

Functional Anatomy and Biomechanics of the Patellofemoral Joint

관동대학교 의과대학 정형외과학교실

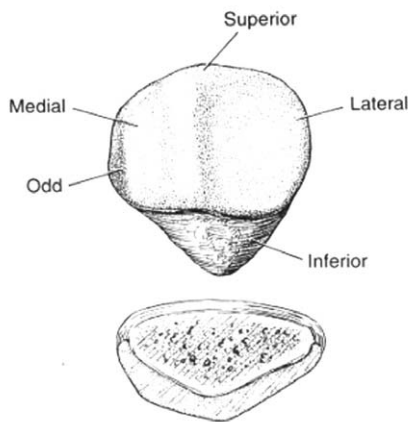
김 형 수

기능적 해부학

발생학적으로 슬개골은 태아 8주에 슬부의 중앙부에 원형의 세포들이 사두근 (quadriceps) 내에 위치하게 되고, 생 후 2~3세에 골화가 시작되어 사춘기를 거치면서 골화를 종료하게 된다.

해부학적 구조물은 골구조, 활액막, 연부조직 안전장치, 신경혈관으로 이루어져 있다.

골 구조는 슬개골과 원위 대퇴골의 활차부분으로 이루어 진다. 슬개골의 길이는 47~55 mm이며 너비는 51~57 mm 이고, 두께는 차이가 있지만 평균 25mm 정도이다. 슬개골의 전방 면은 볼록하며, 상부 1/3은 거칠어 사두건이 부착되고, 중간 1/3은 많은 혈관의 구멍이 존재하며 하부 1/3은 V-모양의 슬개건이 감싸는 부위가 있다. 후방 면의 상부 3/4은 관절면 이고, 하부 1/4은 비관절면이다. 외측 관절면은 크고 내측 관절면은 작다. 관절의 과도한 굴곡 시, 대퇴내과와 수직으로 접하는 여분(odd)의 관절면이 있다.



관절연골의 두께는 5 mm 이상으로^{4,9)} 나이가 들면서 얇아진다¹⁰⁾. 연골하 골의 외곽은 내측과 외측으로 나뉜다. 일반적으로 외측이 더 두꺼운데, 이는 더 큰 하중에 기인한다고 여겨진다. 연골하 골의 밀도는 근 위 외측 관절면이 가장 높다. 슬개건이 부착하는 첨부와 사두건이 부착하는 기저부로 나뉜다. 슬개골의 축 성장 모양에 따른 Wiberg¹³⁾의 분류에서, 제 1형은 내측과 외측의 크기가 비슷한 경우, 제 2형은 내측이 외측에 비해 작은 경우, 제 3형은 내측이 외측에 비해 현격히 작을 경우로 나누었다. 대퇴의 활차면은 외측 관절면(lateral facet), 상부 활차 오목(supra-trochlear fossa), 내측 활차 관절면(medial trochlear facet)으

로 구성되어 있다. 이 중 외측 관절면은 슬개골과 함께 대퇴의 활차역할을 하며, 15도에서 최대 굴곡동안 슬개골의 아탈구를 방지하므로 따라서 외측 관절면이 편평한 경우 슬개골의 외측 불안정이 있을 수 있다. 내측 관절면의 상부 1/3은 슬개대퇴 관절면을, 하부 2/3는 대퇴경골 관절면을 이루며, 외측 관절면에 비해 내측 관절면의 길이가 길어 나사회전 운동(screw home movement)의 원인이 된다. 최근 Staubli¹²⁾의 해부학적 논문에서 슬개대퇴 관절의 골과 연골 모양의 부조화가 보인다고 하였다. 즉, 슬개골과 대퇴골의 골성 부조화가 관절 연골의 부조화로 나타나지 않는다. 기능적으로 조화된 관절연골은 골성 부조화에서도 나타날 수 있다.

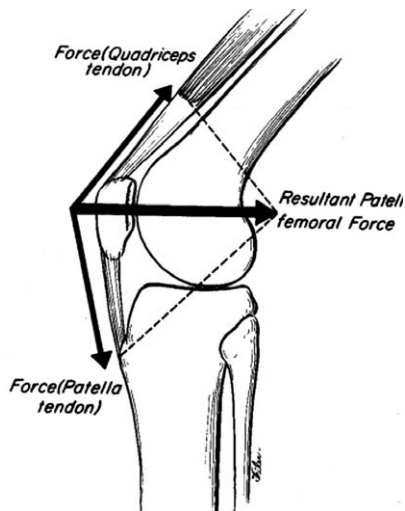
슬개대퇴 관절의 활액막(synovium)은 슬개상 낭낭(suprapatellar pouch), 슬개골 주위 활액막(peripatellar synovium), 슬개하 활액막(infrapatellar synovium)으로 구성되고, 슬개골 주위 활액막이 관절강을 형성하는 과정에서 흡수되지 못하고 남아 비후 된 경우, 추벽 증후군(plica syndrome)을 유발하기도 한다. 전반슬(genu recurvatum)이나 상위 슬개골(patellar alta)의 경우, 슬개하 활액막의 이상적 비후가 관찰 될 수 있다.

연부 조직 안정 장치(soft tissue stabilizer)는 수동적(passive) 안정 장치와 능동적(active) 안정 장치로 구분 되고, 수동적 안정 장치는 하부의 슬개건(patellar tendon)과 상부의 사두건의 확장(central quadriceps tendon expansion)이 있고, 외측에는 천층 사 지대(superficial oblique retinaculum)와 심층 횡 지대(deep transverse retinaculum)가 있으며, 내측에는 내측 슬개대퇴 인대(medial patellofemoral ligament)와 내측 반월상연골슬개골 인대(medial meniscopatellar ligament)가 있다. 내측 슬개대퇴 인대는 대퇴 내상과(epicondyle)에서 기시되어 슬개골 내측 상부 1/3에 부착되며, 이는 신전 시 긴장되고 굴곡 시 이완된다. 외측 슬개대퇴 인대는 대퇴 외상과에서 기시되어 슬개골 외측 상부 1/3에 부착 되며, 이는 신전 시 이완되고 60도 굴곡 시 최대로 긴장된다. 능동적 안정 장치에는 근육 성분인 사두근이 있다. 이는 세 개의 층으로 이루어져 있으며 표재층으로 대퇴직근(rectus femoris), 중간층으로 내측광근(vastus medialis), 외측광근(vastus lateralis)이 있으며, 심층인 중간광근(vastus intermedius)이 있다. 이 중, 대퇴직근은 골반에서 기시하므로 Q-각도에서 중요한 역할을 한다.

혈액 공급은 네 개의 슬부동맥(genicular artery)과 전 경순환동맥(anteior tibial recurrent artery)으로 이루어진다. 복재신경(saphenous nerve), 전 대퇴표재신경 (anterior femoral cutaneous nerve), 외측 대퇴표재신경 (lateral femoral cutaneous nerve)의 지배를 받는다.

슬개대퇴 관절의 생체 역학

슬개골의 기능은 첫째, 움직임도르레의 기능으로 슬관절의 신전을 돕는데, 굴곡과 신전의 축으로부터 신전 구조물의 거리를 넓혀 초자연골의 마찰력을 줄여 주고, 50%까지 신전력을 강화 시켜 준다. 즉, 임상적으로 슬개골 적출 시 신전력이 약화되어 완전한 슬관절 신전력을 회복할 수 없고, 이때 경골 조면(tibial tubercle) 상부에 골편을 이식하여 굴곡 신전 축을 넓혀 신전력을 향상 시키는 방법이 있다. 둘째, 슬개건으로 하여금 사두근을 모아 줌으로서 힘을 집중시켜준다. 셋째, 신전 구조물들의 탈구 가능성을 낮추어 준다. 넷째, 슬개골은 활차와 양과의 연골을 보호한다. 다섯째, 슬관절의 모양에도 중요한 역할을 한다. 예를 들면, 슬개골 절제술 후 정상적인 슬관절 모양을 소실하여 편평한 슬부를 초래하게 된다. 해부학적 적응의 예로 전산화 단층 촬영에서 외측 관절면의 밀도가 높아지는 것은 높은 압력을 의미한다. 시상면에서 직각의 골주의 방향은 슬개골과 골주에서의 관절에 가해지는 힘의 방향을 의미한다.



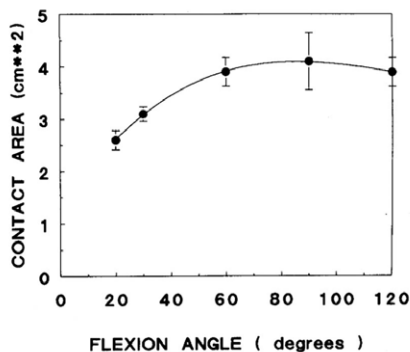
생체역학은 슬개대퇴 관절의 압력, 접촉면 그리고 안정 구조물의 역학적 역할로 설명된다.

슬개대퇴골 압력은 사두근과 슬개건의 힘의 합이다.

굴곡 각도가 증가함에 따라 슬개대퇴 관절의 압력이 증가하게 된다. 예를 들면, 걸을 때는 체중의 50%의 압력이 주어지지만, 쪼그려 앉을 때의 압력은 체중의 7.8배가 된다¹¹⁾. 최종 힘(resultant force)은 내측 관절면 보다 외측 관절면으로 더 크게 분포한다. 사두근에 의해 발생하는 축회전력은 체중과 상체의 중점에서부터 슬관절 중심까지 거리의 곱한 값이다.

슬개대퇴 관절의 접촉은 완전 신전 시 슬개골 하부에서부터 시작되며, 굴곡하면서 상부로 이동하게 된다. 전체 접촉은 굴곡 각도에 따라 증가하게 되며, 90도에서 최고치를 이룬다^{4,6)}.

슬개대퇴골의 접촉 압력은 정상 압력의 경우, 단위 접촉면에 작용하는 힘이다. 먼저 생리학적 굴곡 시 슬개대퇴골의 압력은 굴곡 각도에 따라 증가하게 되며 70도에서 90도 까지 최고치를 이룬다^{7,14)}.

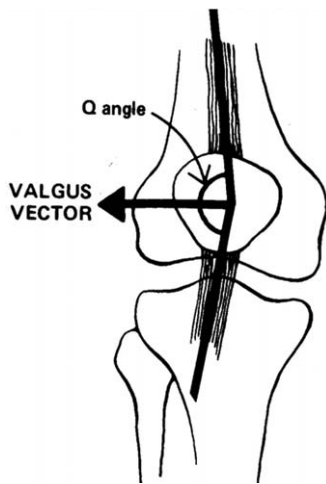


그러나 슬개대퇴 관절연골의 두께에 의해 보호된다. 결과적으로 슬개대퇴골의 압력과 접촉 면적이 굴곡 각도에서 내측보다 외측 관절면에서 더 크므로 접촉 압력은 동일하다. 그에 반해, 사두근 강화 운동(quadriceps strengthening exercise) 같이 저항이 있는 신전 운동을 하는 동안의 접촉 압력은 굴곡30도에

서 최고가 된다. 그러므로 슬개대퇴 관절의 관절염이 있는 환자에서의 물리치료에 주의해야 한다.

슬개대퇴 관절의 운동학

운동학적으로 Q-각도는 사두건과 슬개건의 완전 신전시 대퇴의 내회전과 경골의 외회전의 최종 단계의 나사 회전 운동에 의해 이루는 각도로, 슬관절 신전 상태에서 전상장골극(anterior superior iliac spine)에서 슬개골 중앙이 이루는 선과 슬개골 중앙과 경골 조면이 이루는 선 사이의 각도로서 정상치는 15도 이내이며, 20도 이상 시 외반슬을 의미한다⁸⁾. 즉, Q-각도는 외반력을 형성하며 내측지대가 이에 대항(resist)하게 된다. 슬개대퇴 관절운동은 0도에서 15도의 굴곡 동안 슬개골은 대퇴골의 슬개대퇴 오목(patellofemoral groove)에 들어오지 못하여, 슬개대퇴 관절의 안정성은 사두근의 힘에 의해서 좌우되는데, 대부분 슬개대퇴 관절의 불안정이 이때 나타난다.



20도 이상의 굴곡 시에는 슬개골은 활차의 적합성에 의해 유지된다. 흡운동(tracking) 동안 Q-각도에 의해서 슬개골은 슬개대퇴 오목의 외측으로 들어가게 되며, 경골을 외회전 시켜 내측으로 이동하게 한다. 이는 대퇴경골 관절의 나사 회전 운동과 일치하여 나타난다. 최근 많은 해부학적 절단(cutting) 연구에 의하면, 내측 슬개대퇴 인대가 최종 30도 굴곡 시 외측 탈구의 저항요인으로 주된 안정 장치(primary stabilizer) 역할을 한다^{1,5)}. 외측 지대는 일부 강화 효과를 준다²⁾. Erasmus³⁾는 슬개골 아탈구 시 내측 재건술만으로 경골조면 절골술이나 슬괘근(hamstring)을 이용한 외측 지대의 해리술 없이 좋은 결과를 보고하였다. 30도 굴곡 후에는 슬개골의 안정성은 활차에 의해서 제공된다.

결론적으로 슬개대퇴 관절은 복잡한 구조와 기능을 갖는 관절이며, 연부 조직이 주된 안정적 장치이고, 골성 안정 지지구조의 이상은 대부분 선천적 기형으로 유발된다. 이러한 슬개대퇴 관절의 생체역학을 이해하고, 치료방법이 발달되어 이를 임상적으로 적용하고 있다.

REFERENCES

1. Conlan T and Garth WP: Evaluation of the medial soft tissue restraints of the extensor mechanism of the knee, *J Bone Joint Surg.* 75A:682-693,1993.
2. Desio SM, Burks RT and Bachus KN: Soft tissue restraints to lateral patella translation in human knee, *American J Sports Medicine.* 26:59-65,1995.
3. Erasmus PJ: Medial patellofemoral ligament reconstruction, 5th Biennial, ISAKOS Congress, Hollywood, Florida, USA,28:31-35,2005.
4. Ewing JW: Articular cartilage and knee joint function: Basic sciences and Arthroscopy, New York, Raven, 1990.
5. Hautamaa PV, Fithian DC, et al: Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair, *Clinical orthopaedics and related research* 349:174~182,1998.
6. Hayes WC, Hurberti HH, Lewallen DG, et al: Patellofemoral contact pressure and the effects of surgical reconstruction procedures, in *Articular cartilage and Knee joint Function: Basic science and Arthroscopy*, edited by JW Ewing. New York, Raven press,1990.
7. Huberti HH and Hayes WC: Patellofemoral contact pressure. *J Bone Joint Surg.* 66A:715-724,1984.
8. Hungerford DG and Barry BS: Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clin Orthop* 144:9,1979.
9. Meachim G: Cartilage lesions of the patella. Chondromalacia of the patella. Baltimore, Williams & Wilkins,1983.
10. Meachim G, Bentley G and Baker R: Affective age on thickened of adult patellar articular cartilage. *Ann Rheum Dis* 36:563,1977.
11. Rielly DJ and Martens M: Experimental analysis of the quadriceps force and patellofemoral joint reaction force for various activities. *Acta Orthop Scand* 43:126,1972.
12. Staubli HU, Bosshard C, Porcellini P and Rauschning W: Magnetic resonance imaging for articular cartilage, Cartilage bone mismatch, *Clinics in Sports Medicine* 21:417-433,2001.
13. Wiberg G: Roentgenographic and anatomic studies on the femoral patellar joint. With special reference to chondromalacia patellae. *Acta Orthop Scand* 12:319-410, 1941.
14. Ziebelman MS, Colwell, CW, Irby SE and Walker RH: Dynamic in vitro patellofemoral forces :Intact and after tibial tubercle osteotomy, *Trans orthop Res Soc.* 15(2):500,1990.