

보행 시 무릎관절 내번토크에 미치는 후족웨지의 영향

정임숙¹, 김사엽¹, 김영호¹, 정도영², 권오윤³

연세대학교 의공학과, 의료공학연구소,
¹의용계측 및 재활공학 연구센터, 첨단의료기기 기술혁신센터
²순천제일대학 작업치료학과
³연세대학교 보건과학대학 재활학과 보건과학 연구소
(2004년 2월 10일 접수, 2004년 6월 28일 채택)

Effects of a Heel Wedge on the Knee Varus Torque During Walking

Im-sook Jeong¹, Sa-yup Kim¹, Young-ho Kim¹, Do-young Jung², Oh-yun Kwon³

Dept. of Biomedical Engineering, Yonsei University,
Research Institute for Medical Engineering,
¹Research Institute for Medical Instruments and Rehabilitation Engineering,
Technology Innovation Center for Medical Instruments
²Dept. of Occupational Therapy, Suncheon First College
³Dept. of Rehabilitation Therapy, College of Health Science, Yonsei University
Institute of Health Science, Yonsei University
(Received February 10, 2004. Accepted June 28, 2004)

요약 : 본 연구에서는 경사각도가 다른 내,외측 후족 웨지를 착용하고 보행하는 동안 삼차원 동작분석시스템과 무선가속도측정시스템을 이용하여 무릎관절의 내번토크와 내외측 방향 가속도를 측정하였다. 내번토크와 외측 가속도는 하중수용기와 전유각기에서 각각 양의 절정값을 나타내었다. 하중수용기에 내측 웨지의 경우 내번토크와 외측 가속도가 맨발에 비하여 증가되었으며, 외측 웨지의 경우 내번토크와 외측 가속도값이 감소하였다 ($p < 0.05$). 이러한 변화는 웨지의 경사각이 커질수록 더욱 뚜렷한 상관성을 보였다 ($p < 0.05$). 그러나 전유각기에서는 웨지의 방향과 경사에 따른 무릎관절의 내번토크와 내외측 가속도의 상관성을 확인할 수 없었다.

본 연구의 결과를 통하여 외측 웨지 사용 시 무릎관절의 내번토크가 감소되어 퇴행성 무릎관절염의 치료에 도움을 줄 수 있다. 또한, 보행 중 무릎관절의 내번토크 대신에 외측방향 가속도를 측정함으로써 간단히 웨지의 효과를 결정할 수 있을 것이다.

Abstract : In the present study, knee varus torque and mediolateral accelerations were measured using the three-dimensional motion analysis system and a linear accelerometry in order to determine the effect of heel wedges during walking. Wedges were inclined with 10° and 15° in medial and lateral directions respectively. Both knee varus torques and mediolateral accelerations showed two distinct positive peaks in loading response and preswing. Medial wedges resulted in significantly increased both knee varus torque and lateral acceleration in loading response, compared with the barefoot walking ($p < 0.05$). On the other hand, lateral wedges decreased them in loading response ($p < 0.05$). This became more significant for more inclined wedges. However, no significant correlations were found between knee varus torque and lateral acceleration according to the angle of heel wedges in preswing.

From this study, it was found that a lateral wedge would be helpful to treat osteoarthritis, decreasing knee varus torque in loading response. In addition, lateral acceleration of the knee joint might be an alternative to determine the effect of wedges and the alignment of the knee joint during walking, instead of measuring knee torque by the three-dimensional motion analysis.

Key words : Varus torque, Wedge, Acceleration, Osteoarthritis of the Knee

서론

무릎관절에 발생하는 내번토크는 지면반발력에 의하여 무릎관절의 내측에서 외측으로 발생된다[1]. 서있는 경우

본 연구는 과학기술부, 한국과학기술재단 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터 및 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

통신저자 : 김영호, 강원도 원주시 흥업면 매지리 234

연세대 보과대 의용전자공학과

Tel. (033)760-2492. 011-9797-2492 Fax. (033)760-2197

E-mail. yhkim@dragon.yonsei.ac.kr

지면 반발력은 무릎관절에 수직으로 작용된다. 그러나 보행의 초기입각기에는 발뒤꿈치가 지면에 외전되어 접촉하기 때문에 무릎관절의 내측으로 지면반발력이 작용되며 이로 인해 무릎관절에는 내측에서 외측 방향으로 작용되는 회전력이 발생하게 된다[1-3]. 이 회전력은 하지 관절의 정렬이 수직으로부터 어긋나서 하지가 외반 또는 내반되는 경우 지면반발력과 관절축과의 레버암이 증가하여 무릎관절의 내측 또는 외측으로 작용하는 힘을 비정상적으로 증가시킨다[4].

무릎관절에 내측으로 비정상적으로 크게 작용되는 지면 반발력과 이로 인해 발생하는 회전력은 퇴행성 무릎관절염을 유발 또는 촉발시키는 주요 원인으로 알려져 있다[4-5]. 퇴행성 관절염이 발생되면 환자의 무릎관절을 감싸고 있던 연골이 파괴된다. 무릎관절의 내측 구획은 퇴행성 관절이 가장 많이 발생하는 구역으로, 무릎관절의 내측에 작용되는 비정상적으로 큰 지면 반발력과 그에 따른 내번토크는 보행 시 환자에게 통증을 유발한다[5].

퇴행성 무릎관절염을 치료하기 위해서 약물치료와 외과적인 수술 외에 관절 방사선사진에 기초하여 적절한 경사각을 준 얇은 웨지를 사용하고 있다. 웨지를 사용한 치료법은 무릎관절염 부위의 통증완화에 치료효과가 있다고 발표된 바 있다[6-7]. 이러한 치료방법은 장기간의 약물치료를 따른 부작용이 없으며 만족할 정도로 좋은 예후를 보이지 않는 외과적인 수술과는 달리, 환자에게 있어서 가장 불편한 통증을 완화하는 효과를 얻을 수 있어 환자의 삶의 질을 높여준다고 알려져 있다[8-9]. 보행 시 환자가 느끼는 통증은 무릎의 내측에서 외측 방향으로 작용되는 회전력의 크기에 비례한다고 알려져 있는데, 웨지를 처방할 경우 이 회전력을 줄여주는 결과를 보여준다. 더불어 무릎의 관절면에 비정상적으로 작용되는 하중이 줄어들어 관절의 손상을 덜어주는 효과가 있다는 가설도 제시되고 있다[10-12].

본 연구에서는 삼차원 동작분석시스템을 이용하여 발뒤꿈치에 착용한 내측 또는 외측 웨지의 경사각에 따른 무릎관절의 내번토크 변화를 살펴보고자 하였다. 또한 무릎관절에 내외측 가속도를 측정하여 무릎관절의 내번토크와의 상관성을 살펴보았다.

방 법

1. 연구대상

본 연구를 위하여 하지에 기형 또는 심각한 외과적 질환이나 신경적 질환이 없는 7명의 남성을 대상으로 하였다. 발목의 과도한 외반 또는 내반이 있거나, 무지외반증(hallux valgus)과 같은 발 질환이 있는 자, 발의 안쪽 세로활(medial longitudinal arch)이 과도하게 높은 발이나 과도하게 낮은 편평족(flat foot)을 가진 자들은 피검자 대상에서 제외되었다. 피검자의 연령은 22.1 ± 2.1 세, 키는 172 ± 3.7 cm, 체중은 73.0 ± 10.3 kg 이었다. 보행속도에 의한 영향을 배제하기 위하여 107.4 ± 2.3 보/분의 일정한 분속수로 보행실험을 수행하였다.

2. 실험장비

1) 동작분석 시스템

보행 중 무릎관절 내번토크를 측정하기위해서 삼차원 동작분석시스템(B.T.S., Italy)을 이용하였다. 이 시스템은 네 대의 적외선 카메라와 두 대의 힘측정판(AMTI, U.S.A, Kistler, Switzerland), 근전도장비(B.T.S., Italy)로 구성되어 있다. 네 대의 적외선 카메라는 그림 1과 같이 S.A.F.Lo.(Servizio di Analisi della Funzionalità Locomotoria) 프로토콜에 따라 피검자에게 부착된 마커의 움직임을 50Hz로 샘플링하였으며,

두 대의 힘측정판을 통하여 지면반발력을 500Hz로 획득하였다[13].

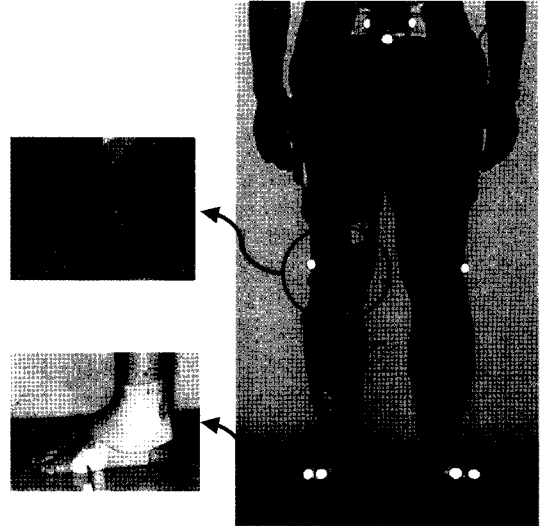


그림 1. S.A.F.Lo. 프로토콜에 따른 반사마커와 가쪽뼈머리에 부착한 가속도센서

Fig. 1. Markers for motion analysis and an accelerometer on the lateral epicondyle

2) 무선 가속도 측정시스템

피검자의 넙다리뼈의 가쪽위관절염기에 3축 가속도센서(CXL04LP1Z Crossbow U.S.A.)를 부착하여 보행 시 무릎관절의 내외측 방향 가속도를 측정하였다. 사용된 가속도센서의 출력은 0V~5V이며, 측정되는 가속도의 범위는 $\pm 2g$ 이다[13].

가속도센서의 출력값은 송신부에서 마이크로 컨트롤러(PIC16C73)에 의해 2채널 12비트의 디지털 신호로 인코딩되어 RF모듈을 통해서 송신되었다. 수신된 데이터는 DAQ보드(National Instruments, U.S.A.)를 통해 노트북에 신호를 표시하고 아날로그 신호로 변환되었다. 변환된 가속도신호는 삼차원 동작분석시스템의 아날로그 채널로 입력되어, 가속도 측정시스템과 동작분석시스템을 동기화시켰다[12]. 이와 같이 가속도계와 동작분석시스템을 연동함으로써, 보행 시 동작분석시스템으로부터 구분되는 보행주기에 따라 무릎관절의 내외측 가속도가 어떻게 변화되는지를 분석하였다.

3) 후족 웨지

실험에 사용된 후족 웨지는 총 4종류로 경사 방향이 내측과 외측이고, 경사각도는 10° , 15° 도였다. 그림 2(a)와 2(b)는 각각 내측, 외측 웨지를 보여주고 있다. 웨지의 재질은 폴리우레탄이었으며, 세로 길이는 7.5cm로 일정하게 하였다. 탄력성이 있는 발목보호대와 양면테이프를 사용하여 웨지를 피검자의 양 발뒤꿈치에 고정시켰다.

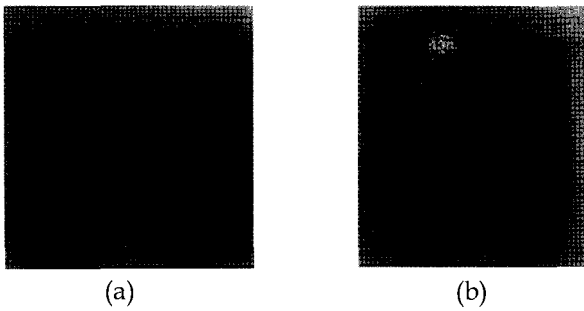


그림 2. 실험에 사용된 후족 웨지

(a) 내측 웨지 10°, 15°

(b) 외측 웨지 10°, 15°

Fig. 2. Heel wedges

(a) Medial wedge 10°, 15°

(b) Lateral wedge 10°, 15°

3. 실험 방법

후족 웨지를 피험자의 양쪽 발뒤꿈치 부분에 고정하고 피험자가 웨지에 익숙해지도록 실험 전에 충분한 보행 훈련을 실시하였다. 본 실험에 앞서, 보행 속도의 변화에 따른 관절에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 피검자가 편한속력의 자유보행을 3회 실시하여 평균 보행속도를 산출하였다. 산출된 평균 보행속도를 메트로놈에 일치시키고 피험자가 메트로놈에 맞춰서 걷도록 훈련하였다. 맨발, 외측 10°, 15° 후족 웨지, 내측 10°, 15° 후족 웨지의 순서로 5가지 경우의 보행실험을 수행하였다. 모든 피검자에 대하여 같은 보행실험을 5회 반복 측정하였다.

4. 분석 방법

피검자간의 교차비교를 위하여 무릎관절의 내변토크는 피검자의 체중과 키로 정규화 하였고, 무릎관절의 내외측 가속도는 센서의 출력 전압값을 1g당 9.8m/s²인 가속도값으로 변환하였다. 내변토크와 가속도의 시간축은 한 보행 주기를 백분율로 정규화하였다. 반복 측정된 자료는 각 실험조건별로 평균과 표준편차를 구하였다.

웨지의 경사방향과 각도에 따른 내변토크와 내외측 가속도의 유의성 분석은 대조군에 대한 각 실험조건에 대한 유의성은 짝비교 T-test (Paired T-test)를 사용하였으며, 세 가지 실험조건들 사이의 유의성 비교는 ANOVA를 사용하였다. 두 번의 절정기에서 무릎관절의 내변토크에 대한 내외측 가속도의 상관성을 확인하기 위하여 단회귀분석(Simple Regression Analysis)을 시행하였다. 자료의 정규화를 위하여 MATABL 6.5 (Mathworks Inc. U.S.A.), 자료의 유의성과 상관성분석을 위해서 SPSS 11.0 (LEAD Technologies Inc., U.S.A.)을 사용하였다.

결 과

1. 무릎관절의 내변토크

그림 3은 보행의 입각기동안 무릎관절의 내변토크를 나타낸 것으로, 하중수용기와 전유각기에 두 개의 정점을 발

견할 수 있다. 보행실험 결과, 맨발 보행과 웨지의 방향과 경사각에 따른 무릎관절의 내변토크를 비교하였을 때, 외측 후족 웨지를 착용하면 하중수용기에 내변토크가 감소되는 경향을 보이는 반면, 내측 후족 웨지를 착용하면 내변토크가 증가됨을 알 수 있었다. 또한 이러한 경향은 웨지의 경사각도가 증가할수록 더욱 현저하게 나타났다.

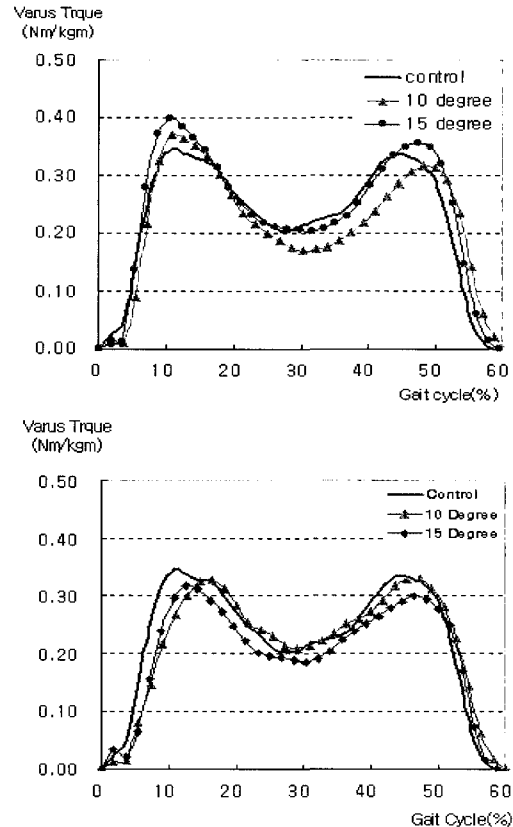


그림 3. 보행 중 무릎의 내변토크(피검자 A)

(a) 내측 웨지 착용시

(b) 외측 웨지 착용시

Fig. 3. Knee varus torques during walking (subject A)

(a) with medial wedge

(b) with lateral wedge

표 1은 하중수용기와 전유각기에서 각 실험조건에 대하여 내변토크의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 하중수용기에 경사각이 각각 10°, 15°인 내측 웨지를 착용한 경우, 무릎의 내변토크가 대조군과 비교하여 각각 12.7%, 38.9% 증가하였다. 반면에, 같은 경사각의 외측 웨지를 착용하고 보행하는 경우 무릎관절 내변토크는 각각 1.6%, 3.0% 감소하였다. 전유각기에 내측 웨지를 착용한 경우, 경사각이 증가함에 따라 무릎의 내변토크가 대조군과 비교하여 각각 9.6%, 35.7% 증가하였다(p<0.05). 반면에, 같은 경사각의 외측 웨지를 착용 시에는 하중수용기와는 달리 경사각이 증가함에 따라 내변토크가 감소되는 경향이 나타나지 않았다.

표 1. 후측 웨지 착용시 무릎 관절의 내번토크 절정값
Table 1. The knee varus torque peaks with heel wedges

무릎 관절의 내번 토크 (N×m / kg×m)		하중수용기	전유각기
대조군		0.362±0.097	0.353±0.050
내측 후측 웨지	10°	0.408±0.086*	0.387±0.057*
	15°	0.501±0.151	0.479±0.155
외측 후측 웨지	10°	0.356±0.090*	0.357±0.054*
	15°	0.351±0.091*	0.365±0.076*

* p<0.05에서 유의한 차이를 보임

2. 무릎관절의 외측 방향 가속도

그림 4(a)와 (b)는 각각 내,외측 웨지를 착용하고 보행하는 동안 측정된 무릎관절의 내외측 방향 가속도를 대조군과 비교하여 나타낸 것이다. 보행 중 무릎관절의 외측 방향으로 작용하는 가속도에서 무릎관절 내번토크와 같이, 하중수용기와 전유각기에 정점을 발견할 수 있었다. 내측 웨지의 경사각이 증가될수록 하중수용기에 무릎관절의 외측방향 가속도가 증가되는 반면에, 외측 웨지의 경사각이 증가될수록 외측방향 가속도가 감소되는 경향을 보였다.

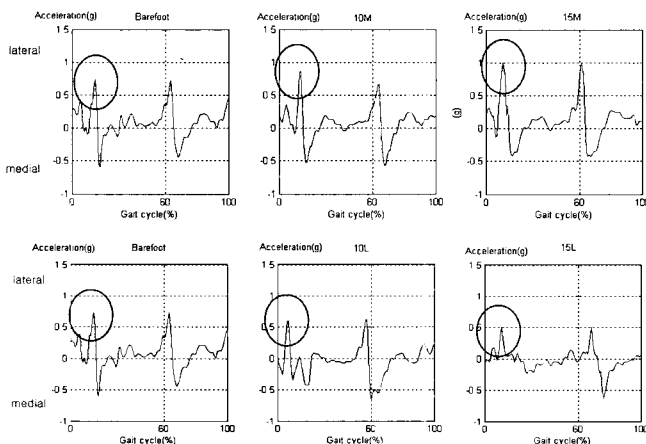


그림 4. 무릎관절의 내외측 방향 가속도(피험자 A)

(a) 내측 웨지 착용 시
(b) 외측 웨지 착용 시

Fig. 4. The medial/lateral accelerations at the knee joint (subject A)

(a) with medial wedge
(b) with lateral wedge

표 2는 각 실험조건에 대하여 하중수용기와 전유각기에 무릎관절의 외측 방향 가속도의 평균과 표준편차이다. 하중수용기에서 맨발과 비교하여 내측 웨지를 착용할 때, 웨지의 경사각이 10°에서 가속도는 29.3%, 경사각 15°에서 가속도는 31.2% 증가되었으며, 외측 웨지를 착용할 때, 경사각이 10°인 경우 가속도는 10.9%, 경사각이 15°인 경우 가속도는 23.4% 감소하였다(p<0.05). 그러나 전유각기에는 맨발의 경우와 비교하여 웨지의 경사 방향과 각도에 따른

경향성을 보이지 않았다.

표 2. 무릎 관절의 내외측 방향 가속도 절정값
Table 2. The medial/lateral acceleration peaks at the knee joint

무릎관절의 내외측방향의 가속도(a)		하중수용기	전유각기
대조군		0.762±0.237	0.894±0.362
내측 후측 웨지	10°	0.985±0.191*	0.553±0.198*
	15°	1.000±0.620	0.754±0.148*
외측 후측 웨지	10°	0.679±0.138*	0.725±0.166*
	15°	0.591±0.148	0.629±0.179*

* p<0.05에서 유의한 차이를 보임

3. 무릎관절의 내번토크와 가속도의 상관관계

표 3은 하중수용기와 전유각기의 두 시기에 5가지의 실험조건 따라 발생된 내번토크에 대한 외측 가속도의 상관성을 분석한 것이다. 하중수용기에서 내번토크에 대한 가속도의 피어슨 상관계수 0.839로 높은 “양”의 상관성을 나타냈다(P<0.05). 이는 하중수용기에 발생하는 무릎의 내번토크와 외측 가속도가 서로 유의한 상관관계를 나타냄을 의미한다.

그러나 전유각기에서는 내번토크와 외측 가속도와 유의한 상관성을 발견할 수 없었다. 그 이유는 후측 웨지를 착용하고 보행하였으므로 전유각기에 후측 웨지가 무릎관절에 미치는 영향이 작기 때문이다. 또한 전유각기에 발생하는 가속도는 초기유각기에 엉덩관절 내전의 영향도 함께 받기 때문에 내번토크와의 상관성이 떨어지는 것으로 생각된다.

표 3. 무릎관절의 내번토크와 내외측 방향 가속도의 상관성 분석
Table 3. Correlation between the medial/lateral accelerations and varus torque at the knee joint

		하중수용기	전유각기
상관계수	내번토크	1.000	1.000
	가속도	0.839	-0.032
유의확률(p)	내번토크	.	.
	가속도	0.038	0.479
기여율(R ²)		0.703	0.001

결론

본 연구에서는 정상인을 대상으로 내,외측 후측웨지의 경사 각도에 따른 무릎관절의 내측 구획에 작용하는 영향을 삼차원 동작분석시스템과 무릎관절에 부착한 가속도계를 사용하여 알아보았다.

피험자의 발뒤꿈치에 착용한 웨지의 외측 경사각이 증

가할수록 하중수용기에서 내번토크와 외측방향 가속도의 절정값이 감소하였으며, 웻지의 내측 경사각이 증가될수록 내번토크와 외측방향 가속도의 절정값이 증가되었다. 이는 후족 웻지를 착용함으로써 관절에 작용되는 하중이 변화함을 의미한다. 특히 외측 후족 웻지를 착용하고 보행할 때, 하중수용기에 무릎관절에 작용되는 내번토크를 감소시켜서 비정상적으로 높은 무릎관절 내번토크로 인한 퇴행성 관절염환자의 통증을 완화시켜 치료효과를 기대할 수 있다.

후족 웻지 착용 시 하중수용기에서 무릎의 내번토크와 외측 방향 가속도는 유의한 상관성을 보였다. 이는 보행 중 무릎관절의 내번토크 대신에 무릎관절의 외측방향 가속도를 측정함으로써 무릎에 작용되는 웻지의 효과를 판단할 수 있을 것으로 생각한다.

이상의 결과는 무릎관절의 내측 혹은 외측 구역의 과도한 하중을 감소시키기 위한 인솔형태의 발 보조기를 제작하는데 필요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 향후 퇴행성 무릎관절염 환자를 대상으로 실험을 수행하여 본 연구결과에 대한 임상적인 검증을 유도하고자 한다.

참 고 문 헌

1. J. Rose, J.G. Gamble, Human Walking, Williams & Wilkins, 2nd ed., 1994
2. O.D. Schipplein, T.P. Andriacchi, "Interaction between active and passive knee stabilizers during level walking", Journal of Orthopedic Research, Vol. 9, pp. 113-118, 1991
3. J.B. Morrison, "The mechanics of the knee joint in relation to normal walking", J. Biomechanics, Vol. 3, pp. 51-61, 1970
4. D. A. Neumann, Kinesiology of the Musculoskeletal System, Mosby, pp. 464-477, 2002
5. K. Ogata, M. Yasunaga, H. Nomiya, "The effect of wedged insoles on the thrust of osteoarthritic knees", SICOT, Vol. 21, pp. 308-312, 1997
6. M.A. Lafortune, "Three-dimensional acceleration of the tibia during walking and running", J. Biomechanics, Vol. 24, pp. 877-886, 1991
7. D.C. Kerrigan, J.L. Lelas, J. Goggins, G.J. Merriman, R.J. Kaplan, D.T. Felson, "Effectiveness of a lateral-wedged insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis", Arch Phys Med Rehabil, Vol. 83, pp. 889-893, 2002
8. G.A. Deorgoulis, C.A. Markris, C.D. Papageorgiou, U.G. Moebius, T. Xenakis, P.N. Soucascos, "Nerve and vessel injury during high tibial osteotomy combined with distal fibular osteotomy: a clinically relevant anatomic study", Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, Vol. 7, pp. 15-19, 1999
9. T.E. Hewett, F.R. Noyes, S.D. Barber-Westin, T.P. Heckman, "Decrease in knee joint pain and increase in function in patients with medial compartment arthrosis: a prospective analysis of valgus bracing", Orthopedics, Vol. 21, pp. 131-128, 1998
10. S.A. Wolf, F.R. Brueckmann, "Conservative treatment of genu valgus and varum with medial/lateral heel wedge", Indian Med, Vol. 84, pp. 614-615, 1991
11. H. Tohyama, K. Yasuda, K. Kaneda, "Treatment of osteoarthritis of the knee with heel wedges", Int Orthop, Vol. 15, pp.31-33, 1991
12. K. Yasuda, T. Sasaki, "The mechanics of treatment of the osteoarthritic knee with a wedged insole", Clin Orthop, Vol. 215, pp.165-172, 1987
13. 이진복, 강성재, 김영호, "정상보행시 체중심의 수직가속도 특성", 한국전문물리치료학회지, 9권, pp. 39-46, 2002