

다이나믹 진단용 의료 영상

이 글에서는 두 방향의 2차원 방사선 영상과 3차원 영상을 결합하여 환자가 보행 등의 다이나믹 상태에서 진단이 가능한 연구 방법에 관하여 소개해 드리하고자 합니다.

왕준호 성균관의대 삼성서울병원 정형외과, 부교수

e-mail : mdwang88@gmail.com

무릎의 전방십자인대의 손상은 흔한 스포츠 손상이며 실제 운동 시나 일상 생활 시에 느끼는 기능적인 불안정성이 수술 여부를 결정하는데 가장 중요한 것으로 여겨지고 있습니다. 그러나 실제 환자가 움직이는 순간에 일어나는 이러한 기능적 불안정성을 진단하는 방법은 확립되어 있지 않고 이용하는 것이 없어서 불충분한 방법으로 평가되고 수술이 시행되고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 보행 등의 일상적인 동작 시에 촬영된 두 개의 2차원 영상과 3차원 영상을 결합하여 3차원적인 진단이 가능한 다이나믹 진단 의료 영상에 관한 내용을 소개해 드립니다.

현 진단 방법의 문제점

스포츠에 대한 국민적인 인식과 개념이 과거 전문 스포츠 선수의 경기를 응원하며 관람하는 보는 엘리트 스포츠에서 본인이 직접 참여하여 건강 증진과 레저의 개념으로 시행되는 참여하는 생활스포츠의 형태로 바뀌고 있습니다. 스포츠 인구의 증가와 함께 스포츠 손상도 증가하는 양상을 보이고 있으며 스포츠 손상 중에는 인체 관절 중 가장 큰 관절인 무릎 관절의 손상이 가장 흔한 손상 중에 하나이며 가장 중요한 손상입니다. 무릎 관절 손상 중에 흔하면서도 사회 경제적인 많은 비용을 유발시키는 손상은 전방십자인대 등의 십자인대 손상입니다. 미국의 경우 연간 200,000건의 전방

십자인대 손상이 보고되고 있습니다.(Human Kinetics, 2007. Hewett et al.)

십자인대손상을 진단하는 방법으로는 먼저 의사가 손을 이용하여 진단하는 방법을 먼저 생각할 수 있겠습니다. 환자를 가장 먼저 보고 추가적인 검사가 필요한지를 결정하는 의사의 손을 이용한 진찰 방법이 중요하나 관찰자간 및 관찰자 내에서의 오차가 큰 것으로 알려져 있어 객관적인 진단 방법이 필요하다고 할 수 있겠습니다. 이러한 필요성으로 비교적 객관적인 진단을 위해서 여러 가지 진단을 위한 검사 기구들이 개발되었습니다. 슬관절의 불안정성을 진단하는 객관적인 방법으로 독일의 한 회사에서 개발한 KT-1000이나 Telos device이라는 기구를 사용하여 환자가 누운 상태에서 무릎을 20도 정도 구부리고 기계를 종아리 부분에 부착하고 경골을 앞뒤로 밀고 당기면서 대퇴골 위에 있는 슬개골에 대한 경골의 전후방 이격을 측정하는 검사가 있습니다. 이외에서 Telos device라는 것이 있으며 이 기구는 환자가 옆으로 누운 상태에서 무릎을 20도 정도 구부리고 압력을 줄 수 있는 기구를 이용하여 150N의 힘을 사용하여 경골을 전방으로 밀고 무릎 관절의 측방 엑스레이 촬영을 하여 대퇴골에 비하여 경골이 전방으로 전위 되는 정도를 측정하는 검사를 위한 기구입니다. KT-1000이나 Telos device 등의 기계를 이용한 검사 방법은 객관적인 검사 방법으로 여겨지나 환자가 근육을 이완하고 체중부하를 하지 않은 상태에

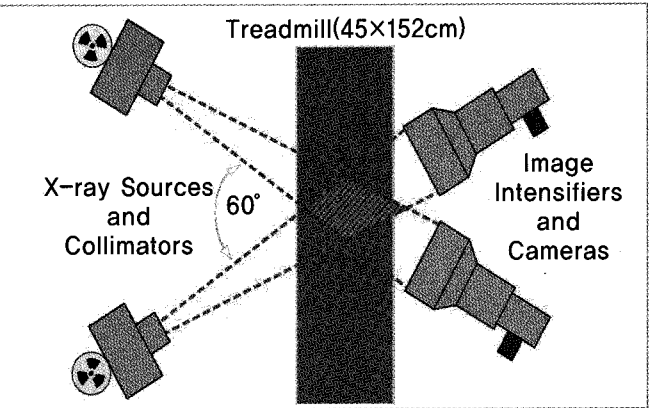
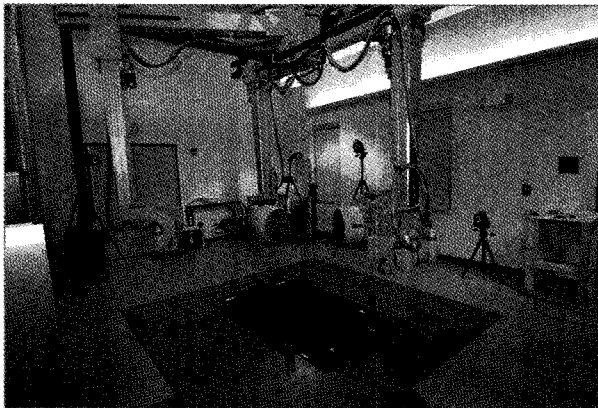


그림 1 16인치 영상증폭기(image intensifier)와 고속카메라가 장착된 장비를 사용해 임상실험을 하고 있는 피츠버그 대학교 바이오 다이내믹 연구실

서 시행하는 것이므로 실제 생활에서 관절불안정성으로 환자가 증상을 느끼고 십자인대 손상으로 인한 2차적인 관절의 손상이 발생하는 상황은 체중이 부하되고 환자의 근력이 작용하는 상태와 다른 상태에서 시행되는 검사입니다. 그러므로 정적인 상태에서 시행되는 불안정성 검사의 결과는 일상생활 중 느끼는 불안정성과 상관관계가 없는 경우가 많습니다.

새로운 진단 방법의 필요성 및 대안

이러한 이유로 환자가 실제 활동 시에 느끼는 불안정성을 보다 정확하게 재현하여 진단할 수 있는 진단법으로 보행 등의 활동 시에 촬영된 2차원 방사선 영상과 CT 등을 이용한 3차원 방사선 영상을 결합하여 다이내믹 상황에서의 실제 무릎관절 등에서 일어나고 있는 불안정성을 진단할 수 있는 방법이 발전하게 되었습니다. 이러한 다이내믹 진단 방법은 필자가 2008년 3월부터 2009년 8월까지 연수를 다녀온 미국 피츠버그 대학교 바이오 다이내믹 연구소가 슬관절의 동적인 진단법으로 세계에서 가장 앞서나가는 연구소입니다. 연구소의 소장으로서 근무하는 Dr. Scott Tashman은 1990년대부터 미국 디트로이트 헨리포드 병원에서 하지의 동적 진단법을 개발하여 연구를 시작하였으며 2007년 피츠버그 교수로 근무를 시작하여 바이오 다이내믹 연구소를 설립하고 2008년 4월부터 본격적으로 임상 실험을 시작하였습니다. 슬관절의 후방십자인대, 전방십자인대 손상 환자, 반월상 연골 파열 환자 등을 대상으로 하는 연구를 진행하고 있으며 환자가 실제 트

레드밀에서 뛰게 하면서 엑스레이 촬영이 가능한 설비를 가지고 있으며 초당 4,000 프레임을 촬영할 수 있는 고속 카메라 장비와 72 프로세서가 장착된 컴퓨터 클러스터를 이용해서 자료를 처리하고 있습니다.(그림 1)

그리고 미국 하버드 대학교 생역학 연구소 또한 슬관절의 3차원적인 영상을 이용한 생체 내 동역학에 관한 세계에서 가장 활발하며 많은 성과를 내고 있는 연구소입니다. 이 연구소는 Gouan Li 교수의 책임하에 전방십자인대, 후방십자인대 등 중요 인대에 관한 연구를 진행하고 있습니다.

이러한 연구는 모두 4개의 단계를 거쳐서 진행되게 됩니다.

첫 번째로 Bi-plane fluoroscopy를 이용한 환자의 활동 영상의 촬영입니다. 트레드 밀에서 걷거나 뛰기 등을 동작을 할 수 있으며 계단 오르내리기 등의 동작(그림 2), 의자에서 앉고 일어나기 동작들을 먼저 시행할 수 있겠습니다.



그림 2 계단 오르내리기 동작을 촬영할 수 있도록 목재로 제작한 3단 계단을 사용함.

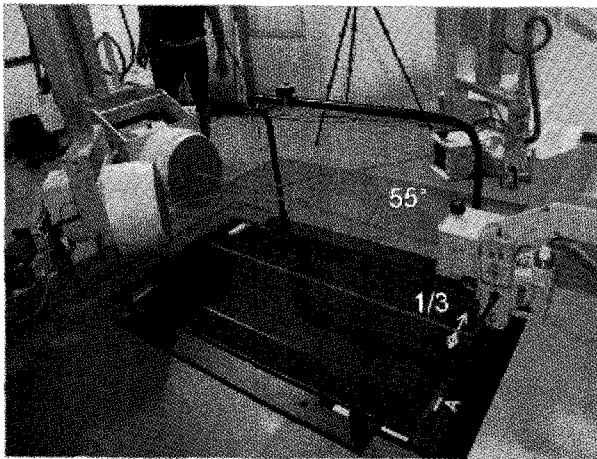


그림 3 보행 시 뒤꿈치가 땅에 닿는 순간부터 최고의 힘이 가해지는 순간의 촬영을 위해 두 개의 세트를 55도가 되게 위치시킴. 위의 사진은 우측 무릎의 촬영을 위한 세팅임.

활동 시에 첫 번째 X-ray generator와 image intensifier 세트를 무릎 관절의 전후방의 방향에 놓이게 높이 및 방향을 설정하여 전후방 영상을 얻게 하고 두 번째 세트를 첫 번째와 50~60도를 이루게 하여 사면의 영상을 얻게 설정합니다(그림 3). 그리고 X-ray generator가 1,000 μ s 동안의 엑스레이 빔을 100~150 frequency/second로 방사하도록 하고 High speed camera를 이용하여 같은 100~150frequency/second로 촬영을 시행하게 됩니다.

두 번째 단계로 무릎 관절 CT 시행 및 3차원 모델의 형성이 필요합니다. 환자의 무릎 관절을 CT 기계에 따라서 0.5~0.625mm의 슬라이스로 관절면 상부 15cm 및 하부 15cm까지 CT를 시행하게 됩니다. 대퇴골의 경우 기계적인 축의 중심을 얻기 위해 대퇴골의 내측와(medial foramen) 내측의 두 개의 후과의 중심 사이를 해부학적인 중심으로 설정하고 이 축을 X축으로 정하고 해부학적 중심에서 대퇴골 두의 중심으로 가는 선을 Y축, X축과 Y축이 이루는 평면에 수직인 선을 Z축으로 정합니다. 경골의 경우 고평부의 가장 내측 점과 외측 점의 중심을 해부학적인 중심으로 정하고 중심에서 발목관절의 중심까지 연결선을 Y축, 내측으로 행하는 선을 X축, X축과 Y축이 이루는 평면에 직각인 선을 Z축으로 합니다.(그림 4)

세 번째 단계로 3차원 씨네 이미지(Cine image, 동영상)의 생성하게 됩니다. 3차원 CT 영상으로부터 일반적인 2차원 영상과 비슷한 아웃라인과 밀도

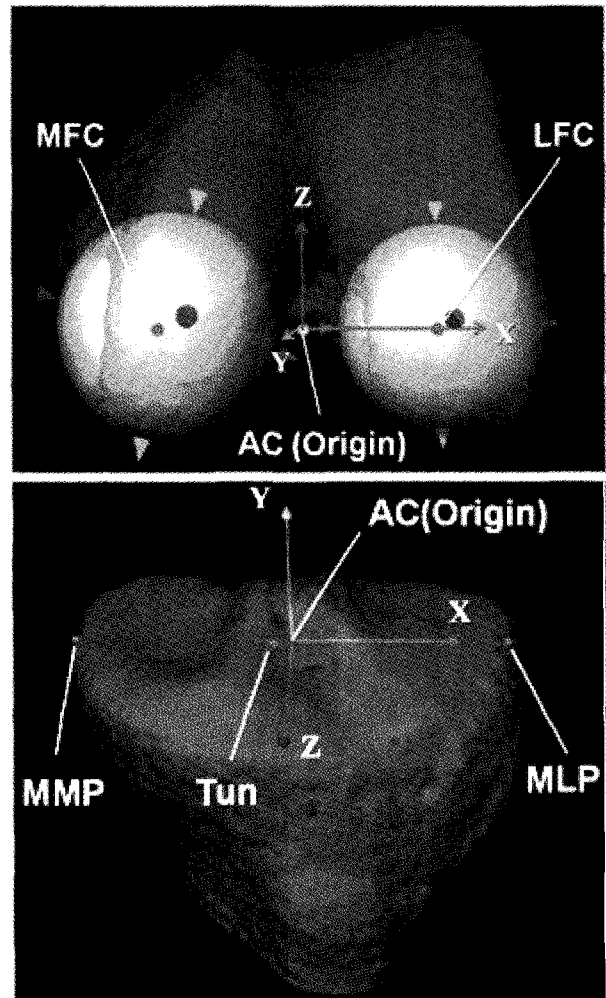


그림 4 각각 대퇴골과 경골에 3방향의 축을 정해서 축간의 상대적인 움직임을 통하여 키너매틱 데이터를 수집함.

를 갖게 만든 DRR(Digitally reconstructed radiographs)을 생성하게 됩니다. 이렇게 생성된 DRR을 한 쌍의 2차원 영상과 함께 겹쳐 놓아 3방향의 전위(translation)와 3축의 회전(rotation)을 시켜 가장 적절한 매칭을 만들어 3차원 CT 영상의 위치를 추정하도록 하여 대퇴골과 경골의 3차원 영상의 씨네 이미지를 생성합니다.

네 번째 단계로 씨네 이미지에서 생성된 키너매틱 데이터 수집, 분석을 시행합니다. 데이터는 양측 하지의 뒤꿈치가 땅에 닿는 순간에서 최고 압력이 가해지는 순간까지 수집된 것을 통계에 사용하며 6 자유도인 3축의 회전(internal/external rotation, abduction/adduction, flexion/extension)과 3방향의 전위(anterior/posterior, medial/lateral, proximal/distal translation)의 값을 얻어 평균, 최소, 최대, 범위

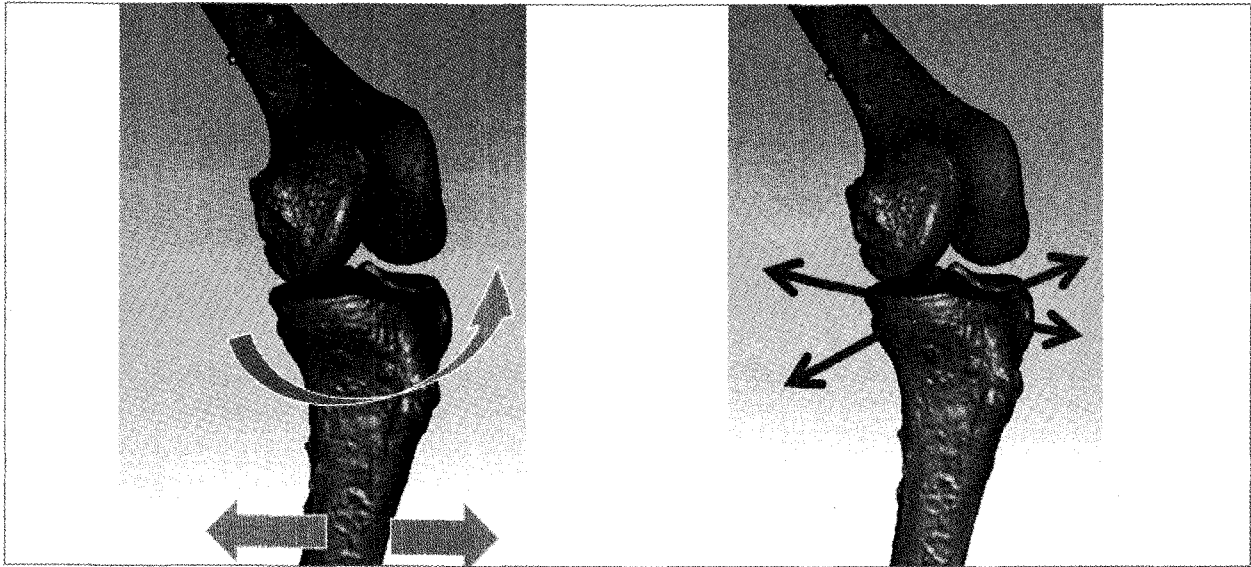


그림 5 모두 3축 방향의 회전과 3방향 전위 값의 데이터를 사용하여 좌우측의 차이를 비교함.

의 값을 구하여 비교하여 통계적으로 분석합니다.(그림 5)
 이러한 방법으로 시행된 실험의 결과를 통해서 실제 환자가 뛰거나 계단을 오르내리는 동작 등에서 실제 상황에서의 슬관절의 미세한 움직임의 차이나 미세한 불안정성을 진단할 수 있을 것으로 사료되고 있고 실제 연구 결과도 상당히 긍정적인 결과가 보고되고 있습니다. 현재 미국 정형외과 연구학회에서는 *in vivo*(살아있는 사람이 움직이는 상태가 대상이 되는)진

단이 중요한 이슈가 되고 있으며 2009 학회 당시 모두 2~3곳의 연구 기관에서 연구 결과를 발표 하였으나 2010년에는 모두 8곳 이상의 연구 기관에서 연구를 시행하고 있으며 향후 가장 크게 성장할 연구 영역중의 하나가 될 것으로 사료되고 있습니다. 이러한 영역은 의공학 및 생체역학 분야에서 가장 발전 가능성이 큰 분야로 생각되어 향후 연구 개발과 투자가 필요한 분야라 할 수 있겠습니다.

기계용어해설

소기행정(掃氣行程: Scavenging Stroke)

4사이클 내연기관의 배출행정 또는 2사이클 기관의 작동행정 말단에서 소기구, 배기구가 열린 후 소기가 이루어지기까지의 기간.

일정계획(日程計劃: Scheduling)

생산계획에서 정한 기일을 목표로 소요재료의 입수, 작업원과 설비의 확보를 고려하여 순서표 등에 따라서 정하는 작업일정.

스캐브(Scab)

강괴의 표피가 거칠거나 압연 때 표면에 블로 흠이 생기는 것이 원인이 되어, 강판 가장자리에 나타난 흠집 일부가 이지러진 채 딱지가 붙어있는 것.

스크레이퍼 컨베이어(Scraper Conveyor)

흙통 속을 순환하는 1개 또는 2개의 무단 체인에 스크레이퍼판을 부착하고 앞의 흙통 안에 곡류, 석탄 등 비포장 하역화물을 반송하는 형식의 컨테이너.

패키지형 보일러(Packaged Boiler)

납기를 단축하고 코스트를 절감하여 좀더 고품질의 보일러를 생산할 수 있도록 대용량 보일러의 현지조립에 대비한 것.

패드 베어링(Pad Bearing)

차량축의 베어링 등에 쓰이며, 패드의 모세관작용으로 기름통의 기름을 축받이 면에 공급하는 구조의 가로형 베어링.