

슬관절 주위 골격의 기초과학 및 스포츠 손상

김 희 천

국립의료원 정형외과

목적: 슬관절 주위 골격의 기초과학을 생체역학을 중심으로 설명하고 빈도가 높은 스포츠 손상들에 대해 기술하고자 한다.

해부 및 운동학: 슬관절은 순수한 경첩 관절이 아니며 적합하지 않으므로 여섯 방향의 운동이 가능하다.

경골대퇴간 운동역학: 슬관절의 굴곡-신전 축은 시상면에 수직이 아닐 뿐 아니라, 관상면상 관절선과 평행하지 않으므로, 경골대퇴관절은 굴곡 시 내반과 내회전이 동반되고 신전 시에는 외반과 외회전이 동반된다.

슬개대퇴 관절: 슬개대퇴 관절 압박력은 슬관절의 굴곡 각도와 사두고근력에 비례한다. 슬개골은 신전기전의 moment arm을 증가시켜 신전기전의 효율을 증대시키고 지렛대 역할을 한다.

슬개골 골절: 비전위성 골절이면서 하지 직거상 운동이 보존된 경우에 비수술적 치료의 적응증이 되며 수술적 치료 시 고정 방법의 선택은 골절 양상에 따라 결정되었으나 어느 술식을 선택하여도 신전지대의 봉합은 필수적이며 중요하다.

슬개골 불안정성: 선형 해부학적 이상을 조사해야 하며 급성 탈구에서도 골연골 골절편이 있거나 재발의 위험이 높은 운동선수에서 인대 봉합을 고려할 수 있다. 비수술적 치료 및 재활에도 불수하고 계속되는 재발성 아탈구나 탈구는 수술이 필요하다.

학령기 스포츠 손상: Idiopathic Adolescent Anterior Knee Pain, Osgood-Schlatter Disease, Sinding-Larsen-Johansson Disease 등이 흔하다.

색인 단어: 슬관절 골격, 기초과학, 스포츠 손상

서 론

슬관절은 인체에서 가장 크고 복잡한 관절 중 하나이며, 생체역학적 관점에서 보면 인체 골격의 가장 긴 두 lever arms(대퇴골 및 경골) 사이에 존재하는 관절이므로 각종 외력(외부 모멘트)에 의해 손상될 위험에 쉽게 노출된다. 그래서 슬관절 손상이 빈발하며, 따라서 이 관절의 기초 해부학 및 생체역학을 이해함은 슬관절 손상을 적절히 치료하는데 중요한 기초를 제공한다. 이에 슬관절 주위 골격의 기초과학을 생체역학을 중심으로 설명하고 빈도가 높은 스포츠 손상들에 대해 기술하고자 한다.

해부 및 운동학

굴곡-신전(flexion-extension)이 슬관절에서 가장 큰 범위로 수행되는 주된 동작이긴 하지만 유일한 운동은 아니므로 슬

관절은 순수한 경첩 관절(hinge joint)은 아니다.

경골대퇴골간 관절은 중간에 개재하는 연골판(menisci)을 감안하여도 정확히 일치하는 (exactly congruent) 관절은 아니며, 슬개골대퇴골간 관절도 그렇다. 이러한 특성으로 구르기(rolling)와 미끄러짐(gliding) 운동이 혼재되고 그 결과로 슬관절에는 six degrees of freedom of motion 이 존재하는데 세 방향의 이행(translations) 및 세 방향의 회전(rotations)을 포함한다. 세 방향의 이행으로는 전후방 이행(anteroposterior translation)이 5~10 mm 정도가 일어나고, 압축-신연(compression-distraction) 이 2~5 mm, 내외측 이행(mediolateral translation)이 1~2 mm 가능하다. 세 방향의 회전은 굴곡-신전(flexion-extension)이 사람에 따라 다르지만 대략 0~15° 과신전(hyperextension)에서 130~150° 굴곡(flexion)이 일어나고, 내회전-외회전(internal-external rotation)은 신전위에서는 거의 없지만 굴곡위에서 20~30° 가능하며, 내반-외반(varus-valgus) 운동이 일어난다.

Kettelkamp 등²⁾의 측정에 의하면 평지 보행(level walking) 시 평균 회전각은 유각기(swing phase) 굴곡-신전 66.7°, 입각기(stance phase) 굴곡-신전 20.6°, 내전 8.4°, 외전 2.8°, 내회전 7.2°, 외회전 6.1° 이며, 가장 흔히 발견되는 보행상 특징은 발뒤축 닿음(heel-strike) 직전에 신전 및 외회전이 최고에 이르고, 발뒤축 닿음에 최대 외전(abduction)이, 유각기에 최대 내전(adduction)이 일어나며, 굴곡

통신저자: 김 희 천

서울시 중구 을지로 6가 18-79

국립의료원 정형외과

TEL: 02) 2260-7195 · FAX: 02) 2278-9570

E-mail: khc4h@unitel.co.kr

및 내회전은 발뒤축 닿음 직전에 일어나서 발바닥 닿음(foot flat) 때까지 증가하는 양상이다.

경골대퇴간 운동역학

슬관절의 굴곡-신전(flexion-extension)은 경골과 대퇴골 관절면 사이에서 일어나는 구르기(rolling)와 미끄러짐의 조합에 의한다. 구르기(rolling)만 일어난다면 최대 굴곡위에 이르기 전에 대퇴골과가 경골 고평부의 후방으로 떨어지게 되며, 미끄러짐(gliding)만 일어난다면 굴곡위에 이를 때 대퇴골 간부가 경골에 충돌(impinge)되어 굴곡 운동이 방해받게 된다.

슬관절의 굴곡-신전 축(flexion-extension axis)은 고정되어 있지 않고 일정하게 움직여 “J” 모양의 곡선을 그리는 것으로 이해되었으나, Hollister 등³⁾은 정상 슬관절에서 굴곡-신전 축은 고정되어(fixed) 있고, 신전 혹은 굴곡위에 상관없이 원위 대퇴골의 일정한 지점(내상과와 외상과를 잇는 가상의 축에 근사함)에 위치한다고 하였다. 이 굴곡-신전의 운동축은 해부학적 시상면에 수직이 아니므로, 시상면이 아니고 이 축에 수직인 면에서 보면 대퇴골과(femoral condyles)는 굴곡위로 가면서 반경(radius)이 감소하지 않고 일정한 원형(circularity)의 모습을 하고 있다고 하였다. Elias 등²⁾도 사체의 해부학적 연구에서 10도 굴곡위에서 140도 굴곡위에 이르는 동안 시상면 상 대퇴골과는 동심 원형의 모습을 보인다고 하였다. Hollister 등에 의하면 이 운동축은 시상면에 수직이 아닐 뿐 아니라, 내측부인대의 기시부에서 외측부인대의 기시부로 후하방의 방향이므로 관상면 관절선과 평행하지 않고 슬관절의 종회전축(longitudinal rotational axis)과도 수직이 아니기 때문에, 경골대퇴관절은 굴곡 시 내반과 내회전이 동반되고 신전 시에는 외반과 외회전이 동반된다고 하였다.

내외측 경골 고평부는 관상면 상 약간 오목(concave)한 모습이지만, 외측 고평부는 시상면 상 볼록(convex)하여 등근 대퇴골 외과와 적합한 관절면을 형성하지 않는다. 이렇게 경골 대퇴관절의 접촉면이 내측과 외측에서 비대칭인 것도 슬관절의 최종 신전위에서 경골이 외회전하는 나사회전 운동(screw-home movement)을 일으키는 데 기여한다

슬개대퇴관절

슬개대퇴관절은 슬관절의 신전기전(extensor mechanism)을 조절함에 중요하다. Kaufer⁶⁾은 사체를 이용한 역학실험에 의해 슬개골이 신전기전의 moment arm을 증가시켜 신전기전의 효율을 높임을 증명하였다. Huberti 등⁴⁾도 슬개골은 사두고근 및 슬개건 내 힘의 방향과 크기를 변화시키는 도르레(pulley)로 작용만 하는 것이 아니고, 1) moment arm을 증가시켜 효율을 증대시키고 2) 지렛대(lever) 역할을 하는 두 가지 역학적 기능을 수행한다고 하였다.

슬개대퇴관절 압박력(patellofemoral joint reaction

force)은 일상생활 동작에서도 크게 증가하므로, 슬개골의 중능(median ridge) 주위 연골은 인체에서 가장 두껍다. 이 압박력은 슬관절의 굴곡 각도와 사두고근력에 비례하며, 평지 보행 시 체중의 0.5배, 하지직거상 시 2.6배, 계단 보행 시 3.3배, 쪼그려 앉을 때 7배, 스포츠 활동 시 13배에 이른다¹⁰⁾. 압박력이 슬관절의 굴곡 각도에 비례하지만, 굴곡 각도가 증가함에 따라 슬개대퇴간 접촉면도 증가하므로 급격한 응력(stress)의 증가는 일어나지 않는다. 반면에, 웨이트 트레이닝 시 추가 하중(additional weight)에 대항하여 슬관절을 신전하면 (사두고근력의 증가로) 압박력은 증가하고 접촉면은 감소하는 효과가 발생되므로 응력이 급격히 증가한다. 이런 이유로 슬개 동통 증후군(patellar pain syndrome) 환자에서 전 관절운동범위의 등력성 및 등속성 운동은 권장되지 않으며, 마지막 15 내지 20 도만을 신전하는 운동은 감내하기 쉽다.

슬개골의 tracking은 슬관절 굴곡-신전 시 대퇴골의 활차구(trochlear groove)에 대한 슬개골의 운동이라 정의할 수 있으나, 어느 방향의 어느 정도의 운동을 정상적인 슬개골의 tracking이라 할 수 있는지는 아직 정립되어 있지 않다. 슬개골의 운동에도 6 degrees-of-freedom 이 존재하여 세 방향의 이행(translations) 및 세 방향의 회전(rotations)이 가능한데 여러 실험연구나 임상연구의 측정 결과는 서로 달라서 이것이 측정 방법의 차이에 의한 것인지 또는 실제로 개인차가 커서 정상 pattern이라는 것이 과연 존재하지 않는 것인지도 알 수 없는 형편이다⁹⁾. 여러 다른 연구의 측정 결과 중에서 그나마 일관되게 보고된 것은 초기 굴곡 시 슬개골이 내측 이동(medial shift)한 후 후속 굴곡위로 가면서 외측 이동(lateral shift)한다는 것과, 초기 굴곡부터 혹은 초기 굴곡 시 내측 경사(medial tilt)를 보이다가 굴곡위로 가면서 점진적으로 외측 경사(lateral tilt)된다는 것이지만 이에 대하여도 이견이 있다. 슬개골이 비정상적인 tracking으로 수 mm만 외측 이탈되어도 접촉면의 감소로 국소 응력이 급격히 증가하게 되고 슬개대퇴관절에 동통 및 퇴행이 야기될 수 있다. 이러한 경우는 임상적으로는 활차구의 저형성, 비정상적인 슬개 관절면, 내측광근의 발달 지연, 근위 경골의 회전 부정렬(rotational malalignment), Q angle이 증가된 경우 등에서 볼 수 있다.

슬개골 골절

슬개골 골절의 빈도는 인체 골절의 약 1% 정도라고 알려져 있다. 직접손상에 의한 골절은 분쇄(comminution)상은 심하나 전위는 적으며 관절연골의 손상은 심한 편이므로 예후는 불량해질 가능성이 있다. 반면 간접손상에 의한 골절은 분쇄상이 적고 전위는 많은 반면 관절연골의 손상은 적다. 일반적으로 골편의 분리(separation)가 3 mm를 초과하거나 관절면의 어긋남(step-off)이 2 mm를 초과하는 골절을 전위골절이라 하며 수술의 적응증이 된다.

비수술적 치료는 1) 비전위성 골절이면서 2) 하지 직거상

운동이 보존된 경우에 적응증이 되며 전통적인 방법은 신전위에서 4 내지 6주간 고정하는 것이다. 최근에는 비체중부하 시 사두근의 수축에 의해 슬개골에 가해지는 장력(tension)이 부분체중부하 때보다 오히려 크다는 점에 착안하여 2 내지 3 일 후에 부분체중부하를 허용하고 조기에 0도에서 90도까지의 능동적 관절운동을 허용하고 있다.

수술적 치료 시 고정 방법의 선택은 골절 양상에 따라 결정 되겠으나, 일반적으로 고정력은 modified tension band wiring(MTBW), tension band wiring(TBW), circumferential wiring(CW) 의 순서이다¹³⁾. Curtis¹⁾는 MTBW에 CW를 추가하면 MTBW보다 고정력이 우수하다고 하였다. Carpenter 등은 MTBW 보다 screw 고정이 역학적으로 더 우수하다고 하였고 또 이보다는 cannulated screw를 사용하고 이를 이용하여 MTBW를 추가한 것이 더 우수하다고 하였다. 그 외의 다른 시도로는 percutaneous TBW, 외고정 방법 등이 있다. 어느 술식을 선택하여도 신전지대의 봉합은 필수적이며 중요하다.

슬개골 불안정성

슬개골 불안정성(instability)은 ‘증상을 동반하여 슬개골이 과도하게 내외측으로 전위됨’을 의미하며 아탈구와 탈구를 포함한다. 아주 드물게 순수한 외상성 탈구 즉, 해부학적 이상이 없는 환자에서의 탈구가 있을 수 있으나 대개는 소인이 되는 병리 해부를 동반한 환자에서 발생한다. 이때 선행 해부학적 이상으로는 활차의 평평화(flattening of the trochlea), 내측 연부조직(VMO: vastus medialis obliquus, MPFL: medial patellofemoral ligament, medial retinaculum)의 결손(이형성, 급성 결손, 만성 신장), patella alta, 이완 관절, Q angle의 증가, 외측지대(lateral retinaculum)의 긴장, 하지의 부정정열(고관절 전염전, 대퇴골 내회전, 경골 외염전), 사두신전기전의 단축 등이 있다.

급성 탈구는 10대에 호발하며 외측 탈구된다. 대퇴골 외과나 슬개골 내측 소관절면(medial facet)에 골연골 병변이 흔하므로 골연골 골절편 유무를 주의깊게 살펴야 한다. 환자에게는 재탈구 가능성을 알리는 것이 좋다. 보존적 치료 후의 재탈구율에 대하여는 보고에 따라 다르지만, 급성 손상 100례를 평균 13년 추시 후 44%에서 재발이 있었다는 보고⁸⁾도 있었다. 짧은 기간 고정이 필요하고 때때로 관절내 천자가 필요하다. 장기간의 고정은 관절구축과 근위축을 초래하므로 피해야 한다. 급성 탈구에서 골연골 골절편이 있는 경우 제거가 필요한 경우 외에는 수술의 적응증이 되지 않는다고 여겼으나 Sallay 등¹¹⁾은 MRI 촬영하여 환자의 87%에서 대퇴골 부착부에서 MPFL의 파열을 발견하였다고 보고하였다. 그러므로 활동적이어서 향후 재발의 위험이 높은 운동선수에서 MRI 검사 상 확인된 경우 인대 봉합을 고려할 수 있다.

비수술적 치료에도 불구하고 계속되는 재발성(recurrent)

아탈구나 탈구는 수술이 필요하다. 일반적으로 외측지대 유리술 만으로는 불충분하며, 근위 재정렬 술식(proximal realignment procedure)나 원위 재정렬 술식(distal realignment procedure)이 필요하다. 골격 성장이 남아있는 경우나 활차의 저형성과 내측 연부조직의 결합이 있는 경우에는 근위 재정렬 술식의 적응증이 되며, 골격 성장이 끝난 환자에서 신전기전에 외측 벡터가 작용(슬개골의 과도한 경사나 Q angle의 증가)한다고 진단된 경우는 원위 재정렬 술식의 적응증이 된다.

학령기 스포츠 손상

1. Idiopathic Adolescent Anterior Knee Pain

어린 운동선수에서 슬관절 전방 동통은 급성 외상성 이벤트가 아닌 반복적인 과부하에 의해 발생한다. 이 경우에 감별해야 할 원인으로는 고관절 질환(LCP 병, 대퇴골두 골단분리), 활막 추벽 증후군, Osgood-Schlatter 병, 이분 슬개골, Hoffa 증후군 등이 있으며 이러한 선행 질환을 발견하지 못하는 경우에 idiopathic anterior knee pain이라고 한다¹²⁾. 대개 양측성이며, 활동에 의해 악화되는 전방부 동통이 주가 되며, 잠김 현상 등의 기계적 증상은 없다. 예후는 양호하여 시간이 경과하면 호전된다. 기능적 운동범위의 유지와 슬개대퇴관절의 재활이 치료의 주가 되므로, 대퇴 및 하퇴 근-건 단위의 유연성 운동, 통증을 유발치 않는 범위에서의 점진적 근육 강화, 냉치료 혹은 열치료, 초음파 등을 시행하게 된다. 관절의 과부하는 회피하여야 하며 보조기 착용 및 비스테로이드성 항염증제 투여도 고려할 수 있다.

2. Osgood-Schlatter Disease (OSD)

경골 결절의 견인 골단염(traction apophysitis)으로, jumping sports에 참여하는 10~15세에서 주로 발생한다. 남아에서 호발한다고 알려졌으나 운동에 참여하는 여아가 늘면서 남아와 여아 모두에서 발생하고 있다. 원인은 알 수 없으나 경골 결절의 이차 골화 중심에 가해지는 반복적인 견인력의 결과로 간주되고 있다. 단순 방사선 검사 상 경골 결절의 분절화(fragmentation) 소견이 발병 초기에는 보이지 않을 수도 있다. 휴식 등 보존적 치료에 반응하여 성인이 되면 대부분 동통은 소실되지만 상당수에서 무릎 꿇을 때 통증이 있고 경골결절의 돌출이 남는다. 증상이 사라지지 않아 수술이 필요한 경우라도 골격 성장이 끝난 후에 시행한다.

3. Sinding-Larsen-Johansson Disease (SLJ)

OSD가 경골 결절 골단에 발생하는 데 비해 SLJ는 슬개건의 슬개골 부착부에서 발생하는 유사 과부하 손상이다.

10~12세의 활동성 소아에서 발생하며, 슬관절 전방부 동통을 호소하며 단순 방사선 검사 상 슬개골의 원위극(inferior pole)에 분절화가 보이기도 한다. 휴식 및 보존적 치료로 호전된다. 청소년기에 발생하는 슬개건염인 “jumper’s knee”와는 감별이 필요한데 후자는 더 만성적인 경향이다.

4. Acute Tibial Tubercle Avulsion Fractures

드문 골절로 골격 손상이 끝나가는(14~17세) 근육이 발달한 남자선수에서 농구 같은 jumping activity 도중 발생한다. Watson-Jones 및 Ogden 분류 상 I, IIA 형이면서 슬관절의 완전 신전이 가능한 환자에서는 비수술적 치료가 가능하지만 그 외는 관혈 정복 및 내고정이 필요하다⁹⁾. 술후 결과는 양호하지만 III 형 골절에서 구획증후군의 합병이 보고되었다.

참고문헌

1. **Curtis MJ**: Internal fixation for fractures of the patella. A comparison of two methods. *J Bone Joint Surg*, 72-B:280, 1990.
2. **Elias SG, Freeman MAR and Gokcay EL**: A correlative study of the geometry and anatomy of the distal femur. *Clin Orthop*, 260:98-103, 1990.
3. **Hollister AM, Jatana S, Singh AK, Sullivan WW and Lupichuk AG**: The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop*, 290:259, 1993.
4. **Huberti HH, Hayes WC, Stone JL, et al.**: Force ratios in the quadriceps tendon ligamentum patella. *J Orthop Res*, 2:49, 1984.
5. **Katchburian MV, Bull AMJ, Shih Y-F, Heatley FW and Amis AA**: Measurement of patellar tracking. Assessment and analysis of literature. *Clin Orthop*, 412:241-259, 2003.
6. **Kaufer H**: Mechanical function of the patella. *J Bone Joint Surg*, 53-A:1151, 1971.
7. **Kettelkamp DB, Johnson RJ, Smidt GL, et al.**: An electrogoniometric study of knee motion in normal gait. *J Bone Joint Surg*, 52-A:775, 1970.
8. **Maenpaa H and Lehto MU**: The long-term results of nonoperative management in 100 patients. *Am J Sports Med*, 25:213, 1997.
9. **McKoy BE and Stanitski CL**: Acute tibial tubercle avulsion fractures. *Orthop Clin North Am*, 34:3:397, 2003.
10. **Nisell R**: Mechanics of the knee. *Acta Orthop Scand(suppl)*, 216:30, 1985.
11. **Sallay PI, Poggi J, Speer KP and Garrett WE**: Acute dislocation of the patella: a correlative pathoanatomic study. *Am J Sports Med*, 24:52, 1996.
12. **Shea KG, Pfeiffer R and Curtin M**: Idiopathic anterior knee pain in adolescents. *Orthop Clin North Am*, 34:3:377, 2003.
13. **Webe MJ, Janeeki CJ and Mcleod P**: Efficiency of various forms of transverse fractures of the patella. *J Bone Joint Surg*, 62-A:215, 1980.

= ABSTRACT =

KNEE: Basic Science and Injury of Bone

Hee-Chun Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, National Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: The biomechanics and kinematics of knee joint were reviewed in this article. And then the common sports injuries were presented.

Anatomy and Kinetics: None of the pairs of bearing surfaces in the knee joint is exactly congruent. This allows the knee six degrees of freedom of motion.

Tibiofemoral Kinematics: In flexion and extension, the axis of motion is not perpendicular to the medial-lateral plane of the joint, nor is it perpendicular to the axis of longitudinal rotation. This results in coupled varus angulation and internal rotation with flexion and in valgus angulation and external rotation with extension.

Patellofemoral Articulation: Loads across the patellofemoral joint are indirectly related to the angle of knee flexion and directly related to the force generated within the quadriceps mechanism.

Fractures of the Patella: Nonoperative treatment is indicated if the extensor mechanism is intact and if displacement of fragment is minimal. The specific type of internal fixation depends on the fracture pattern. It is important to repair retinaculum.

Acute and Recurrent Patellar Instability: The degree of dysplasia and the extent of the instability play a large part in determining the success of nonoperative treatment. Patients who experience recurrent dislocations and patients with major anatomic variations require surgery to minimize their instability.

Sports Injuries in School-age Athletes: Patellar pain in young athletes groups a number of conditions, including Idiopathic Adolescent Anterior Knee Pain, Osgood-Schlatter Disease, and Sinding-Larsen-Johansson Disease.

Key Words: Knee, Basic Science, Injury of Bone

Address reprint requests to **Hee-Chun Kim, M.D.**

Department of Orthopaedic Surgery, National Medical Center,

#18-79, 6ka, Ulchiro, Choong-Ku, Seoul 100-799, Korea

TEL: 82-2-2260-7191, FAX: 82-2-2278-9570, E-mail: khc4h@unitel.co.kr