석, 그리고 다양한 근골격계질환의 평가 및 치료 효과를 알아보는 데 유용하게 사용되고 있다(Auvinet 등, 2002; Bouten 등, 1994; Moe-Nilsen, 1998 Moe-Nilsen 등, 1999). Moe-Nilssen(1998)은 서는 동안 그리고 보행 시 체간의 가속도값에 대한 검사-재검사 신뢰도(test-retest reliability)를 알아본 결과 보행 시 삼축(three axes)에 대해서 신뢰도가 매우 높아 균형능력과

보행을 평가하는데 신뢰할만한 도구라고 보고하였다 (ICC(3,1)=.79~.94). 본 연구에서도 각 조건에서의 보행 시 최대 슬관절 외측 가속도값의 측정간 신뢰도 범위가 .70에서 .86으로 나타났다.

퇴행성 슬관절염 평가 및 치료방법의 효능을 입증하기 위한 연구는 슬관절 외측 가속도 뿐만 아니라 슬관절의 운동형상학적 및 운동역학적인 다양한 변수들을 이용하여 보고하였다. 그 중 Pai 등(1997)은 고유수용성 감각(proprioception)은 역동적인 활동 시 관절의 안정성을 유지하는데 중요하며 해로운 움직임으로부터 관절을 보호하는 역할을 하고 그런 보호 및 안정화 기전의 손상은 관절의 퇴행성 변화를 일으킨다고 보고하였다. 또한 정상인과 구별되는 보행변수들의 변화들은 슬관절의 통증 그리고 손상된 슬관절의 고유수용성감각에 의해 이루어진다고 보고하였다(Al-zahrani와 Bakheit, 2002). Barrett 등(1991)에 의한 연구에서는 45명의 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 탄력붕대를 착용 시 관절 위치 감각을 평가한 결과 약 40%정도의 정확성이 증가하였고, 노인들이나 퇴행성 슬관절염 환자의 감소된 고유수용성 감각은 슬관절의 퇴행성에서 기인한다고 보고하였다. 고유수용성감각 외에도 슬관절 내측 구획 힘을 간접적으로 산출해 낼 수 있는 내번 토크를 측정하여 외측 wedged 인솔의 효능에 대한 연구가 선행되어졌다(Crenshaw 등, 2000; Kerrigan 등, 2002). Kerrigan 등(2002)에 의한 연구에서는 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 5° 각도의 외측 wedged 인솔을 적용했을 때 초기 및 후기 입각기 시 내번 토크가 각각 5.3%, 6.5%가 유의하게 감소한다고 보고하고 있다. 고유수용성 감각, 내번 토크 뿐만 아니라 본 연구에서 사용된 슬관절 외측 밀립을 통하여 퇴행성 슬관절염의 원인을 규명한 연구들도 선행되어져 왔다. 그 중 Yoshimura 등(2002)은 전십자인대 그리고 후십자인대가 불안정한 슬관절을 갖는 대상자들을 대상으로 슬관절 외측 밀립을 비교한 결과 정상적인 슬관절보다 불안정한 전십자인대는 외측 밀립이 유의하게 증가했으나 후십자인대가 불안정한 슬관절은 정상적인 슬관절보다 증가하였으나 유의한 차이는 없었다. 이는 전·후십자인대의 손상은 퇴행성 슬관절염을 진행시키는데 주요한 기여를 한다고 보고하였다. 또한 Ogata 등(1997)은 정상인과 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 보행 중 단축 가속도계를 이용하여 wedged 인솔의 효능을 평가한 결과 외측 wedged 인솔은 정상인과 내측 구획에 병변이 있는 퇴행성 슬관절염

환자에게서 외측 밀립을 유의하게 감소시켰으며 내측 밀립을 보였던 외측 구획 병변이 있는 퇴행성 관절염 환자(lateral compartment osteoarthritis)에게는 내측 밀립을 감소시켜 슬관절의 내측 구획 뿐만 아니라 외측 구획의 병변에도 wedged 인솔이 유용함을 보고하였다.

Wedged 인솔의 효과를 보행진행 각을 변화시킴으로써 치료효과가 있다고 해석한 연구들이 선행되어져 왔다. 그 중 Maly 등(2002)에 의한 연구에서는 5° 외측 wedged 인솔을 적용 시에 압력중심의 외측이동이 모멘트 팔을 줄여 슬관절 내번 토크를 감소시킨다는 가설을 세웠으나 정적인 정렬 혹은 보행 시 이러한 가설을 뒷받침해 주진 못했다. 그러나 전·후 방향의 무게중심 전이가 대조군보다 유의하게 감소된 것은 내번 토크와 밀접한 관계가 있다고 하였으며 이는 외측 wedged 인솔을 착용하는 동안 발 위치가 toe-out 자세로 내측 구획 힘을 줄일 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 내측 wedged 인솔과 toe-in 보행 시 정상보다 최대 슬관절 외측 가속도값이 각각 11% 증가하였으며 외측 wedged 인솔과 toe-out 보행 시 정상보다 최대 슬관절 외측 가속도값이 각각 11%, 9% 감소하였다. 이는 외측 구획 퇴행성 슬관절염 환자에게 내측 wedged 인솔 뿐만 아니라 toe-out 각을 감소시킴으로써 혹은 내측 구획 퇴행성 슬관절 환자에게 외측 wedged 인솔 뿐만 아니라 toe-out 각을 증가시킴으로써 퇴행적인 변화를 지연 혹은 치료할 수 있다고 생각된다. 향후 내·외측 구획 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 보행전략을 변화시킴으로써 슬관절 내·외측 밀립의 변화 혹은 예방 및 치료 효과가 있는지 연구가 필요할 것이다. 본 실험의 제한점으로는 정상인을 대상으로 하여 보행진행 각을 고의적으로 하여 실험을 시행하였다는 점이다. 하지만 이러한 제한점을 극복하기위해 대상자가 보행진행 각을 연습을 충분히 하여 익숙할 때 까지 보행연습을 하여 실험을 진행하게 하였다.

본 연구에서는 wedged 인솔과 같은 보조기 뿐만 아니라 보행진행 각과 같은 보행전략이 외측 밀립에 변화를 일으킨다는 것을 알 수 있었다. 하지만 이러한 보행 전략이 내·외측 슬관절염 환자에게 치료적인 효과가 있는지는 확인하지 못했다. 따라서 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 보행전략을 통해 슬관절 외측 밀립에 어떠한 영향을 미치는지 향후 연구가 필요할 것이다. 이러한 연구결과들이 선행된다면 내·외측 퇴행성 슬관절염 환자들의 초기접지 시 최대 슬관절 밀립에 변화를

주어 퇴행성 슬관절염의 예방 및 치료에 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## V. 결론

본 연구는 내·외측 wedged 인솔과 보행진행 각이 보행 시 슬관절 외측 밀림에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 시행하였다. 슬관절 외측 밀림은 단축 가속도계를 통해 자료를 수집하였고, 연구결과 초기 접지 시 평균 최대 슬관절 외측 가속도는 정상보행 시 보다 내측 wedged 인솔 착용 및 toe-in 보행 시 유의하게 증가하였으며 외측 wedged 인솔착용 및 toe-out 보행 시 유의하게 감소하였다( $p < .05$ ). 연구결과로 미루어 볼 때 wedged 인솔뿐만 아니라 보행전략의 변화를 통해 최대 슬관절 외측 밀림을 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 향후 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 보행진행 각과 같은 보행전략의 변화를 통해 슬관절 외측 밀림에 어떠한 영향을 미치는지 연구가 필요할 것이다.

## 인용문헌

Al-Zahrani KS, Bakheit AM. A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil.* 2002;24(5):275-280.

Andrews M, Noyes FR, Hewett TE, et al. Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A critical analysis of the reliability of gait analysis data. *J Orthop Res.* 1996;14(2):289-295.

Auvinet B, Berrut G, Touzard C, et al. Reference data for normal subjects obtained with an accelerometer device. *Gait Posture.* 2002;16(2):124-134.

Barrett DS, Cobb AG, Bentley G. Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(1):53-56.

Bouten CV, Westerterp KR, Verduin M, et al. Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(12):1516-1523.

Crenshaw SJ, Pollo FE, Calton EF. Effects of later-

al-wedged insoles on kinetics at the knee. *Clin Orthop.* 2000;375:185-192.

Felson DT, and Radin EL. What causes knee osteoarthritis: Are different compartments susceptible to different risk factors? *J Rheumatol.* 1994;21(2):181-183.

Georgoulis AD, Makris CA, Papageorgiou CD, et al. Nerve and vessel injuries during high tibial osteotomy combined with distal fibular osteotomy: A clinically relevant anatomic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1999;7(1):15-19.

Goh JC, Bose K, Khoo BC. Gait analysis study on patients with varus osteoarthritis of the knee. *Clin Orthop.* 1993;(294):223-231.

Guccione AA, Felson DT, Anderson JJ. Defining arthritis and measuring functional status in elders: Methodological issues in the study of disease and physical disability. *Am J Public Health.* 1990;80(8):945-949.

Harrington IJ. Static and dynamic loading patterns in knee joints with deformities. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(2):247-259.

Hewett TE, Noyes FR, Barber-Westin SD, et al. Decrease in knee joint pain and increase in function in patients with medial compartment arthrosis: A prospective analysis of valgus bracing. *Orthopedics.* 1998;21(2):131-138.

Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, et al. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. *J Orthop Res.* 2002;20(1):101-107.

Kanus P. Post-traumatic anterior cruciate ligament insufficiency as a cause of osteoarthritis in a knee joint. *Clin Rheumatol.* 1989;8:251-260.

Kerrigan DC, Lelas JL, Goggins J, et al. Effectiveness of a lateral-wedge insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(7):889-893.

Kettelkamp DB, Wenger DR, Chao EY, et al. Results of proximal tibial osteotomy. The effects of ti-

- biofemoral angle, stance-phase flexion-extension, and medial-plateau force. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(7):952-960.
- Lin CJ, Lai KA, Chou YL, et al. The effect of changing the foot progression angle on the knee adduction moment in normal teenagers. *Gait & Posture.* 2001;14(2):85-91.
- Magyar G, Toksvig-Larsen S, Lindstrand A. Hemicallotasis open-wedge osteotomy for osteoarthritis of the knee. Complications in 308 operations. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(3):449-451.
- Majima T, Yasuda K, Katsuragi R, et al. Progression of joint arthrosis 10 to 15 years after high tibial osteotomy. *Clin Orthop.* 2000;381:177-184.
- Maly M, Culham E, Costigan P. Static and dynamic biomechanics of foot orthoses in people with medial compartment knee osteoarthritis. *Clin Biomech.* 2002;17(8):603.
- Matsuno H, Kadowaki KM, Tsuji H. Generation II knee bracing for severe medial compartment osteoarthritis of the knee. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(7):745-749.
- Moe-Nilssen R. Test-retest reliability of trunk accelerometry during standing and walking. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79(11):1377-1385.
- Moe-Nilssen R, Ljunggren AE, Torebjork E. Dynamic adjustments of walking behavior dependent on noxious input in experimental low back pain. *Pain.* 1999;83(3):477-485.
- Noyes FR, Schipplein OD, Andriacchi TP, et al. The anterior cruciate ligament-deficient knee with varus alignment. An analysis of gait adaptations and dynamic joint loadings. *Am J Sports Med.* 1992;20(6):707-716.
- Ogata K, Yasunaga M, Nomiya H. The effect of wedged insoles on the thrust of osteoarthritic knees. *Int Orthop.* 1997;21(5):308-312.
- Pai YC, Rymer WZ, Chang RW, et al. Effect of age and osteoarthritis on knee proprioception. *Arthritis Rheum.* 1997;40(12):2260-2265.
- Pollo FE, Otis JC, Backus SI, et al. Reduction of medial compartment loads with valgus bracing of the osteoarthritic knee. *Am J Sports Med.* 2002;30(3):414-421.
- Schipplein OD, Andriacchi TP. Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking. *J Orthop Res.* 1991;9(1):113-119.
- Wang JW, Kuo KN, Andriacchi TP, et al. The influence of walking mechanics and time on the results of proximal tibial osteotomy. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(6):905-909.
- Wolfe SA, Brueckmann FR. Conservative treatment of genu valgus and varum with medial/lateral heel wedges. *Indiana Med.* 1991;84(9):614-615.
- Yoshimura I, Naito M, Hara M, et al. Analysis of the significance of the measurement of acceleration with respect to lateral laxity of the anterior cruciate ligament insufficient knee. *Int Orthop.* 2000;24(5):276-278.