

전방십자인대의 해부학

중앙대학교 의과대학 부속 용산병원 정형외과

정 영 복* · 엄 재 광

서 론

전방 십자인대는 슬관절내에 있는 구조물 중에 슬관절 운동을 제어하는 복잡한(complex) 구조물로 슬관절의 정적 안정성을 유지하는 중요한 구조물이다. 전방 십자인대의 복잡성으로 말미암아 전방 십자인대 손상후 이의 재건술시에 원래의 전방 십자인대와 똑같이 만들어 주는 것(duplication)은 거의 불가능하지만 정형외과 의사들이 전방 십자인대의 기능적 해부학을 보다 세밀히 알고 있어야 가장 복잡한 구조를 하고 있는 전방 십자인대를 이상적으로 봉합(repair) 또는 재건할 수 있는 기초를 터득할 수 있게 된다.

육안적 해부학(Gross Anatomy)

전방 십자인대는 규칙적으로 정렬된 조밀한 결체조직으로 경골과 대퇴골을 연결하며 후방 십자인대와 같이 후방 대퇴골간 부위(posterior intercondylar area)에서 기시하며 장간막(mesentery)과 같은 활액막으로 완전히 둘러싸여져 있는 슬관절내 활액막외(extrasynovial)의 조직이다.^{3,5,16,19}

골의 부착 부위(Bony attachment) : 전방 십자인대의 근위부는 대퇴골 외과의 내측면의 후방 부위(fossa on the posterior aspect)에 부착되어 있다. 대퇴골 부착 부위는 반월형으로 전면(anterior border)은 직선과 같고 후면은 대퇴골 외측 관절 연골을 따라서 평행 되게 원울그리는 형태이다(Fig. 1). 전방 십자인대의 기시부는 과간절혼(intercondylar notch)의 후방 부위에 위치하여 있고 그 직경이 16-24mm 정도이다. 전방 십자인대의 기시부의 중심심은 대퇴골 간부의 후연(posterior margin)과 대퇴골 외과의 가장 근위부위가 만나는 지점 즉, "over the top position"으로부터 약 15mm 지점이다.¹⁶

전방 십자인대의 원위 부착 부위는 전방 경골극(anterior tibial spine)의 외측 전방 부위에 부착되어 있다. 전방 십자인대 부착 부위는 횡반월상인대(transverse meniscal ligament) 밑으로 지나고, 전방 십자인대의 일부 섬유 다발(fascicle)은 외측 반월상 연골판에 함유된다. 때로는 전방 십자인대의 경골 후방 부위에 부착되는 일부 섬유 다발이 외측 반월상 연골판 전각 부위에 섞여서 부착되며 또한 전방 십자인대 경골 부착 부위의 후방으로 연장되어 내측 반월상 연골판의 후각(Posterior horn)의 전방 부위에 부착하는 경우가 있다¹³. 또한 경골 부착 부위가 대퇴골 부착 부위 보다 넓다.^{3,16,19}

경골 부착 부위 전체 면적은 3cm 정도이며 대퇴골 부착 부위의 면적은 2cm 정도이다. 전방 십자인대가 "fan out"을 시작하는 즉, 부채꼴같이 넓어지기 시작하는 부위는 전방 십자인대의 근위부 1/3지점에서부터 시작되어 경골 부착 부위에서 넓어진다. Schutte 등¹⁶은 전방 십자인대가

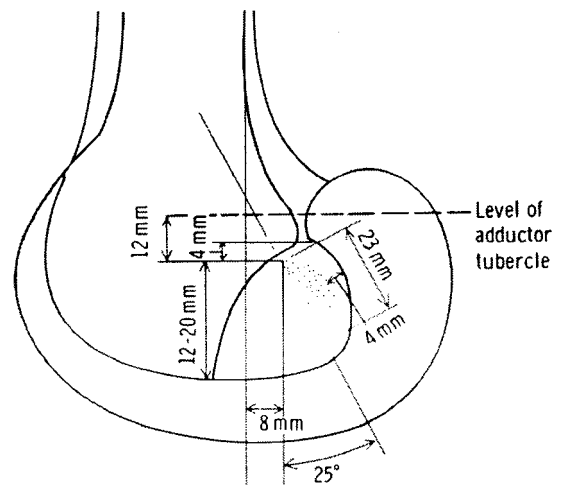


Fig. 1. The medial surface of the right lateral femoral condyle shows the average measurements and body relations of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament.

*통신저자 : 정 영 복
중앙대학교 의과대학 부속 용산병원 정형외과

특정적으로 외측으로 꼬이기(twist) 시작하는 것은 대퇴골 부착 부위에서부터 약 5mm 원위부에서 시작되며 이 부위가 "fanning out"의 시작점이라고 기술하였다. 전방 십자인대는 경골극의 정점에는 부착되어 있지 않다.

공간 개념 (spatial Orientation) : 십자인대는 그 이름과 같이 대퇴골 기시부에서 경골 부착 부위까지 서로 교차한다. 전방 십자인대의 진행 경로는 대퇴골 기시부에서 전방, 내측 그리고 원위부로 주행하면서 (Fig. 2) 십자인대 자체가 외측 방향으로 약간 회전되면서 경골 부착 부위에 부착되는데 이렇게 십자인대가 회전되면서 내려오는 것은 골에 부착되는 부위 때문이다¹⁶. 전방 십자인대의 꼬임(twist)의 기능에 대해서는 아직도 잘 모르는 상태이므로 전방 십자인대 재건술시에 이식 건의 꼬임을 만들어 주는 것은 술자의 선호도에 달려 있고 기능적인 면에 대해서는 아직도 잘 모르며 기능적인 필요성에 의하여 꼬이게 하는 것은 아니다. 전방 십자인대가 대퇴골에서 기시하여 경골에 부착되는 것이 하나의 단순한 인대(a singular cord)가 아니고 개개의 인대 다발(individual fascicles)의 절집이며 이들이 내려오면서 부채꼴로 넓고 편평해지면서 경골 부착 부위에 붙는다(fan out). 전방 십자인대는 두 개의 분명한 섬유 다발이 있다. 즉, 전내측 다발(anteromedial band)과 후외측 다발(posterolateral



Fig. 2. A human anterior cruciate ligament shows the outward (lateral) spiral of the ligament as it passes from the femur to the tibia.

band)이 있다. 전내측 다발은 대퇴골측 십자인대 기시부의 근위부에서 시작하여 경골 부착은 보다 앞쪽 즉, 경골 절절의 기저 부위 가까이 부착되고 슬관절이 굴곡할때 긴장(tense)된다(Fig. 3A). 후외측 다발은 보다 많은 부분(greater bulk & length)을 차지하고 더 길며 슬관절의 굴곡 시는 이완되고 신전 시에는 점차적으로 긴장이 증가된다(Fig. 3B). 전내측 및 후외측 다발이 전방 십자인대 내에서 상호 보완적으로 하나의 four-bar linkage를 형성하여 슬관절 전체 운동 범위를 통하여 안정성을 부여한다. 후자는 중간 다발(intermediate band)도 인정한다. 그러나 Magnuson 과 Gillquist는 31례의 사체 실험에서 이들 중간 다발을 볼 수 없었다고 보고했다. 전방 십자인대를 단순히 두 개의 다발로 나누는 것은 너무 단순화하는 것임에는 틀림이 없다. 이들 전내측 및 후외측 다발 사이에는 슬관절의 운동 범위 내의 어느 일부분이 연속적으로 항상 긴장도를 유지하는 부분이 존재한다. 정상적으로 십자인대 개개의 인대 섬유가 각각의 기시부 및 부착부가 있으며 서로가 평행하지도 않고 길이도 같지 않다. 실제 육안적으로 보이는 다발(macroscopic bundles)이 전방 십자인대의 실질의 미세구조(microstructure)에 상응되지 않는다^{17,18}. 슬관절의 전체 운동 범위 중에서 다른 그룹의 섬유 다발이 서로 동시에 작용할 수도 있다.

현미경적 해부학 (Microanatomy)

전방 십자인대는 섬유낭 속에서 여러 개의 20um 폭의 콜라겐 섬유 다발(collagen fiber bundles)로 구성된 세포

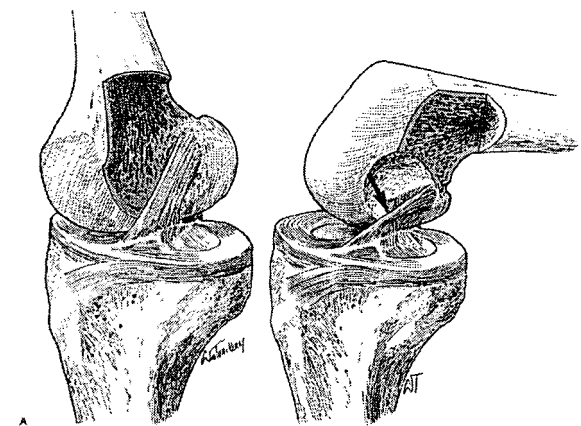


Fig. 3. The anterior cruciate ligament with the knee in extension(A) and flexion(B). Note the presence of an anteromedial band (arrow).

의 기둥으로 되어 있다. 이들 섬유 다발들의 크기는 직경이 20um에서부터 400um 까지 다양한 크기로 되어 있다.

인대-골 부착(ligament-bone attachment) : 전방 십자인대가 대퇴 및 경골 부착 부위의 무기질화된 골(mineralized bone) 속으로 인대의 콜라겐 섬유가 합쳐지면서(incorporation) 부착한다^{12,26,34}. 유연한 인대 조직이 딱딱한 골 조직으로 갑자기 이행되는 데는 섬유성 연골(fibrocartilage)의 이행부(transition zone)를 통해서 이루어진다^{12,26,34}. 이렇게 미세구조가 유연한 인대로부터 딱딱한 골 조직으로 점차적으로 변경됨으로써 골 조직에 부착되는 부위의 스트레스 집중 현상을 방지할 수 있다³⁶ (Fig. 4-A and 4-B). 최근 연구에 의하면 자가 인대를 골 터널 속에 심으면 이런 이행 부위(transition zone)가 재형성될 수 있다고 한다³⁷. 이행 부위는 4개의 형태적 구역으로 나눌 수 있다^{12,26,34} (Fig. 5). 구역 1(zone 1)은 세포밖 기질에서 제 1형의 콜라겐(type 1 collagen)으로 구성된 조직이다. 콜라겐 섬유의 크기는 25-300nm로 다양하며 소수의 탄력성 섬유가 중간에 있다. 이 부위의 세포의 주류는 섬유모세포(fibroblast)이며 작은 혈관들이 인대 내 조직(endoligamentous tissues) 속에 있으며 콜라겐 섬유와 평행으로 달린다^{17,19,34}. 구역 2(zone 2)는 섬유

성 연골로 구성되어 있다. 콜라겐 섬유가 방향이나 크기의 특별한 변화 없이 이 구역까지 연장된다. 구역 2의 세포가 구역 1의 세포보다 다소 크며 둥글거나 타원형이며 가끔 lacunae를 볼 수 있고 비교적 세포 주위에 단백다당 기질(proteoglycan matrix)이 풍부하다. 이 지역의 연골 세포(chondroid cells)는 섬유성 기질로 싸여 있는 섬유성 연골 세포(fibrochondrocytes)가 특징이다. 콜라겐 섬유들이 섬유성 연골 구역(fibrocartilagenous zone)을 지나며 이들 콜라겐 섬유들은 점차적으로 구부러지면서(bend) 부착 부위 바로 전의 석회화(mineralization) 지역에서 만나며, 이 구부러지는 반경은 부착 부위 내에서 다양하다. 이들 콜라겐 섬유들이 비석회화 조직 층에서 석회화 조직 층으로 지나므로 기계적 스트레스를 감소시키는데 도움이 된다. 이 지역에서는 혈관이나 신경조직을 볼 수 없다^{26,34}. 구역 3(zone 3)에서는 석회화된 섬유성 연골(mineralized fibrocartilage)과 석회화(mineralization)의 외곽 경계인 "tide mark" 즉, 호염기성 선(basophilic line)이 특징이다(Fig. 4-A). 구역 4(zone 4)는 주로 뼈로 구성되어 있다. 이 부분에서는 부착되는 조직의 석회화된 기질(mineralized matrix)이 골의 석회화된 기질과 서로 엉키(interdigit) 있다^{26,34}.

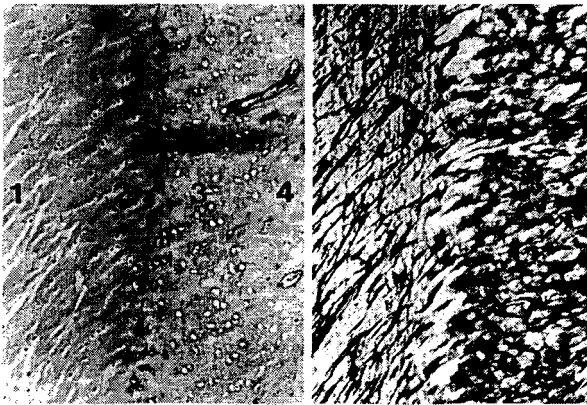


Fig. 4-A. Photomicrograph of the tibial insertion of an anterior cruciate ligament illustrates the transition zone. (1) ligament, (2) fibrocartilage, (tm) tidemark, (3) mineralized fibrocartilage and (4) bone.

B. Tibial insertion viewed under polarized light. Note how the collagen fibers of the ligament interdigitate with the collagen of the bone. (From Amoczký SP, Hamafin JA, Hashimoto J: Replacing the anterior cruciate ligament - What does it take? In: Strover AE, ed. Intra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993).

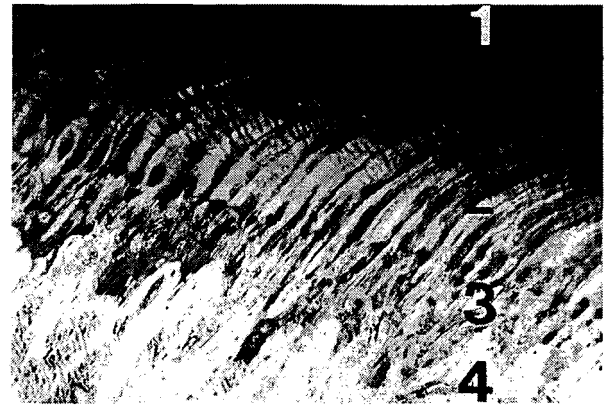


Fig. 5. Low-magnification light photomicrograph of the tibial insertion of the anterior cruciate ligament of an adult dog. Periodic collagen crimp is visible in Zone 1. Collagen fibers enter Zone 2 obliquely but curve to meet Zone 3 at nearly right angles. Pericellular proteoglycans are shown to advantage in Zones 2 and 3 in this section, as is the demarcation between Zones 3 and 4. (Safranin O, partially polarized light and Nomarski optics.) (From Steven P. Amoczký, John R. Matyas, et al: Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament - The Anterior Cruciate Ligament: Current and Future Concepts, edited by D.W. Jackson, et al. Raven Press, Ltd., New York 1993.)

전방십자인대의 구성 (Composition)

전방 십자인대는 제 1형의 콜라겐(type 1 collagen)과 수분으로 형성된 세포외 기질로 쌓여진 섬유 모세포(fibroblast)로 구성되어 있다^{1,6,10}.

콜라겐 (collagen) : 콜라겐은 전방 십자인대의 주성분이며 전방 십자인대의 건조된 무게의 75%를 차지한다^{1,2,6}. 전방 십자인대를 구성하는 콜라겐의 90%는 제 1형이며 제 Ⅲ형은 나머지 10%를 차지한다.

탄력소 (elastin) : 전방 십자 인대의 5% 이하의 소량을 차지하나 십자 인대 기질의 기능이나 구성에 중요한 역할을 한다. 탄력소는 십자 인대의 콜라겐 섬유 사이에서 망을 형성하여 서로 연결되어 있으며 인대의 탄력성 회복(elastic recoverability)뿐만 아니라 긴장성 저항(tensile resistance)에도 기여를 한다^{6,9}.

단백다당 (proteoglycans) : 단백질은 적은 양의 단백질이 음이온을 띤 다당질 고리(polysaccharide chains) 즉, glycosaminoglycans에 결합된 것이다. 관절 연골에서는 많은 양을 차지한다(건조 무게의 30-35%). 단백질은 전방 십자인대 건조 무게의 약 1% 밖에 차지하지 못하나 세포외 기질(extracellular matrix)을 구성하는데 중요하며 조직액(tissue fluid)과 상호 작용에서 중요한 기능을 가지고 있다^{2,2,27}.

수분 (Water) : 수분은 인대의 젖은 상태 무게의 60% 또는 그 이상을 차지하며 인대의 점탄성(viscoelastic properties)뿐만 아니라 콜라겐 섬유의 활차(gliding)에 유효역할을 부여한다.

전방십자인대의 혈액순환 (Blood Supply)

전방 십자 인대의 주된 혈액순환은 중간 슬동맥(middle genicular artery)의 인대분지(ligamentous branch)에서 공급되고(Fig. 6) 또한 내측 및 외측 하부 슬동맥의 말단지(terminal branch of the medial and lateral inferior genicular artery)의 일부분이 활액막이나 슬개골하 주위 지방 조직에 연결된 혈관망을 통해서 전방 십자인대에 혈액을 공급한다. 활액막의 혈관은 인대를 싸고 있는 인대 주위의 혈관과 가지 모양으로 연결되어 있다. 이들 인대 주위의 혈관들이 작은 연결 분지를 내서 인대를 횡방향으로 통과하여 십자인대 내 혈관과 연결되어 있다^{2,4,29}. 전방 십자인대 혈관은 주로 활액막이나 주위의 지방 조직으로부터 공급받는다. 중간 슬동맥은 원위 대퇴골의 골단과 근위 경골의 골단에도 혈액 공급을 한다. 인대와

골 접속 부분(ligamentous-osseous junctions of ACL)에서 인대 자체로의 혈액 공급은 미미하다^{3,4}. 전방 십자인대에 혈액 공급은 연부조직이 중요한 비율을 차지하므로 십자인대 수술시 주위의 지방조직의 제거를 가능한 한 적게 하여야 된다.

신경분포 (Nerve Supply)

신경신유와 감각 수용체는 혈관을 동반하여 신경-혈관다발(neurovascular bundles)을 형성한다. 어떤 신경섬유와 감각기관(sensory end organ)은 혈관을 떠나서 인대 내에 있을 수 있다^{29,30}.

인체 전방 십자인대에 4가지 형태의 감각신경(sensory ending) 분포가 있으며 두 가지 형태의 루피니 종말기관(Ruffini end organs)과 파치니소체(pacinian corpuscles) 그리고 자유신경종말(free nerve ending)이 있다^{29,30}. 이들 특수 신경들이 전방 십자인대 부피의 약 1%를 차지한다³⁰. 감각신경종말(sensory nerve endings)은 전방 십자인대의 양측 골 부착 부위를 포함하여 인대 전장을 따라서 분포되어 있으며 주로 활액막과 인대 표층(epiligament)의 내층하 층(subintimal layer)에서 주로 발견된다. 그러나 전방 십자인대 절손이나 재건술을 한 관절에서의 이들 감각신경의 기능에 대해서는 아직도 잘 모르고 있는 실정이다³⁰.

전방십자인대의 기능 (Function)

Müller²⁸는 슬관절의 어느 해부학적 구조물이 단독적으로 특수한 기능에 관여하지는 않는다고 강조해 왔다. 예를

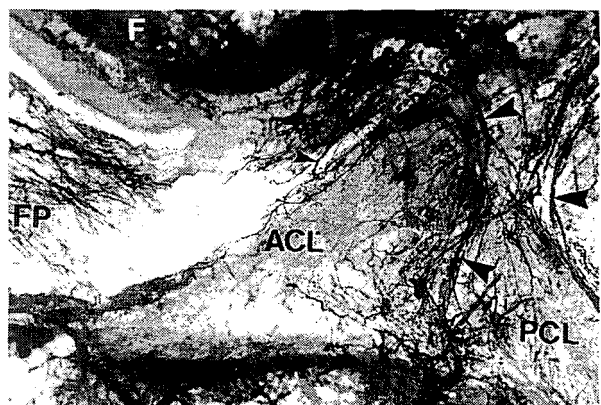


Fig. 6. Five-millimeter-thick sagittal section of a human knee (Spalteholz technique) shows the branches of the middle genicular artery that supply the cruciate ligaments (arrowheads). F, femur; T, tibia; FP, fat pad; ACL, anterior cruciate ligament; PCL, posterior cruciate ligament.

물어 슬관절의 인대는 다른 해부학적 구조물과 복잡한 협력 작용에 의해 상호 연관되어 있다. Noyes 등²⁹⁾은 이러한 것을 약간 다르게 설명하고 있다. 즉, 어떠한 힘이 슬관절에 주어질 때 일차 저항 구조물(primary resisting structure) 또는 안정화 구조물(stabilizer)이 있다는 것이다. 그러나 다른 이차적 안정화 구조물(secondary stabilizer)의 저항의 합이 종종 결정적인 역할을 한다고 주장했다. 또한 가끔은 이차 억제 구조물의 저항력의 합이 일차 억제 구조물의 것보다 많은 경우도 있다고 했으며 이러한 현상은 힘이 주어지는 순간의 관절의 기전과 주어지는 힘의 형태에 따라 좌우된다고 한다.

이러한 것을 볼 때 골의 국소지형학(topography) 및 반월상 연골의 해부학, 근육의 역학 및 관절막과 기타 인대들의 정적인 기여도를 무시하고 전방 십자인대의 기능을 논하기는 어렵다.

전방 십자인대의 기능을 이해하려면 슬관절의 역학을 이해하는 것이 필수적이다. 슬관절의 시상면(sagittal plane)을 기준으로 보면 슬관절에는 구르기(rolling)와 미끄러짐(gliding)이라는 움직임으로 구성된다. 이러한 것은 대퇴골과의 모양 때문에 시상면을 기준으로 볼 때 대퇴골과가 편심성으로 굴곡되어있기 때문이다³⁰⁾. 대퇴골과의 앞쪽은 납작하면서 날갈 모양이며 뒤쪽은 좀더 굴곡된 또는 원형에 가까운 모습을 하고 있다³¹⁾.

구르기 운동은 슬관절 굴곡의 초기에 주로 발생하며 이는 대퇴골과의 달걀 모양으로 굴곡된 모양 때문이며 미끄러짐 운동은 주로 슬관절 굴곡의 후반에 발생하며 이는 대퇴골과의 뒤쪽이 원형에 가까운 모양을 하고 있기 때문이며 이러한 미끄러짐 운동이 대퇴골과와 경골 고평부간의 접촉면을 최소화한다.

구르기와 미끄러짐 운동의 비율의 변화는 슬관절 굴곡 구간(flexion arc) 위에서의 슬관절 시상면 회전축의 이동을 유발한다. Müller²⁶⁾은 이러한 슬관절 회전축의 다양함이 생역학적으로 고정된 척추의 crossed 4-bar link와 유사하다고 하였다. 이러한 crossed bar는 전방 십자인대의 섬유 방향에 해당하며 고정된 척추와 유사한 부위는 대퇴골 라간절혼에서 십자인대가 시작되는 것에 해당한다.

수평면(horizontal plane)을 기준으로 슬관절의 운동을 분석해 보면 시상면의 운동과 약간 다른 면을 볼 수 있는데 이는 슬관절 신전의 마지막 시기에는 대퇴골과의 내회전(경골 고평부의 외회전)을 볼 수 있다. 이러한 현상은 나사 회전 운동(screw home movement)이라고

하며 왼쪽 다리로 서는 자세에서 체중 부하에 대하여 슬관절에 더욱 안정성을 부여한다. 나사 회전 운동은 시상면의 대퇴골과의 모양 때문이며 대퇴골 내과가 외과보다 크며, 대퇴골 내과에 접촉하는 경골 내측 고평부의 모양이 오목하고 경골 외측 고평부는 약간 볼록한 모양이기 때문이다. 이러한 해부학적 특성은 내측 대퇴-경골의 접촉면을 좀 더 많이, 그리고 외측을 더 적게 접촉하게 하여 슬관절 신전의 마지막 시기에 경골에 대하여 대퇴골의 내회전을 일으킨다.

이러한 슬관절 역학을 이해함으로써 전방 십자인대의 기능의 이해에 도움이 될 수 있다. 슬관절 인대들은 비생리학적인 과도한 운동을 방지함으로써 관절을 보호하는 기능을 한다. 슬관절 인대들은 장력(tension)을 받는다. 역학적인 특성은 인대를 구성하는 다양한 콜라겐 섬유의 상대적인 장력에 의해 결정된다. 일단 인대가 장력을 받으면 비정상적인 운동에 대하여 제지 효과(check rein effect)를 나타낸다. 십자인대의 기능에 대하여 기술한 대부분의 자료들은 다음과 같은 해부학적인 실험을 통해 관찰하여 얻어진다. (1) 육안으로 또는 부하 측정기로 관찰한 인대의 장력, (2) 인대의 변형을 유발할 수 있는 장력의 크기에 대한 실험, (3) 어느 특정 부위의 인대를 절제한 후 생기는 슬관절의 비정상적 운동의 관찰, (4) 시상면 및 수평면을 기준으로한 슬관절 인대들의 저항력의 측정.

생역학적인 자료를 분석해 볼 때 십자인대의 다섯 가지 주요 기능을 알 수 있다. 첫째 기능은 전방 십자인대는 슬관절 굴곡 상태에서 경골이 대퇴골에 대하여 전방으로 전위되는 것을 막아 준다. 이는 임상적으로 슬관절 전방 전위 증상(anterior drawer test)으로 알아볼 수 있다. 두 번째 기능은 전방 십자인대가 슬관절의 과신전을 막아 준다는 것이다. 세 번째 기능은 전방 십자인대가 축성 내회전(internal axial rotation)을 억제함으로써 슬관절의 회전 운동의 조절 역할을 담당하는 것이다. 네 번째 기능은 전방 십자인대가 이차적인 억제 구조물(secondary restraints)로서 슬관절 굴곡의 전 범위에서 내반 및 외반을 억제하는 기능이다. 다섯 번째 기능은 전방 십자인대의 긴장(tension)이 슬관절 신전이 마지막 단계에 다다르면서 나사 회전 운동에 의한 슬관절 안정성(screw home stabilization)을 섬세하게 조절한다는 것이다.

전방 십자인대의 내부 장력은 슬관절 굴곡의 전 구간에서 항상 일정한 것은 아니다. 슬관절이 완전히 신전한 상

태에서부터 20도 굴곡한 구간에서는 긴장되며 20도에서 70도 사이에서는 이완되며 40도 굴곡 시에 가장 이완된다. 또한 70도에서 90도 사이에서는 인대의 긴장도가 증가한다²². 이미 아는 바와 같이 전방 십자인대의 섬유 다발은 두 개로 구성되어 있으며 경골에의 부착 지점도 각자 다르다. 슬관절이 중립 회전 및 굴곡 위치에서 대퇴골에 대하여 경골이 전방으로 전위되는 증상(anterior drawer sign)은 전방 십자인대의 전내방 섬유 다발(anteromedial bundle)이 손상되지 않았을 경우에는 잘 나타나지 않는다²³. Butler 등¹⁰은 슬관절이 30도 굴곡(Lachman test) 및 90도 굴곡(classic drawer test)시에 경골의 전방 전위를 억제하는 힘의 85%가 전방 십자인대에서 기인된다고 하였다.

전방 십자인대는 슬관절의 과신전을 억제하는 기능이 있다. 실제로 사체의 슬관절에 완전 슬관절 탈구를 유발할 만한 과신전력을 부하 하면 전방 십자인대의 파열이 일어나는 것을 볼 수 있다²⁴. 해부학적으로 전방 십자인대의 근위부는 대퇴골 과간 절흔의 뒤쪽에 위치하며 슬관절의 과신전사면부 조직의 지지역 역할을 함으로써 슬관절 과신전을 억제한다. 억지로 슬관절을 과신전하는 경우에는 그 힘의 부하가 전방 십자인대의 중간 실질부(midsubstance), 특히 대퇴골 과간 절흔에서 가시하는 전내방 섬유 다발에 집중된다. 전반슬(genu recurvatum)은 전방 십자인대의 일부를 선택적으로 절제했을 때 생겨날 수 있다.

전방 십자인대는 경골을 최대한 내회전시켰을 때 긴장되므로 경골의 내회전을 억제하는 기능이 있다고 믿고 있다²⁵. 이러한 것은 스키 발판 끝이 서로 교차되거나 잉키면서 슬관절이 내반 및 내회전되어 수상할 때 전방 십자인대의 손상이 많이 발생하는 경우에서 알 수 있다. 전방 십자인대가 완전히 끊어진 경우에 슬관절의 완전 신전 상태에서도 최대 8도까지 경골의 내회전이 가능해진다²⁶. 장경인대(iliotibial band)의 섬유들은 슬관절 외부에서의 주행 경로상 전방 십자인대 섬유들의 주행 방향과 유사하며 이 구조물 역시 경골의 내회전을 억제하는 기능이 있다. 추축 전위현상(pivot shift phenomenon)은 임상적으로 전방 십자인대가 기능을 소실한 경우 및 장경인대에 이완이 생겼을 때 나타난다. 즉, 추축 전위현상은 나사 회전 기전의 역현상으로, 슬관절이 회전하면서 경골 외측 고평부가 앞쪽으로 아탈구되는 것이다.

중요성은 떨어지지만 전방 십자인대는 측부인대와 함께 슬관절의 과도한 외반 및 내반의 이차적 억제 기능을 가진다. 이러한 기능은 전방 및 후방 십자인대가 슬관절

의 굴곡 및 신전 전반에 걸쳐 기능을 수행한다. 또한 십자인대는 내반 변형보다는 외반 변형에 더욱 저항력을 가진다²⁷.

마지막으로, 전방 십자인대는 슬관절 신전의 마지막 단계에서 나사 회전 운동의 정밀도(precision)를 섬세하게 조절하는 기능을 한다. 이러한 기능에서는 안정도(stability)가 가장 중요하며, 특히 운동속도가 감속 운동(process of deceleration)이나 급회 방향을 바꿀 때 더욱 중요한 역할을 한다.

나사 회전 운동은 경골 및 대퇴골의 모양에서 기인하며 반월상 연골 및 슬관절 신전근건의 중요한 도움을 받으며 전방 십자인대의 장력은 나사 회전 운동에 중요한 역할을 한다.

슬관절이 완전 굴곡에서 40도 굴곡 위치로 변하면서 전방 십자인대의 장력은 감소하나 그 이상으로 신전할 경우에는 갑자기 장력이 증가하게 되고 경골이 대퇴골에 대하여 외회전하려는 힘에 약간 못 미치는 장력의 수준에 다다르게 됨으로써 서로 인접하는 관절 면의 미끄러짐 운동의 저항이 최소화되도록 하는 과정을 거친다.

반복되는 내용이지만 전방 십자인대는 슬관절을 안정시키는 모든 구조물과 협동 작용을 하며, 만약 전방 십자인대가 끊어지거나 늘어남 경우에는 슬관절의 구르기 및 미끄러짐의 동시성(synchronous) 운동은 불가능해진다. 그러므로 전방 십자인대의 소실은 crossed four bar linkage system의 중심적인 기능을 어렵게 한다. 이러한 슬관절은 비정상적인 대퇴골의 운동에 의해 마모가 쉽게 발생하는 상대가 되며 슬관절 신전의 마지막 단계에 경골의 과도한 내회전이 발생한다. 슬관절 외측 구획, 특히 장경인대는 늘어나게 되며 회전성 아탈구가 더욱 심해진다. 슬관절의 과도한 신전성은 대퇴골과가 반복적으로 반월상 연골의 후각부로 아탈구되면서 반월상 연골의 doorstep 현상에 더욱 부하가 심해지면서 결국 반월상 연골의 퇴행성 파열이 생기고 슬관절의 불안정성은 더욱 악화된다. 그러므로 전방 십자인대의 기능 소실은 반복적이고 주기적인 부하로 인하여 관절 연골의 퇴행성 변화가 생기고 궁극적인 관절의 붕괴 즉, 슬관절 내부 구조물의 변성의 주된 원인이 된다.

REFERENCES

1. Amiel D, Billings E and Akeson W : Ligament structure, chemistry and physiology. In: Daniel D, Akeson W,

- O'Connor J, eds. Knee Ligaments: structure, function, injury and repair. New York: Raven Press, 77-91, 1990.
2. Amiel D, Frank C, Harwood F, Fronck J and Akeson W : Tendons and ligaments: a morphological and biochemical comparison. *J Orthop Res* 1:2570-265, 1984.
 3. Arnoczky SP : Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop* 172:19-25, 1983.
 4. Arnoczky SP : Blood supply to anterior cruciate ligament and supporting structures. *Orthop Clin North Am.* 16:15-28, 1985.
 5. Brantigan OC and Voshell AF : The mechanics of the ligaments and menisci of the knee joint. *J Bone Joint Surg [Am]* 23:44-66, 1941.
 6. Brantigan OD and Voshell AF : The mechanics of the ligaments and menisci of the knee joint. *J Bone Joint Surg.* 23:44-46, 1941.
 7. Bray DF, Frank CB and Bray RC : Cytochemical evidence for a proteoglycan-associated filamentous network in ligament extracellular matrix. *J Orthop Res* 8:1-12, 1990.
 8. Buckwalter JA, Maynard JA and Vailas AC : Skeletal fibrous tissues: tendon, joint capsule and ligament. In: Albright JA, Brand RA, eds. The scientific basis of orthopaedics. Appleton and Lange, 1987.
 9. Buckwalter JA and Cooper RR : The cells and matrices of skeletal connective tissues. In: Albright JA, Brand RA, eds. The scientific basis of orthopaedics. Appleton and Lange, 1-29, 1987.
 10. Butler DL, Noyes FD and Grood ES : Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. *J Bone Joint Surg [Am]*. 62:259, 1980.
 11. Clark JM and Siedles JA : The interrelation of fiber bundles in the anterior cruciate ligament. *J Orthop Res* 8:180-188, 1990.
 12. Cooper RR and Misol S : Tendon and ligament insertion: a light and electron microscopic study. *J Bone Joint Surg [Am]* 52:1-20, 1970.
 13. Ellison AE and Berg EE : Embryology, anatomy, and function of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am.* 16:3-14, 1985.
 14. Frank CB, Woo SL-Y, Andriacchi T, Brand R, Oakes B, Dahnert L, DeHaven K, Leis J and Sabiston P : Normal ligament: structure, function and composition. In: Woo, Buckwalter, eds. Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues. Park Ridge, Illinois: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 45-101, 1988.
 15. Furman W, Marshall JL and Gigris FG : The anterior cruciate ligament: A functional analysis based on post mortem studies. *J Bone Joint Surg [Am]*. 58:179-185, 1976.
 16. Gigris FG, Marshall JL and Monajem ARS : The cruciate ligament of the knee joint. *Clin Orthop* 106:216-231, 1975.
 17. Gigris FG, Marshall JL and Monajem ARS : The cruciate ligaments of the knee joint-anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop.* 106:216-231, 1975.
 18. Gray H, Gross CM, eds. Anatomy of the human body. 29th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1973.
 19. Heinegaard D and Paulsson M : Structure and metabolism of proteoglycans. In: Piez KA, Reddi AH, eds. Extracellular matrix biochemistry. New York: Elsevier, pp 278-328, 1984.
 20. Hollingshead WH : Anatomy for surgeons: The Back and Limbs, 2nd ed. Vol. 3. New York, Harper and Row, pp. 651-652, 763, 1969.
 21. Kennedy JC : Complete dislocation of the knee joint. *J Bone Joint Surg [Am]*. 45:889-904, 1963.
 22. Kennedy JC, Winberg HW and Wilson AS : The anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg [Am]*. 56:223-235, 1974.
 23. Kennedy JC, Alexander LJ and Hayes KC : Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med.* 10:329-335, 1982.
 24. Madey SM, Cole KJ and Brand RA : The sensory role of the anterior cruciate ligament. In: Jackson DW, Arnoczky SP, Frank CB, Woo SL-Y, Simon TM, eds. The anterior cruciate ligament: current and future concepts. New York: Raven Press, 23-35, 1993.
 25. Marinozzi G, Ferrante F, Gaudio E, Ricci A and Amenta F : Intrinsic innervation of the rat knee joint articular capsule and ligaments. *Acta Anat (Basel)* 141:8-14, 1991.
 26. Matyas JR : The structure and function of tendon and ligament insertions to bone [Thesis]. New York: Cornell University Medical College, 1985.
 27. Muir H : Proteoglycans as organizers of the extracellular matrix. *Biochem Soc Trans* 11:613-622, 1983.
 28. Müller W : The knee: Form, Function and Ligamentous Reconstruction. New York, Springer-Verlag, 1983.
 29. Noyes FR, Grood ES, Butler DL, et al : Clinical biomechanics of the knee--ligament restraints and functional stability. In AAOS Symposium on the Athlete's Knee, Surgical Repair and Reconstruction (Hilton Head, South Carolina, June 1978). St. Louis, C.V. Mosby, pp. 1-35, 1980.
 30. Odensten M and Gillquist J : Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg [Am]* 67:257-262, 1985.
 31. Rodeo S, Arnoczsky SP, Torzilli P, Hidaka C and Warren R : Tendon healing in a bone tunnel: a biomechanical and histologic study in the dog. *Trans Orthop Res*

- Soc 18:18-29, 1990.
32. Scapinelli R : Studies on the vasculature of the human knee joint. *Acta Anat* (Basel) 70:305-331, 1968.
33. Schutte MJ, Dabezies EJ, Zimny ML and Happel LT : Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg [Am]* 69:243-247, 1987.
34. Woo SL-Y, Maynard J, Butler D, Lyon R, Torzilli PA, Akeson WH, Cooper RR, Oakes B : Ligament, tendon and joint capsule insertions to bone. In. :Woo, Buckwalter, eds. Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues. Park Ridge, Illinois: *American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 133-166, 1987

Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament (A Blueprint for Repair and Reconstruction)

Young Bok Jung, M.D., Jae Kwang Yum, M.D.

Dep't of Orthopedic Surgery, Yong-San General Hospital, Chung-Ang Univ.

The anterior cruciate ligament(ACL) is, perhaps, the most intriguing component of the knee joint. Initially referred to crucial ligament because of the cruciate or crossed arrangement of the anterior and posterior ligaments within the knee, the irony of the ACL being crucial to the well-being of the joint has only recently appreciated.

The anterior cruciate ligament of human knee joint is a complex structure and its orientation, construct and biology are directly related to the knee function as a constraint of knee joint motion. In addition to its functional role as a static stabilizer of the knee, the ACL has a unique neurovascular system. The vascular anatomy of the ACL plays a crucial role in the repair and reconstruction of the ligament, and the neuroreceptors found in its substance suggest a possible proprioceptive role for the ligament. The structural complexity of the ACL allows the ligament to function through the normal range of motion as a static stabilizer of the knee, but it also makes the exact duplication of this structure very difficult. A comprehensive knowledge of the anatomy of the ACL can provide the orthopedic surgeon with a blueprint for the idealized repair and reconstruction of this most complex structure.

Key Words : Anterior Cruciate Ligament, Functional Anatomy
