

스키환자용 특수 슬관절보조기의 동특성 해석

Dynamic Analysis of The Knee Brace for Ski Injured Patient

최진영* · 김명희** · 장대진*** · 박영필****

Jin-Young Choi, Myung-Hoe Kim, Dae-Jin Jang, Young-Pil Park

Key Words : Expanded Knee brace, Ski Injured Patient, Accelerometer, FEM

ABSTRACT

A new type of the Expanded Knee brace was developed to measure the human knee joint. This instrument was composed of six parts, four arranged for two hinge joints and two pin joint, and two hinge for the expanded system.

With a developed instrument, the experimental results obtained the data of Accelerometer, the experimental results obtained of the data FEM, the experimental results obtained the data of Motion Analysis and Force platform. Compared to earlier developed sports type knee brace, new instrument shows its convenience in application and accuracy in measurement.

1. 서론

최근 스키운동중 골절사고와 내측 슬관절인대 파열진단을 받은 환자의 급증으로 특수한 기능의 슬관절보조기의 개발 필요성이 대두되고 있다.

무릎관절의 운동은 하지(lower extremity)의 각기 다른 관절의 운동과 매우 긴밀한 연관관계를 가지고 있다. 따라서 무릎관절에 대한 생체역학적인 해석은 매우 중요하고 실제적인 문제로 인식되고 있다. 이와 같은 해석은 무릎관절의 기능적 손상으로부터의 회복이 요구될 때나, 질병으로 인한 치료를 요할 경우 매우 긴요히 사용될 수 있다. 따라서 무릎관절의 해부학적, 기능적 특성에 대한 충분한 이해가 선행된다면 진단, 치료용 특수 슬관절보조기의 설계에 매우 유용한

자료로 사용될 수가 있다.

지금까지 환자의 체중부하의 대칭성을 증가시키기 위하여 환측에 보조기를 착용한다든지, 시청각 생체피막임을 이용, 또는 건측의 신발 높이기 등의 방법을 이용한 정적 체중부하에 대한 많은 연구가 있었지만 환측의 연결지대 부착을 통한 정적, 동적 체중부하에 관한 연구는 매우 적었다.

그동안 많은 연구자들은 무릎관절의 정량적 운동량을 측정하기 위하여 많은 노력들을 기울여 왔다. 지금까지 개발된 기구들은 주로 다음과 같은 방법들을 이용하고 있다. High Speed Stereophotographic 방법, Video Camera를 이용하는 방법, 가속도계를 이용하는 방법, Biplanar X-ray 방법, 그리고 외골격 링크 장치(Exoskeletal linkage)를 이용하는 방법 등이 있다.

본 연구의 목적은 특수 슬관절보조기의 연결지대의 조절을 통하여 슬관절인대 손상으로 다리길이의 차이로 인한 자세불균형과 보행 불가능을 교정하는 방법으로 제안 하였고 슬관절인대 파열손상환자에게 처방된 일반형 슬관절 보조기의 환측 옆라이트에 연결지대를 10cm 연장 하였다. 환측의 연결지대 부착이 슬관절인대 파열 손상환자의 체중부하에 어떠한 영향을 미치는지를 알아 보았다.

* 연세대학교 대학원 기계공학과
E-mail : mithra@vibcon.yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 364-6769

** 대불대학교 보건학부(연세대학교 대학원)

*** 연세대학교 대학원 기계공학과

**** 연세대학교 기계공학과

2. 연구방법

2.1. Expanded Knee Brace의 생체역학적 모델링

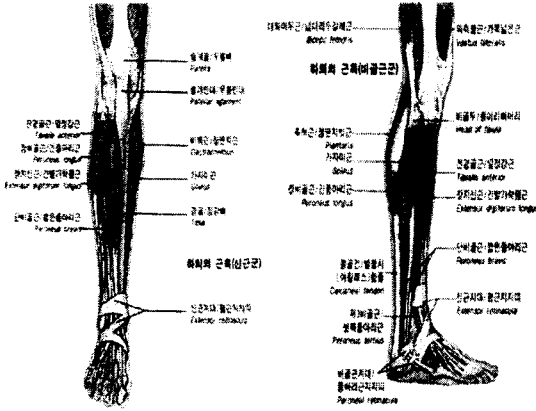


Fig.1. Anatomy of The Expanded Knee brace

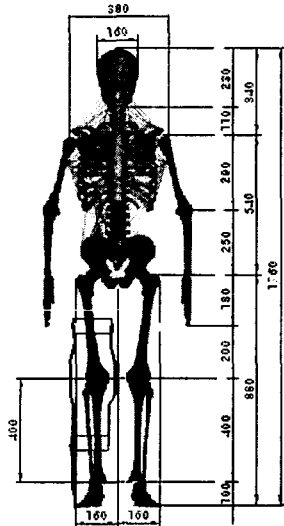


Fig.2. Anatomical Model of The Expanded Knee brace

정상적인 자세조절체계는 시각, 전정감각과 고유감각 및 체감각들이 상호 작용 할 때 비로소 이루어지며 이러한 체계에 이상이 오면 기립자세가 불안정하게 된다(Reginella 등, 1999).

Hamrin 등(1982)의 보고에 의하면 균형과 보행 간에는 높은 상관관계가 있다고 하였다. 환자들은 특징적으로 환측보다 건측으로 체중이동을 더 심하게 한다(Dettmann 등, 1987; Hesse 등, 1998). 이러한 체중분산의 비대칭성은 환자가 넘어지게 되

는 주요 원인으로 보고되고 있다(Di Fabio와 Badke, 1990; Hocherman 등, 1984). Holt 등(2000)과 Weerd 등(1989)은 환자에서 이러한 비대칭적인 체중이동으로 인하여 균형능력이 저하되기 때문에 손상 후 6개월 이내에 적어도 한번 이상은 넘어지는 경험을 한다고 보고하였다.(Fig.1)

Mizrahi 등(1989)은 환자의 체중분산에 대한 연구에서 기립시 전체체중의 약 75%가 건측으로 유지된다고 보고하였으며, Dickstein 등(1984)과 Bohannon과 Larkin(1988)은 체중의 약 80%를 건측으로 지지한다고 보고하였다. 환측으로의 체중지지가 감소하면 운동기능의 장애를 초래하고 또한 환자의 기능적 능력을 감소시키게 된다(Sackley 등, 1992). 이러한 비정상적인 체중 분포에 대해 특수보조기 착용 치료를 하지 않고 방치한다면 환자의 신체는 잘못된 습관으로 인해 변형이 발생 될 것이다.(Fig.2)

환자들의 보행특성을 개선하기 위해 환측의 체중이동 훈련과 더불어 보행의 교정을 목적으로 한 보조기들이 다양하게 이용되고 있다(Meyer, 1974; Lehmann, 1979). 또한 보행과 체중이동의 문제를 측정할 수 있는 유용한 도구들이 사용되고 있다(Keenan 등, 1984; Lee 등, 1988). 체중이동 훈련의 한가지 방법은 시청각 생체피드백(biofeedback)을 이용하는 것이다. 시청각 생체피드백 훈련이 균형에 문제가 있는 환자의 체중분산 능력을 향상시키고, 신체의 대칭성을 증가시켰다는 보고가 있다(Walker 등, 2000; Weerd 등, 1989).

Lehmann(1979)은 플라스틱 단하지 보조기(ankle-foot orthoses)의 경우 환자의 유각기(swing phase)와 입각기(stance phase)동안 발의 내외측 안정성을 높여서 환자에게 나타나는 이상보행을 부분적으로 교정하는데 도움을 줄 수 있다고 보고하였다. 노인들은 신발의 높이나 형태에 따라 균형능력에 영향을 받는다(Lord와 Bashford, 1996).

Chaudhuri와 Aruin(2000)은 환자의 정적 기립자세에서 건측의 신발과 지면사이의 높이를 조절한 후, 환측으로의 체중부하를 시키면서 좌우체중분산을 연구한 결과 환측으로의 체중이동이 증가하여 신체의 좌우 대칭성이 증가하였다고 보고하였다. 이러한 결과는 Aruin 등(2000)에 의한 연구에서도 마찬가지로 나타났다. 하지만 동일한 환자의 정적 체중분산이 분석되었다 할지라도, 동적 체중분산에 대해서는 재평가가 이루어져야 한다(Di Fabio와 Badke, 1990).

2.2. Knee Brace의 종류와 특성

슬관절보조기는 족관절이나 발과는 관계없이 오직 슬관절에만 장애가 있을 때 사용된다. 이 보조기의 목적은 슬관절을 보호하기 위하여 받쳐주거나 슬관절의 운동을 조절할 필요가 있을 때 또는 슬관절의 기형을 예방하거나 교정할 때 사용한다. 슬관절의 장애나 손상에 따라 그에 적합한 보조기를 맞춰주어야 하며 보조기는 가볍고, 튼튼하고, 내구성이 있고, 기능에 맞는 것이어야 한다.

슬관절에 사용하는 보조기에는 다음과 같은 것들이 있다.

Spiral knee orthosis 이것은 슬관절 주위의 근육 또는 인대의 경미한 좌상(contusion), 염좌(sprain), 스트레인(strain) 등으로 인한 동통이나 종창(swelling)을 경감시켜 주기 위한 보조기로서 탄력성 섬유 재질로 만들어져 있다. 스포츠 손상의 예방목적으로도 널리 사용된다. 이와 비슷한 elastic stocking은 보조기는 아니지만 탄력성이 강한 재질로 여성들의 스타킹처럼 생겼으며 발목 아래부터 대퇴 무위까지의 하지를 꼭 조이게 하여 다리가 피곤할 때나 하지의 venous return을 돕기 위한 목적을 사용된다.

오늘날 이러한 보조기들은 환자의 다리 모양을 본뜬 석고 위에 열 경화성 플라스틱을 밀착시켜 만들기 때문에 cuff보다는 좀더 정확하고 확실하게 그리고 넓은 부위에 힘을 가할 수가 있다. 이 보조기의 side bar와 polycentric joint는 다리 전면을 덮고 있는 polypropylene thigh와 calf shell에 연결되어 있다.

Conventional knee orthosis는 전통적으로 사용되어왔던 knee orthosis로 가죽으로 된 thigh cuff와 calf cuff로 다리를 감싸고 metal side bar가 고정되어 있으며 패드는 외측 또는 내측으로 힘을 가할 수 있다.

Knee orthosis의 가장 일반적인 문제점은 보조기가 아래로 미끄러져 내려가는 것이다. 이것을 방지하기 위하여 suspension wedge를 삽입하면 이러한 문제점을 방지하며 어느 정도 무릎이 회전되는 것도 방지할 수 있다. 이러한 디자인은 여러 가지가 있다.

Sports knee orthosis는 전방십자인대(anterior cruciate ligament)의 손상을 받았을 때나 예방할 때 사용하는 보조기로서 슬개골 바로 아래를 X자로 받쳐주어 하퇴가 전방으로 밀리는 것을 보호해 준다. 몸이 직접 접촉되는 격렬한 스포츠 운동 때 주로 사용한다.

Hinged knee orthosis는 슬관절의 내외측 안정성을 대비하기 위하여 또는 염좌나 스트레인으로 동통이나 종창이 심한 환자에게 사용된다. 이 보조기에는 내외측 옆라이트와 보조기 슬관절이 있기 때문에 보다 견고히 무릎의 내외측 안정성을 높여 주며 무릎을 구부리고 펴기가 편하게 되어 있다.

Patellar tendon strap (infrapatellar strap) (patellofemoral orthosis)은 활동할 때만 착용하는 비교적 제일 간단한 patellar tendon strap은 슬개골 바로 아래에서 무릎을 감싸는 스트랩이다. 이것은 슬개골과 대퇴골 사이의 병변이 있을 때 사용하는 보조기로, 무엇보다도 슬개골이 탈구되지 않도록 무릎을 구부리고 펼 때 슬개골의 움직임에 대한 조절을 도와주고자 하는 목적으로 사용된다.

Knee extension cage는 보조기를 맞추기 전에 일시적으로 사용하는 경우가 많으며 슬관절의 굴곡구축(knee flexion contracture) 때 구부러진 무릎을 펴기 위하여 patella pad와 함께 사용된다. 또한 슬관절 신전근(knee extensor)인 대퇴사두근(quadriceps femoris)이 약하거나 마비가 되었을 때 무릎을 고정시켜 보행을 할 때도 사용된다. 이것은 알미늄으로 옆라이트를 만들고 하퇴와 대퇴에 각각 밴드와 커프를 부착하고 knee pad를 부착한다. 이 보조기에는 슬관절을 만들 수도 있고 스트랩을 달 수 있으며 그 위치에 따라 외반슬(knock knee)이나 내반슬(bow knee)을 교정할 수 있다.

Dynamic patello-femoral orthosis 이것은 palumbo 라고도 불리우며 슬개골의 외측 아탈구(lateral subluxation)나 탈구(dislocation)를 방지하기 위한 목적으로 사용된다. 이것은 슬개골이 들어갈 만큼 가운데 구멍이 뚫려있는 elastic sleeve와 초생달처럼 생긴 patellar pad에 dynamic tension이 걸리도록 두 개의 탄력성 스트랩이 달려있고 그 반대측에는 패드의 위치를 고정시키기 위한 한 개의 스트랩이 달려 있어서 슬관절축에 대한 회전 운동(axial rotation)을 방지한다.

Lenox hill derotation orthosis와 Lerman multi-ligamentous knee control orthosis는 슬관절축에 대한 회전운동(axial rotation)을 조절해주며 sagittal과 frontal plane에서 슬관절의 각도를 조절해 준다. 이 보조기는 둘다 탄력성 스트랩이 이용되며 하퇴와 대퇴를 감싸고 슬관절 회전운동에 대비하도록 고안된 힘이 작용한다. 그리하여 특히 슬관절의 스포츠 손상을 예방하고 치료하는데 사용된다. herman orthosis는 슬개골의 내외측 전위 (mediolateral displacement)를 조절하기 위한 패드가 달려 있다.

Post operative knee support는 슬관절을 수술한 다음 내외측 또는 전후방의 움직임을 제한하기 위하여 사용되는 보조기로서 패드를 먼 캔버스로 만들며 벨크로가 달린 스트랩으로 묶어서 고정시킬 수 있다.

CARS-UBC knee orthosis는 슬관절의 외반(valgus)이나 내반(varus)기형을 교정하기 위한 보조기이다. 이것은 두 개의 플라스틱 커프로 이루어져 있는데 하나는 대퇴에 그리고 다른 하나는 하퇴에 있으며 줄이고 늘릴 수 있는 쇠막대에 연결되어 있다. 이 쇠막대는 외반슬(genu valgum)일 때에는 대퇴 외측에 놓고 내반슬(genu varum)일 때에는 대퇴 내측에 놓는다. 세 번째의 압력점은 내반슬(menu varum)일 때는 외측에 패드를 대고 외반슬(genu valgum)일 때는 내측에 패드를 댈다. 무릎을 완전히 펴고 체중을 주었을 때 이 3점압은 외반슬이나 내반슬이 되려고 하는 힘에 반대되는 힘으로 작용한다. 이것은 슬관절축의 회전운동은 조절하지 못한다. Knee flexion은 쇠막대를 올리고 내림에 따라 조절 할 수가 있다. 이 보조기는 일차적으로 미관상 보기좋지 못하고 옷을 입고 벗을 때 거추장스럽다는 단점이 있다.

Supracondylar Knee orthosis는 전반슬(genu recurvatum)을 방지하고 내반슬(genu varum)이나 외반슬(genu valgum)을 교정하기 위한 플라스틱 보조기이다. 이것을 착용해도 무릎의 기형을 정상 상태의 일직선을 만들 수 있다는 기대는 할 수 없으나 계속되는 기형을 방지할 수 있고 조절할 수 있다는 점은 염두에 두어야 한다. 이 보조기는 무릎의 내외측을 둘러싸고 있는 얇은 플라스틱판의 구조로 되어 있고 슬개골의 상면에서 약 4cm되는 지점까지 덮여있다. 전반슬(genu recurvatum)을 조절하기 위한 후방의 반대압력은 슬와부(popliteal area)에 가하게 되며 보행시 유각기(swing phase)에서 무릎을 구부릴 때나 앉을 때 슬관절 운동은 제한을 받지 않는다.

2.3. Expanded Knee Brace의 3-D 모델링



Fig.3. 3-D Modelling of The Expanded Knee brace

3.2. Expanded Knee Brace의 Motion Analysis과 Force platform 실험장치



Fig.5. Force platform Analysis of The Expanded Knee brace

3. 실험방법

3.1. Expanded Knee Brace의 실험장치



Fig.4. Experimental Set up of The Expanded Knee brace

실험용 슬관절보조기는 연구대상자에게 처방된 일반형 슬관절 보조기와 특수형 슬관절보조기를 가지고 수행하였다. 슬관절보조기의 평균 무게는 500g 이었으며 재질은 AL70계열을 사용하였다. 특수형 슬관절보조기의 총 길이는 45cm이었고 연결지지대는 발 끝에서 10cm 돌출된 형태였다.(Fig.3)(Fig.4)

본 측정장비는 4개의 Road Cell 센서감지기 부착된 두 개의 힘판(force platform)으로 구성되었으며 컴퓨터와 연결되어 발과 발판사이의 수직반발력(vertical reaction forces)을 측정하여 정적(static), 동적(dynamic) 체중부하율(%)을 측정하였다.(Fig.5)

삼차원 동작 분석 시스템을 이용하여 보행의 시간 및 거리에 관한 자료(temporal data)와 운동 형상학적 자료(kinematic data)를 구하였다. 이를 위한 3차원 동작 분석 장치로는 영국 Oxford Metric 회사(Oxford, England)의 Vicon 370 동작 분석 시스템을 사용하였다. 이것의 기본 작동 원리는 6대의 적외선 스트로보에서 나오는 적외선이 신체의 일정 부위에 부착된 표시 점들에서 반사되는 것을 각 스트로보에 달린 적외선 신체의 일정 부위에 부착된 표시 점들에서 반사되는 것을 각 스트로보에 달린 적외선 카메라가 포착하고, 이에 연결된 컴퓨터가 각 표시 점의 3차원 좌표를 계산하면서 추적하는 방식이다.

동적 체중분산의 측정은 평상 시 편안한 보행속도로 걷게 하였다. 보행의 순서는 오른발부터 시작하며 총 3걸음(stride)중 두 번째 걸음을 측정하였다. 동적 체중분산의 측정은 Force Platform System의 측정결과로 나온 M자형 그래프를 이용하여 측정하였다. 환측의 입각기 중 발뒤축접지기(heel contact)는 M자형 그래프의 0지점, 발바닥접지기(foot flat)는 1지점, 발뒤축들림기(heel off)는 2지점으로 나누어 측정하였다. 동적 체중분산의 측정자료는 3회 측정된 평균치를 자료분석에 이용하였다.

3.3. Expanded Knee Brace의 Accelerometer 인체진동측정 실험장치

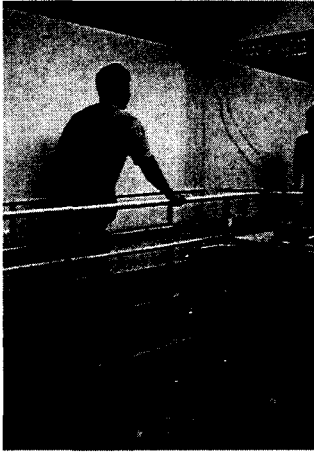


Fig.6. Accelerometer Analysis of The Expanded Knee brace

본 연구에서는 Fig 6와 같이 저주파 진동측정용 가속도계 (accelerometer)를 부착하여 주파수[Hz] 대역별 가속도(m/s^2)를 분석하였다.

인체가 감지하는 진동 특성을 측정분석하기 위하여 저주파진동 측정용 3축 가속도계(Accelerometer : Type-8694M1, SN-C45186, Range- $\pm 500g$, piezo electric accelerometer, KISTLER), 4채널 Amp. (Amplifier : type-5134, SN-C71269), FFT Analyzer (Hp35670A, USA), Digital Oscilloscope (LeCroy : 334 AL, USA)를 사용하였다.

ISO에서 제시하는 내용을 근거로 측정을 하였으며 측정 data 분석을 위하여 Digital Oscilloscope와 Digital FFT Analyzer를 사용하였다.

3.4. Expanded Knee Brace의 FEM 유한요소해석 실험장치

본 논문에서 사용된 유한요소해석 실험은 ANSYS사의 FEM 유한요소 프로그램을 사용하였다.

Expanded Knee Brace 보조기의 유한요소해석 실험은 구조 해석을 하였다. 구조적 해석방법을 사용하여 재료의 소성 및 파괴 여부를 해석하였고 충격하중과 진동으로 인한 피로파괴 현상의 응력해석을 시행하였다.

4. 실험결과

4.1. Expanded Knee Brace의 Accelerometer 인체진동측정 실험결과

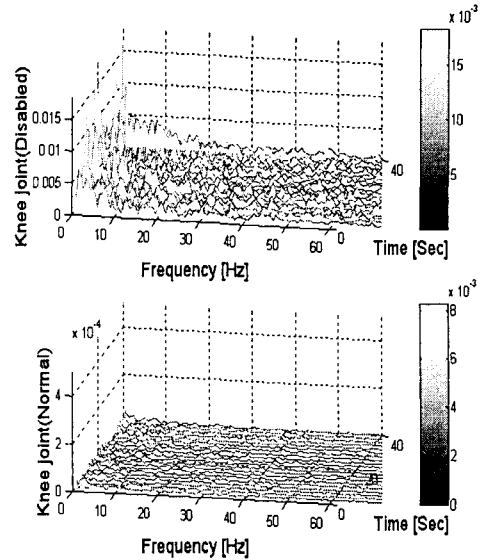


Fig.7. Accelerometer Analysis of The Expanded Knee brace

4.2. Expanded Knee Brace의 FEM 유한요소해석 실험결과

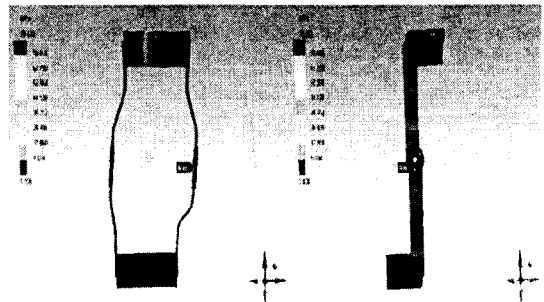


Fig.8. FEM Analysis of The Expanded Knee brace

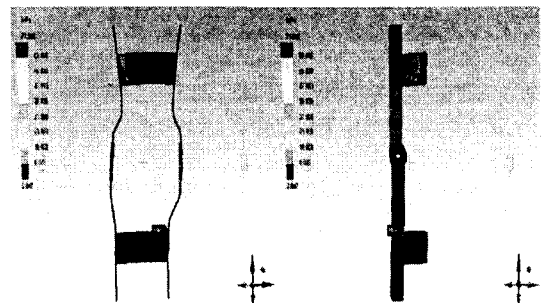


Fig.9. FEM Analysis of The Expanded Knee brace

4.3. Expanded Knee Brace의 Motion Analysis과 Force platform 실험결과

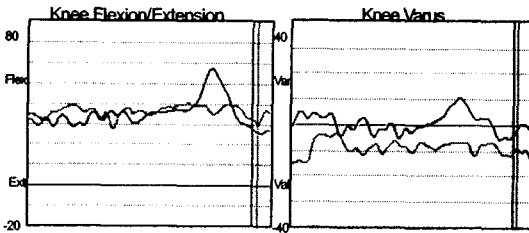


Fig.10. Motion Analysis of The Expanded Knee brace

5. 결론

본 연구의 목적은 특수 슬관절보조기의 연결지지대의 조절을 통하여 슬관절인대 손상으로 다리길이의 차이로 인한 자세불균형과 보행 불가능을 교정하는 방법으로 제안하였고 슬관절인대 파열손상환자에게 처방된 일반형 슬관절 보조기의 환측 옆라이트에 연결지지대를 10cm 연장하였다. 환측의 연결지지대 부착이 슬관절인대 파열 손상환자의 체중부하에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다.

1. Expanded Knee Brace의 Accelerometer 인체 진동 측정 실험결과.(Fig.7)
2. Expanded Knee Brace의 FEM 유한요소해석 실험결과.(Fig.8)(Fig.9)
3. Expanded Knee Brace의 Motion Analysis과 Force platform 실험결과.(Fig.10)

참고문헌

- (1) Chao, E. Y. S., 1980, "Justification of triaxial goniometer for the measurements of joint rotation.", J. of Biomechanics, Vol. 13, pp. 989-1006.
- (2) Essinger, J. R, Leyvraz, P. F, Heegard, J. H, and Robertson, D. D., 1989, "A mathematical model for the evaluation of the behavior during flexion of condylar-type knee prostheses.", J. of Biomechanics, Vol. 22, pp. 1229-1241.
- (3) Chao, E. Y. S, Laughman, R. K, Schneider, E, and

Stauffer, R. N.,1983, "Normative data of knee joint motion and ground reaction force in adult level walking.", J. of Biomechanics, Vol. 16.

(4) Laughman, R. K., Staffer, R. N., Ilstrup, D. M., and Chao, E. Y. S.,1984, "Functional evaluation of total knee replacement.", J of Orthopaedic Research, Vol. 2, pp. 307-313.

(5) Quinn, T. P., Mote. C. D. Jr., and Skinner, H. B.,1991, "The effect of ankle constraint on the torsional laxity of the knee during internal-external-rotation of the foot.", J. of Biomechanics, Vol. 24, pp. 511-525.

(6) Mills, O. S. and Hull, M. L., 1991, "Apparatus to obtain rotational flexibility of the human knee under moment loads in vivo.", J. of Biomechanics, Vol. 24, pp. 351-369.

(7) Mills, O. S. and Hull, M. L., 1991, "Rotational flexibility of the human knee due to varus/valgus and axial moments in vivo.", J. of Biomechanics. Vol. 24, pp. 673-690.

(8) Shiavi, R., Limbird, T., Frazer, M., Stivers, K., Strauss, A., and Abramovitz, J., 2000, "Helical motion analysis of the knee-I Methodology for studying kinematics during gait.", J. of Biomechanics, Vol. 20, pp. 459-469.

(9) Lafortune, M. A., Cavanagh, P. R., Sommer, H. J. III, and Kalenak, A., 1992, "Three-dimensional kinematics of the human knee during walking.", J. of Biomechanics, Vol. 25, pp. 347-357.

(10) Pennock, G. R. and Clark, K. J. 1990, "An anatomy based coordinate system for the description of the kinematic displacements in the human knee.", J. of Biomechanics, Vol. 23, pp. 1209-1218, 1990

(11) Isacson, J. Gransberg, L., and Knuttson, E. Three dimensional electrogoniometric gait recording J. of Biomechanics, Vol. 19, pp. 627-635, 1986

(12) Sommer, H. L III and Miller, N. R., 1981, "A Technique. for the calibration of instrumented spatial linkage used for biomechanical kinematic measurements "J. of Biomechanics, Vol. 14, pp. 91-98.

(13) Grood, E. S. and Suntay, W. L., 1983, "A joint coordinate system for the clinical description of three dimensional motions: Application to the knee.", J. of Biomechanical Engineering, Vol. 105, pp. 136-144.