

후외측 불안정성을 보이는 슬관절에 대한
재건술 후의 생역학적 평가

연세대학교 대학원

의 학 과

김 형 식

후외측 불안정성을 보이는 슬관절에 대한
재건술 후의 생역학적 평가

연세대학교 대학원

의 학 과

김 형 식

후외측 불안정성을 보이는 슬관절에 대한
재건술 후의 생역학적 평가

지도교수 김 성 재

이 논문을 박사 학위 논문으로 제출함

2006년 12월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

김 형 식

김형식의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2006년 12월 일

감사의 글

정형외과를 전공하면서 저에게 많은 지도와 격려를 해주셨던 세브란스 정형외과 교수님들께 감사를 드립니다. 교수님들의 가르침이 있었기에 오늘의 제가 한 명의 의사로서 성장할 수 있었고, 정형외과 전문의로서 환자를 진료할 수 있게 되었다고 생각합니다.

그 중에서도 본 논문의 지도 교수님을 맡아 주시고 논문이 완성되는 시간까지 가르침을 아끼지 않으신 김성재 교수님께 다시 한 번 감사를 드립니다. 또한 심사위원을 맡아 주시고 바쁘신 중에도 제자의 가르침을 위하여 시간을 내주시고 많은 가르침을 주신 박희완 교수님, 정명현 교수님, 이원택 교수님, 이해연 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

아울러 이번 논문의 실험을 진행함에 있어 장소를 제공해 주시고 크고 작은 일에 도움을 주셨던 해부학 교실의 교수님과 실험실의 선생님들께도 이 글을 통하여 감사의 마음을 전합니다.

저를 키워주신 부모님, 항상 옆에서 힘이 되어준 아내와 귀여운 딸과 태어난 지 얼마 안 된 둘째에게 이 논문을 바칩니다.

저자 씀

그림 및 표 차례

| | |
|--------------------------------|----|
| 국문요약 | 1 |
| I. 서론 | 2 |
| II. 재료 및 방법 | 4 |
| 1. 실험 개요 | 4 |
| 2. 사체 및 이식건의 준비 | 4 |
| 3. 슬와건과 외측 측부 인대의 확인 | 4 |
| 4. 실험 장치 | 5 |
| 5. 경골의 외회전 각도와 슬관절 내반 회전 각도 측정 | 8 |
| 6. 슬와건과 외측 측부 인대의 재건 방법 | 9 |
| 7. 통계학적 분석 | 10 |
| III. 결과 | 11 |
| IV. 고찰 | 15 |
| V. 결론 | 17 |
| 참고문헌 | 18 |
| 영문요약 | 20 |

그림 차례

- 그림 1. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 모식도.
- 그림 2. 슬관절의 내반 회전 각도를 측정하기 위한 장치의 모식도.
- 그림 3. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 전면 사진.
- 그림 4. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 측면 사진.
- 그림 5. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 윗면 사진.
- 그림 6. 슬관절의 내반 회전 각도를 측정하기 위한 장치의 전면 사진.
- 그림 7. 외회전 각도 측정기의 전면 사진.
- 그림 8. 외회전 각도 측정기의 측면 사진.
- 그림 9. 내반 회전 각도 측정기의 전면 사진.
- 그림 10. 내반 회전 각도 측정기의 측면 사진.
- 그림 11. 후경골 건을 이용하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 외측면 모식도.
- 그림 12. 후경골 건을 이용하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 후면 모식도.
- 그림 13. 슬관절 굴곡 각도에 따른 경골 외회전 각도의 변화.
- 그림 14. 초기 정상 상태에 대한 각 실험 단계 후의 경골 외회전 각도의 증감.
- 그림 15. 슬관절 굴곡 각도에 따른 슬관절 내반 회전 각도의 변화.
- 그림 16. 초기 정상 상태에 대한 각 실험 단계 후의 슬관절 내반 회전 각도의 증감.

국문요약

후외측 불안정성을 보이는 슬관절에 대한 재건술 후의 생역학적 평가

슬관절의 후외측 불안정성은 보행 장애와 관절 연골의 퇴행성 변화 등을 유발하는 원인이 되므로, 이를 해결하기 위하여 슬관절 후외측부의 해부학적 구조, 기능적 역학, 수술적 방법이 연구되고 있다. 그러나 사체를 이용한 생역학적 연구 방법은 주로 대퇴와 하퇴 중간 부분에서 절단한 슬관절을 이용하였으며, 수술적 치료의 결과는 주로 임상적 방법으로 평가되었다. 따라서 본 연구에서는 신선 동결 사체의 슬관절 주위의 조직과 족관절의 경비 인대 결합을 보존한 상태에서 후외측 불안정성에 관여하는 구조의 역할을 조사하고, 후외측 불안정성을 유발시킨 후 수술적으로 치료한 다음 후외측 불안정성의 회복 정도를 생역학적으로 분석하고자 한다.

본 실험에서는 12개의 신선 동결 사체의 슬관절을 이용하였고, 후외측 불안정성은 슬와건과 외측 측부 인대를 절단하여 유발하였다. 먼저 슬관절에 손상을 주지 않은 상태에서 슬관절을 0°, 30°, 60°, 90°, 120° 로 굴곡 시키면서 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도를 각각 측정하여 초기 정상 상태에서의 값을 조사하였다. 슬와건을 절단한 후와 외측 측부 인대를 추가로 절단한 후에 같은 방법으로 회전 각도를 측정하여 후외측 불안정성의 변화를 조사하였고, 절단된 슬와건과 외측 측부 인대를 후경골 건을 이용하여 해부학적으로 재건한 후 측정하여 불안정성의 회복 정도를 조사하였다. 실험에 사용한 외회전 모멘트는 5Nm였으며 내반회전 모멘트는 10Nm였다. 회전 각도는 각 단계마다 3회씩 측정하였다.

슬와건을 절단하고 측정한 경골의 외회전 각도는 모든 슬관절 굴곡 각도에서 초기 정상 상태에 비하여 통계학적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 슬와건을 절단하고 측정한 슬관절의 내반 회전 각도는 슬관절 굴곡 0° 에서만 초기 정상 상태와 비교하여 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, 다른 슬관절 굴곡 각도에서는 모두 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 외측 측부 인대를 추가로 절단하였을 경우는 모든 슬관절 굴곡 각도에서 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도가 슬와건을 단독으로 절단하였을 때에 비하여 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 따라서 경골의 외회전에 저항하는 데에는 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 역할을 하고 있으며, 슬관절의 내반 회전에 저항하는 데에는 외측 측부 인대가 주된 역할을 담당하고 있음을 알았다.

후외측 불안정성이 유발된 슬관절에 대하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후에 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도를 측정한 결과, 초기 정상 상태와 수술 후의 상태 간에는 슬관절의 모든 굴곡 각도에서 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 관찰되어($p < 0.05$) 본 연구에서 사용한 수술 방법이 슬관절의 후외측 불안정성이 있는 환자의 수술적 치료의 한 방법으로 유용함을 알았다.

핵심되는 말 : 후외측 불안정성, 재건술, 슬와건, 외측 측부 인대, 슬관절

후외측 불안정성을 보이는 슬관절에 대한 재건술 후의 생역학적 평가

<지도교수 김 성 재>

연세대학교 대학원 의학과

김 형 식

I. 서론

슬관절의 후외측 불안정성 (posterolateral instability)은 보행 장애와 관절 연골의 퇴행성 변화를 유발하는 원인이 되며, 전방 십자 인대나 후방 십자 인대의 손상이 있는 경우에 동반된 후외측 불안정성을 발견하지 못하고 십자 인대에 대하여만 재건술을 시행 한다면 십자 인대 재건의 실패를 유발하게 된다.¹ 이러한 후외측 불안정성을 해결하기 위하여 슬관절 후외측부의 해부학적 구조와 기능적 역학, 진단과 치료에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 후외측 불안정성에 관여하는 구조 중 후방 십자 인대, 슬와건, 외측 측부 인대, 슬와비골 인대 (popliteofibular ligament) 등이 주된 연구의 대상이 되고 있다.

후외측 구조물에 대한 해부학적 연구 중 Wadanabe 등은 115개의 사체 슬관절을 이용한 연구에서 외측 측부 인대와 슬와건은 모두 관찰되었고, 94%의 슬관절에서 슬와비골 인대가 관찰되었다고 보고하였다.²

후외측 불안정성에 관여하는 구조들의 역할을 알기 위한 여러 연구도 진행되어 왔다. Gollehon 등은 외측 측부 인대, 슬와건-궁형 인대 복합체 (popliteus-arcuate ligament complex), 후방 십자 인대를 선택적으로 절단하여, 슬관절의 굴곡이 0° 에서 90° 사이에서는 외측 측부 인대와 슬와건-궁형 인대 복합체가 슬관절의 내반 회전 (varus rotation)과 경골의 외회전 (external rotation)을 방지하는 중요한 구조물이며, 후방 십자 인대는 후방 전위를 방지하는 중요 구조이나 후방 십자 인대 단독 절단시에는 슬관절의 내반 회전이나 경골의 외회전에는 영향을 주지 않는다고 하였다.³ 다른 저자들도 후외측 구조물이 경골의 외회전, 슬관절의 내반 회전에 영향을 주는 구조라고 보고하였다.⁴⁻⁸ Veltri 등은 슬와건 복합체에서 슬와비골 인대를 분리하여 외측 측부 인대, 슬와건의 경골 부착 부위, 슬와비골 인대를 각각 절단하여, 슬와건의 경골 부착 부위와 슬와비골 인대를 절단한 경우에 후방 전위, 내반 회전, 외회전에 영향이 있음을 보고 하였다.⁹ Shahane 등도 슬와비골 인대가 후방 전위, 내반 회전, 외회전에 영향이 있음을 보고 하였다.¹⁰

후외측 불안정성의 수술 방법도 여러 저자에 의하여 보고되고 있으나 이러한 손상의 발생 빈도가 낮고 수술 결과를 측정하는데 서로 다른 방법이 사용되었으며, 수술 후 재활 치료의 다양성 등으로 인하여 가장 효과적인 방법이라고 알려진 수술

방법은 아직 정하여져 있지 않은 상태이다.¹

Hughston 등은 궁형 인대 복합체(arcuate ligament complex; 외측 비복근 건, 외측 측부 인대, 슬와건)를 골 부착 부위에서 전방 및 원위부로 이동시켜서 고정하는 방법(anterior and distal advancement)을 소개하였다.¹¹ Noyes 등은 후외측 손상과 십자 인대 손상시 후외측 복합체(posterolateral complex)를 근위부로 이동시켜 고정하였고 십자 인대는 재건하였으며, 또한 이들은 아킬레스건 동종이식편 등을 이용하여 외측 측부 인대를 재건하는 방법을 소개하였다.^{12,13} Clancy 등은 만성 후외측 불안정성이 있는 슬관절에 대하여 대퇴이두근 건을 대퇴 외상과에 견고 고정(tenodesis)을 시행하여 결과를 발표하였으며, Fanelli 등은 후방 십자 인대 파열과 후외측 불안정성이 있는 슬관절에 대하여 후방 십자 인대는 관절경을 이용하여 재건하고 후외측 불안정성은 대퇴 이두근 견고정을 시행하였다.^{14,15} Albright 등은 슬관절의 후외측부의 슬링(sling) 방법으로 슬와건을 재건하였고, Veltri 등은 외측 측부 인대 파열의 경우에는 대퇴 이두근 건을 이용하였고, 슬와건 복합체(popliteus complex)의 파열의 경우에는 슬와건의 경골 부착 부위와 비골 부착 부위에 대한 재건을 각각 시행하였다.^{16,17} Latimer 등은 9mm 폭의 동종 슬개건을 이용하여 외측 측부 인대를 재건하였으며 이는 환자의 인대보다 훨씬 굵으므로 슬와비골 인대의 대체 효과가 있을 것이라고 기대하였다.¹⁸ 최근에도 후외측 불안정성에 대한 여러 수술 방법이 소개되고 있으며, 김 등은 후경골건을 이용하여 외측 측부 인대와 슬와건을 해부학적으로 재건하는 방법을 소개하였다.¹⁹⁻²²

이와 같이 슬관절의 후외측 불안정성을 해결하기 위한 많은 수술 방법이 소개되어 왔고 현재도 연구되고 있으나, 수술의 결과는 주로 임상적 방법으로 평가되었고, 사체를 이용한 생역학적 방법을 통한 평가는 많지 않았다.

또한 대부분의 생역학적 연구가 대퇴와 하퇴에서 절단한 슬관절을 이용하여 이루어져왔다. 그러나 슬관절에 외회전력이나 내반력이 주어지면 외측 측부 인대와 슬와비골 인대에 장력이 발생하고 이는 부착되어 있는 비골두에 영향을 주게 되어, 족관절의 경비 인대 결합(tibiofibular syndesmosis)이 제거된 상태에서의 근위 경비 관절은 불안정하게 될 것으로 생각한다.

따라서 본 연구에서는 슬관절의 후외측 불안정성에 슬와건과 외측 측부 인대가 미치는 영향을 알아보기 위한 조건으로 슬관절 주위의 모든 조직을 유지한 상태에서 실험을 진행하였으며, 근위 경비 관절의 안정성을 유지하기 위하여 족관절의 경비 인대 결합을 보존하였다. 이와 같은 조건 하에서 경골의 외회전과 슬관절의 내반 회전을 측정하고, 슬관절의 후외측 구조물 중에서 다른 해부학적 구조물들은 손상을 주지 않은 상태에서 슬와건 복합체의 대퇴골 부착 부분과 외측 측부 인대만을 단계적으로 절단하면서 슬와건 복합체와 외측 측부 인대가 경골의 외회전과 슬관절의 내반 회전에 미치는 영향을 측정하였다.

슬와건과 외측 측부 인대가 슬관절의 내반 회전과 경골의 외회전에 미치는 영향을 측정한 후에는 후경골건을 이용하여 절단된 슬와건과 외측 측부 인대를 함께 해부학적으로 재건하고, 재건 직후의 경골의 외회전과 슬관절의 내반 회전 불안정성의 향상 정도를 조사하여 본 연구에서 사용한 수술 방법이 임상적으로 적용되었을 때의 유용성을 생역학적으로 평가하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 개요

신선 동결 사체의 슬관절을 이용하였으며 슬와건과 외측 측부 인대를 절단하여 후외측 불안정성을 유발하였다. 먼저 슬관절에 손상을 주지 않은 상태에서 슬관절을 0° , 30° , 60° , 90° , 120° 로 굴곡 시키면서 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도를 각각 측정하여 초기 정상 상태에서의 값을 조사하였다. 슬와건을 절단한 후와 외측 측부 인대를 추가로 절단한 후에 같은 방법으로 회전 각도를 측정하여 후외측 불안정성의 변화를 조사하였고, 절단된 슬와건과 외측 측부 인대를 후경골 건을 이용하여 해부학적으로 재건한 후 측정하여 불안정성의 회복 정도를 조사하였다. 실험에 사용한 외회전 모멘트는 5Nm였으며 내반회전 모멘트는 10Nm였다. 회전 각도는 각 단계마다 3회씩 측정하였다.

2. 사체 및 이식건의 준비

본 연구에서는 12개의 신선 동결 사체의 슬관절을 이용하였으며, -37°C 에서 보관한 후 실험하기 24시간 전에 대퇴 근위부에서 절단하여 해동하였다. 사체의 평균 연령은 76.5세(57-103)였으며, 육안적으로 수술을 받은 소견이 없으며 이학적 검사상 슬관절의 불안정성이 관찰되지 않은 슬관절을 사용하였다. 사망 원인은 간암의 경우가 4례, 임파선암의 경우가 2례였으며, 6례는 자연사한 경우였다. 해동 후 족관절 내측부에 세로 방향의 피부 절개를 시행한 후, 재건시 사용할 후경골 건을 채취하여 근섬유 부분을 제거한 후 생리 식염수에 적신 거즈에 보관하였다. 후경골 건을 채취한 후에는 족관절 이단술(disarticulation)을 시행하였다.

3. 슬와건과 외측 측부 인대의 확인

슬관절의 후외측 구조물 중에서 슬와건과 외측 측부 인대를 절단하는 것 이외에는 모든 조건을 같게 하기 위하여 실험을 진행하기 전에 미리 슬와건과 외측 측부 인대를 확인하여 표시 하였다. 슬와건과 외측 측부 인대의 확인을 위하여 피부 절개를 포함한 슬와건과 외측 측부 인대 표면에 위치하는 연부 조직을 절개할 때 조직 손상은 최소화 하였다. 우선 세로 방향의 피부 절개를 시행한 후 피하 지방층을 박리하여 대퇴골의 외상과와 비골두, 거디 결절(Gerdy's tubercle)을 노출시킨 후, 외측 측부 인대를 촉진하여 확인한 후 장경 대와 대퇴 이두근 사이를 분리하고 인대 중간 부분의 앞과 뒤를 박리하였으며, No. 2 Ethibond 봉합사(Ethicon, Somerville, NJ)를 이용하여 절단할 외측 측부 인대의 중간 부분을 묶어 두었다. 묶을 때의 장력은 최소화하여 인대가 손상되지 않도록 하였다. 외측 측부 인대를 묶은 후 인대의 전방 부위를 박리하여 슬와건의 대퇴골 부착 부위를 확인하고 같은 방법으로 봉합사를 묶어 두었다. 절단은 묶어 놓은 봉합사의 근위부에서 시행하였으며 이 과정을 시행하는 동안에 연부 조직의 손상은 최소화 하였다.

4. 실험 장치

본 연구에서는 실험을 시행하기 위하여 실험 장치를 고안하여 사용하였으며, 이 실험 장치의 구조는 그림 1,2와 같이 구성되어 있으며, 실험물의 모습은 그림 3-10과 같다.

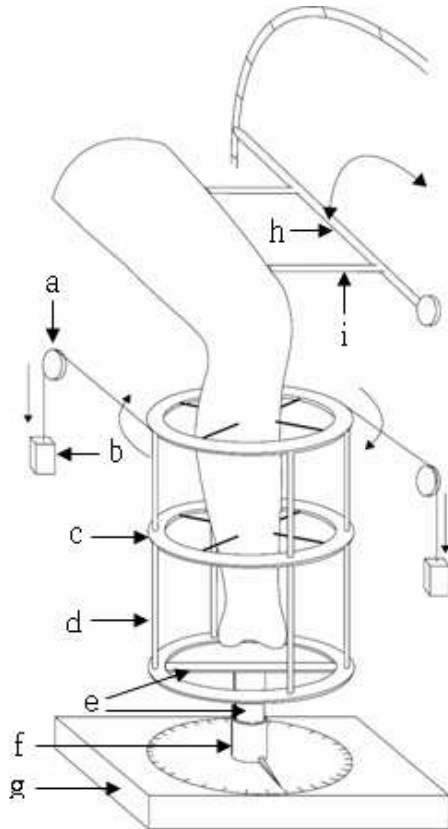


그림 1. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 모식도.

a: 도르래, b: 추, c: 일리자로프 링, d: 일리자로프 막대, e: 연결 부품, f: 회전 실린더, g: 받침대, h: 옥토퍼스 막대, i: 옥토퍼스 하프 핀.

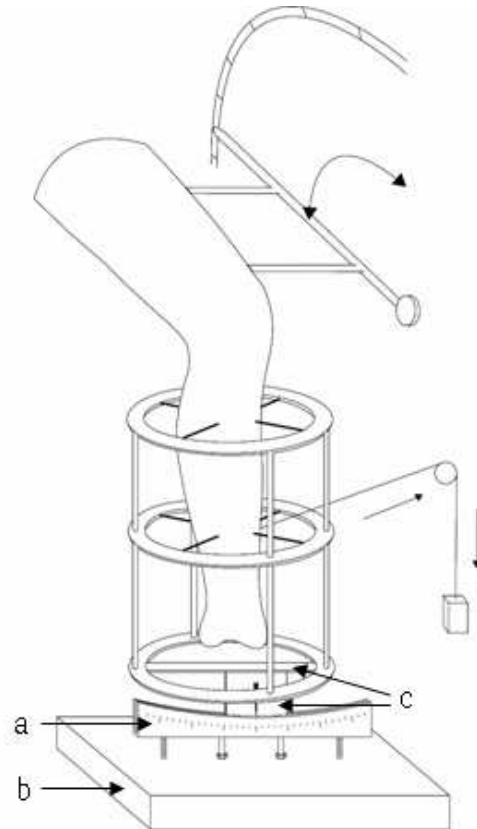


그림 2. 슬관절의 내반 회전 각도를 측정하기 위한 장치의 모식도.

a: 각도기, b: 받침대, c: 연결 부품.

외회전과 내반 회전 모멘트를 주기 위하여 경골에 일리자로프(Ilizarov) 외고정 장치를 부착하였고, 대퇴골을 움직이면서 슬관절을 굴곡시키기 위하여 옥토퍼스(Octopus[®]) 외고정 장치(Seoul Meditech Co., Seoul, Korea)를 대퇴골에 부착하였다. 일리자로프 링(ring)은 바깥 반지름이 10.5cm인 3개를 사용하였고, 근위부 링과 중간 부분 링의 간격과 중간부분 링과 원위부 링과의 간격은 15cm로 하였다.

링 사이의 고정은 길이가 35cm인 4개의 일리자로프 막대(rod)를 이용하였다. 근위부 링이 슬관절의 관절선으로 부터 10cm 원위부에 위치하도록 지름이 1.8mm인 2개의 일리자로프 강선(wire)을 이용하여 일리자로프 링을 경골에 고정하였다. 고정시 강선의 장력은 130kg으로 하였다. 경골에 중간부분 링과 원위부 링을 고정할 때에도 두 개의 강선을 사용하였으며 같은 장력으로 고정하였다. 경골에 링을 고정시 경골이 링의 중앙에 위치하도록 하였다. 경골에 일리자로프 링을 고정한 후 대퇴골에 옥토퍼스 외고정 장치의 하프 핀(half pin)을 내측에 2개, 외측에 2개를 삽입하였다. 하프 핀 삽입시 경골에 고정된 일리자로프 링을 지면에 수직으로 하여 경골이 지면에 수직이 되게 한다. 슬관절을 90°로 굴곡시켜 대퇴골이 지면에 수평으로 위치하도록 하고 하프 핀은 지면에 수평이 되도록 삽입하였으며, 삽입하는 위치는 대퇴골 원위부로부터 10cm 위치와 30cm 위치 사이가 되도록 하였으며 서로 엇갈려가며 반대방향에서 삽입하였다.

경골의 일리자로프 외고정 장치와 대퇴골의 옥토퍼스 하프 핀의 고정이 끝나면 사체의 하지를 실험 장치의 고정틀에 옮겨 옥토퍼스의 하프 핀을 옥토퍼스 막대에 연결하여 고정틀에 고정한다. 옥토퍼스의 하프 핀이 연결된 옥토퍼스 막대는 슬관절의 굴곡 각도를 조절할 수 있도록 고안 되었으며, 슬관절을 중심으로 대퇴골을 회전 시키면서 슬관절 굴곡 각도를 조절하였다. 이때 경골은 중력에 의하여 지면에 수직인 상태가 되며 외회전 각도 측정기와 내반 회전 각도 측정기에 의하여 수직 상태를 유지하도록 하였다. 대퇴골을 고정틀에 고정한 후 슬관절을 굴곡 신전 시키면서 경골의 상하, 좌우, 전후 움직임이 최소화되도록 대퇴골의 위치를 재조정하였다. 슬관절의 굴곡 신전의 중심이 하나의 점이 아니므로 경골의 움직임이 최소화 된 경우를 고정틀의 회전 중심과 슬관절 굴곡 신전의 중심이 가장 가까운 상태로 생각하였다.

사체의 하지를 고정틀에 고정하는 것이 끝나면 원위부의 일리자로프 링에 경골의 외회전 각도 측정기를 부착한다. 외회전 각도 측정기는 회전 각도를 측정하는 원형의 각도기가 그려진 받침대, 경골이 회전하면서 회전의 정도를 가리켜주는 바늘이 붙어 있는 회전 실린더, 회전 실린더와 일리자로프 링을 연결해주는 2개의 연결 부품으로 구성되어 있다(그림 7,8). 연결 부품의 하나는 일리자로프 원위부 링에 고정이 되어 있으며, 다른 연결 부품과는 나사로 연결하게 되어 있어 외회전 각도 측정기와 내반 회전 각도 측정기를 교체할 때 분리할 수 있게 만들었다. 회전 실린더와 일리자로프 링을 연결해주는 연결 부품 사이는 만능 관절(universal joint)로 연결되어 슬관절 굴곡 각도에 따라 슬관절의 중심이 상하, 좌우, 전후로 조금씩 움직이는 것을 완충시키는 역할을 한다. 실험 장치의 부착이 끝나면 도르래와 추를 이용하여 외회전 모멘트 5Nm의 외력을 가하여 실험을 진행하였다.

경골의 외회전 각도 측정이 끝나면 일리자로프 링에 연결되었던 연결 부품을 분리하여 외회전 각도 측정기를 제거하고 내반 회전 각도 측정기로 바꾸어 연결한다. 내반 회전 각도 측정기는 받침대와 내반 회전 각도를 측정할 수 있는 눈금이 그려져 있는 각도기와 일리자로프 링에 연결되는 2개의 연결 부품으로 구성되어 있다. 각도기와 연결되는 부품에는 각도를 가리키는 바늘이 부착되어 있고, 일리자로프 링에 연결되어 있는 부품과는 나사로 연결한다.

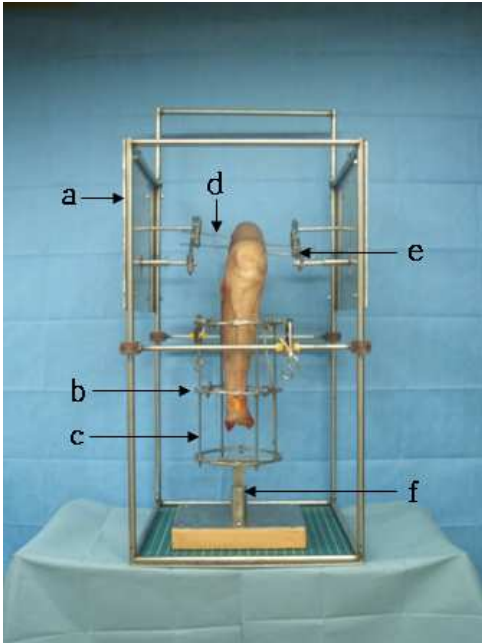


그림 3. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 전면 사진.
a: 고정틀, b: 일리자로프 링, c: 일리자로프 막대, d: 옥토퍼스 하프 핀, e: 옥토퍼스 막대, f: 외회전 각도 측정기.



그림 4. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 측면 사진.
a: 슬관절 굴곡 각도.

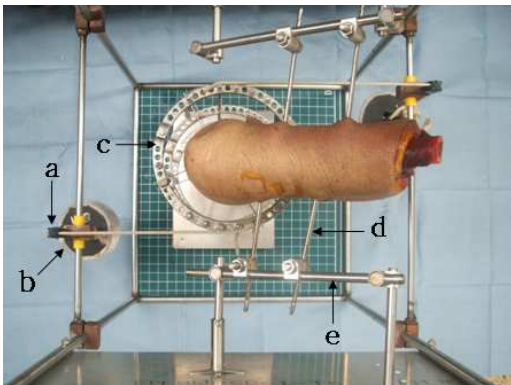


그림 5. 경골의 외회전 각도를 측정하기 위한 장치의 윗면 사진.
a: 도르래, b: 추, c: 일리자로프 링, d: 옥토퍼스 하프 핀, e: 옥토퍼스 막대.

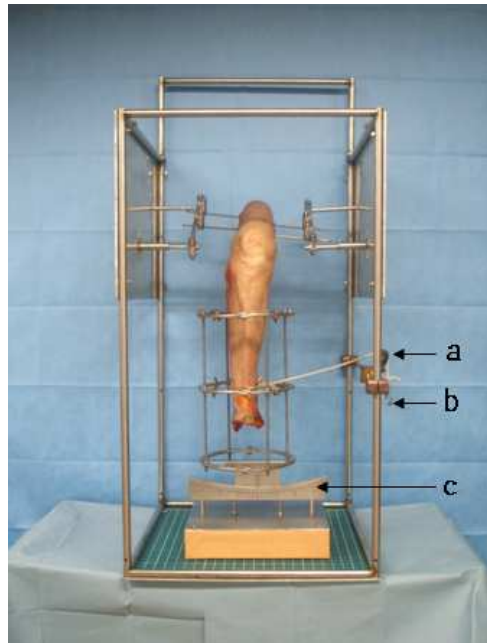


그림 6. 슬관절의 내반 회전 각도를 측정하기 위한 장치의 전면 사진.
a: 도르래, b: 추걸이, c: 내반 회전 각도 측정기.

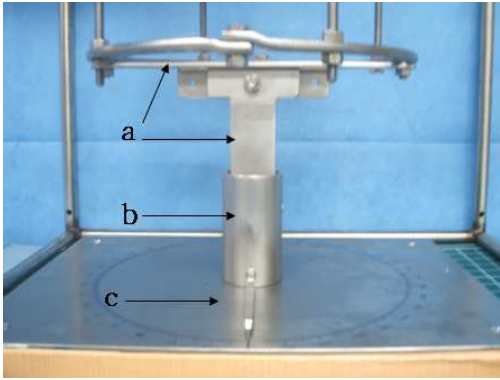


그림 7. 외회전 각도 측정기의 전면 사진. a: 연결 부품, b: 회전 실린더, c: 받침대.

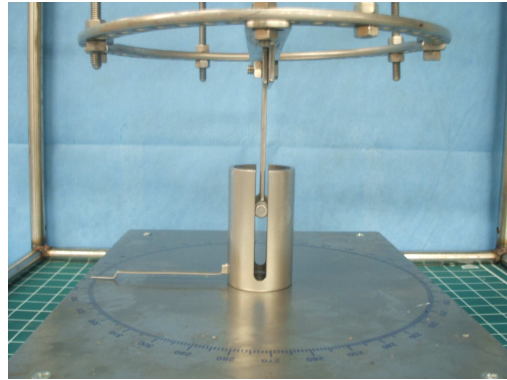


그림 8. 외회전 각도 측정기의 측면 사진.

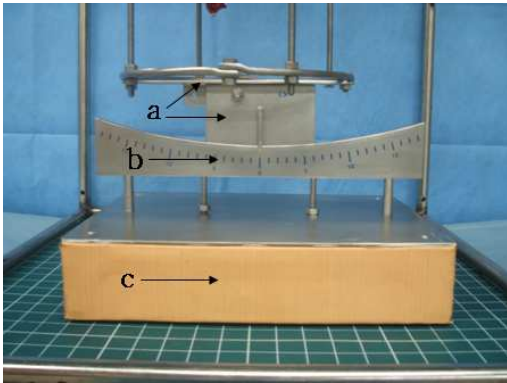


그림 9. 내반 회전 각도 측정기의 전면 사진. a: 연결 부품, b: 각도기, c: 받침대.

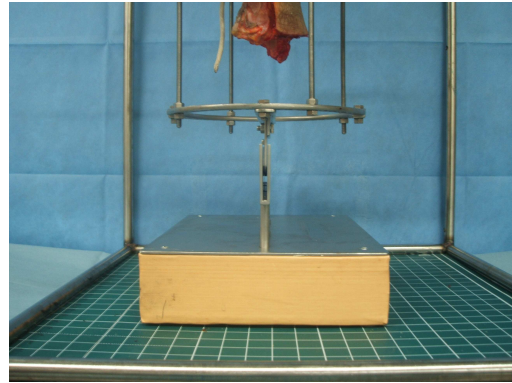


그림 10. 내반 회전 각도 측정기의 측면 사진.

내반 회전시 회전 중심은 경골의 중심이 아니라 경골의 내측이므로 이 바늘의 위치는 일리자로프 링의 중심의 아래가 아닌 경골 내측의 아래가 되도록 하였다(그림 6,9). 실험 장치의 부착이 끝나면 도르래와 추를 이용하여 내반 회전 모멘트 10Nm의 외력을 가하여 실험을 진행하였다.

5. 경골의 외회전 각도와 슬관절 내반 회전 각도 측정

측정하여야 할 수치는 외력이 주어졌을 때의 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도로 슬관절의 굴곡이 0° , 30° , 60° , 90° , 120° 상태에서 각각 측정하였으며, 슬관절의 내반 회전시 가해지는 모멘트는 10Nm로 하였고, 경골의 외회전시 가해지는 모멘트는 5Nm로 하였다.²³

이는 초기에 후외측 구조물의 손상을 주지 않은 정상 상태에서 측정하고, 슬와건

복합체를 대퇴골 부착 부위에서 절단한 후 측정하며, 외측 측부 인대를 추가로 절단한 후 다시 측정하며, 마지막으로 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후에 측정하였다. 측정 횟수는 한 단계에 3회씩 측정하였으며 회전 각도는 외력을 준 후 3초 후에 측정하였다.

6. 슬와건과 외측 측부 인대의 재건 방법

김 등이 발표한 방법에 의하여 후경골 건을 사용하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건하였다.²² 재건을 위하여 옥토퍼스 막대와 하프 핀의 연결 부위를 표시한 후 분리하여 고정틀 밖에서 수술을 시행하였으며, 수술이 끝난 후 원래의 위치에 옥토퍼스 막대와 하프 핀을 연결하고 불안정의 회복 정도를 평가하였다. 수술 방법은 다음과 같다. 야구공 바느질(baseball stitch) 방법으로 이식건(graft)의 끝에 닷 봉합사(anchor suture)를 만든다. 피부는 슬관절 외측 부위 비골두의 바로 전방에 직선으로 절개하고 슬관절 신전 상태에서 대퇴골의 외상과 근위부까지 확장한다. 장경 대(iliotibial tract)의 후면과 대퇴이두 건(biceps tendon) 사이를 분리한다. 비복근(gastrocnemius muscle)의 외측두(lateral head)의 심층부에 위치하는 경골의 후외측 부위와 거디 결절, 대퇴골의 외상과, 비골두를 노출 시킨다. 전방 십자 인대 경골 가이드(anterior cruciate tibial guide)를 전방 거디 결절로부터 후방 경비 관절(tibiofibular joint)의 내측 5mm와 후방 관절면의 원위부 10mm 위치가 교차하는 점으로 향하도록 놓는다. 가이드 핀(guide pin)을 전방에서 후방으로 삽입한 후, 지름 7mm 삽관 리머(cannulated reamer)로 터널을 만든다. 이중 루프 23-게이지 강선(double-strand looped 23-gauge wire)을 터널 전방에서 후방으로 삽입한다. 후방에서 다른 루프 강선(wire)을 전방에서 삽입한 강선에 걸어 다시 전방으로 뽑아낸다. 또 다른 터널을 전방 십자 인대 경골 가이드를 이용하여 비골두에 만드는데, 비골두의 지름이 가장 큰 부분에서 70°의 각도로 6mm 머리 리머(headed reamer)를 역방향으로 회전 시키면서 전하방에서 후상방의 방향으로 만든다. 이때 후상방의 지점은 외측 측부 인대의 바로 후내측에 위치하도록 한다. 이중 루프 23-게이지 강선을 터널 전방에서 후방으로 삽입한다. 후방에서 다른 루프 강선을 전방에서 삽입한 강선에 걸어 다시 전방으로 뽑아낸다. 이때 비골 경부에서 비골신경이 손상되는 점에 유의하여 슬관절을 굴곡시키고 주의하여 터널을 만든다. 전방으로 뽑은 두개의 강선 끝에 후경골 건의 끝을 연결하여 후방으로 뽑아낸다. 후방으로 뽑아낸 건이 슬와 고랑(popliteal sulcus) 전방을 지나 길이가 적어도 35mm가 되도록 한 후 생체 흡수성 나사(bioabsorbable screw)를 이용하여 경골과 비골의 터널에서 고정한다. 그리고 난 후 대퇴골 외상과를 노출시킨다. 경골 터널에서 나온 후경골 건의 끝이 대퇴골 외상과의 원위부로 향하게 하고, 등척점(isometric point)을 찾기 위해 이곳에 0.045 K-강선을 임시로 삽입한다. 이 K-강선에 후경골 건을 걸어 경골의 위치를 변화시켜 가면서 등척점을 찾는다. 양와위(supine position)에서 검사를 시행하면 검사 중에 중력에 의하여 경골이 후외방으로 아탈구되므로 이를 막기 위하여 사체의 하지를 측와위로 놓고 검사를 시행한다. 슬관절을 굴곡, 신전시키면서 이식건의 이동이 2mm 이하인 등척점을 찾는다. 등척

점에 지름 7mm 리머를 이용하여 40mm의 깊이의 소켓(socket)을 만든다. 이 소켓의 방향은 대퇴골 간부(shaft)에서 전상방 20°의 각도가 되도록 한다. 이식건의 끝은 소켓에 35mm 깊이로 들어가도록 길이를 만들고 No.2 Ethibond(Ethicon, Somerville, NJ) 봉합사를 이용하여 이식건 끝에 7mm EndoPearl(Linvatec, Largo, FL)을 붙인다. 이식건의 통과 봉합사(passing suture)를 Beeth needle(Daewoong, Seoul, Korea)에 연결하고 이 바늘을 소켓에 넣어 외측에서 내측으로 통과시킨다. 이식건의 통과 봉합사를 외측에서 내측으로 뽑아낸 후 지름 7mm 길이 25mm 생체 흡수성 나사로 고정한다. 같은 방법으로 비골두에서 뽑아낸 다른 이식건은 대퇴골 외상과의 전상방 가장자리에 등척점을 찾아 소켓을 만들고 내측으로 뽑아 고정한다. 이때 소켓의 방향은 대퇴골 간부에서 전상방 30°의 각도가 되도록 한다. 수술 후의 상태는 그림 11,12와 같다.

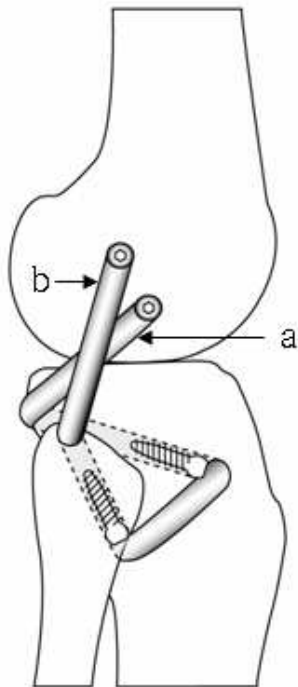


그림 11. 후경골 건을 이용하여 슬와 건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 외측면 모식도.
a: 재건된 슬와건, b: 재건된 외측 측부 인대.

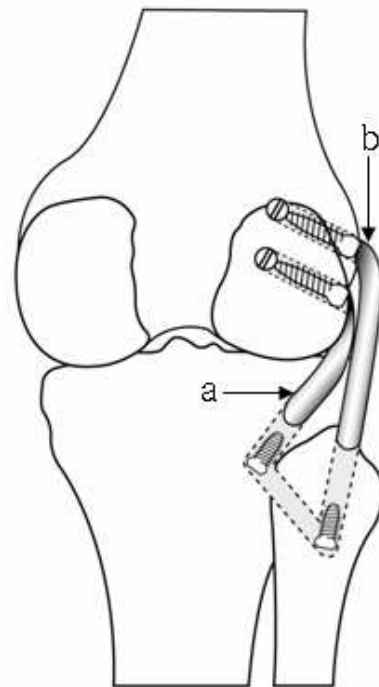


그림 12. 후경골 건을 이용하여 슬와 건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 후면 모식도.
a: 재건된 슬와건, b: 재건된 외측 측부 인대.

7. 통계학적 분석

통계처리 및 분석은 SAS V9.1 프로그램을 이용하였으며, 슬관절의 각도에 따른 처리의 비교는 쌍체 비교 *t*-검정(paired *t*-tests)을 사용하였으며 *p* 값이 0.05 이하일 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 판정하였다.

III. 결과

슬와건을 절단하고 측정한 경골의 외회전 각도는 초기 정상 상태와 비교하여, 슬관절의 모든 각도에서 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다 ($p<0.05$). 외측 측부 인대를 추가로 절단하였을 경우에도 슬관절의 모든 각도에서 슬와건만을 절단하였을 때보다 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다 ($p<0.05$). 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 상태와 초기 정상 상태 간의 경골 외회전 각도를 비교한 경우, 슬관절의 모든 굴곡 각도에서 통계학적으로 유의한 차이가 없는 것으로 관찰되었다($p<0.05$) (그림 13).

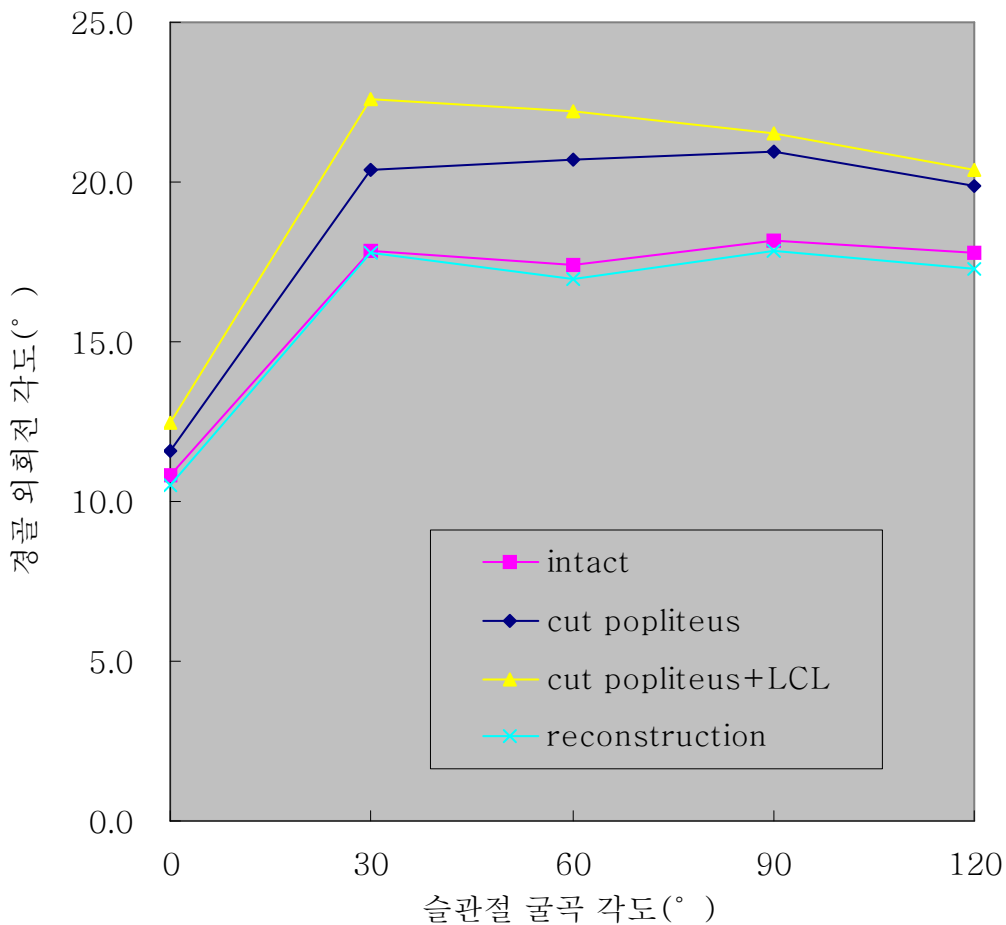


그림 13. 슬관절 굴곡 각도에 따른 경골 외회전 각도의 변화.

intact: 초기 정상 상태,

cut popliteus: 슬와건을 절단한 후의 상태,

cut popliteus+LCL: 외측 측부 인대를 추가 절단한 후의 상태,

reconstruction: 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 상태.

초기 정상 상태를 기준으로 슬와건과 외측 측부 인대를 차례로 절단하였을 경우에 발생하는 경골의 외회전 각도의 증가 양상을 조사하면, 슬와건 단독 절단시에는 슬관절이 0°에서 60°로 굴곡할 경우에 초기 정상 상태에 비하여 경골의 외회전이 0.8°에서 3.3°로 증가하다가 슬관절 굴곡이 60°를 넘어서면서 증가된 크기는 점차로 감소하는 양상으로 관찰되었다. 외측 측부 인대를 추가로 절단한 경우에는 슬관절이 0°에서 30°로 굴곡하면서 초기 정상 상태에 비하여 경골의 외회전이 1.7°에서 4.8°로 증가하고 슬관절 굴곡 60°까지 유지되다가 슬관절의 굴곡이 60° 이상의 구간에서는 경골의 외회전의 증가는 감소하는 것으로 관찰되었다. 재건 수술을 시행한 후에 측정된 경골의 외회전 각도는 모든 슬관절 굴곡 각도에서 같거나 감소한 것으로 관찰되었으나, 통계적인 차이는 없었다(그림 14).

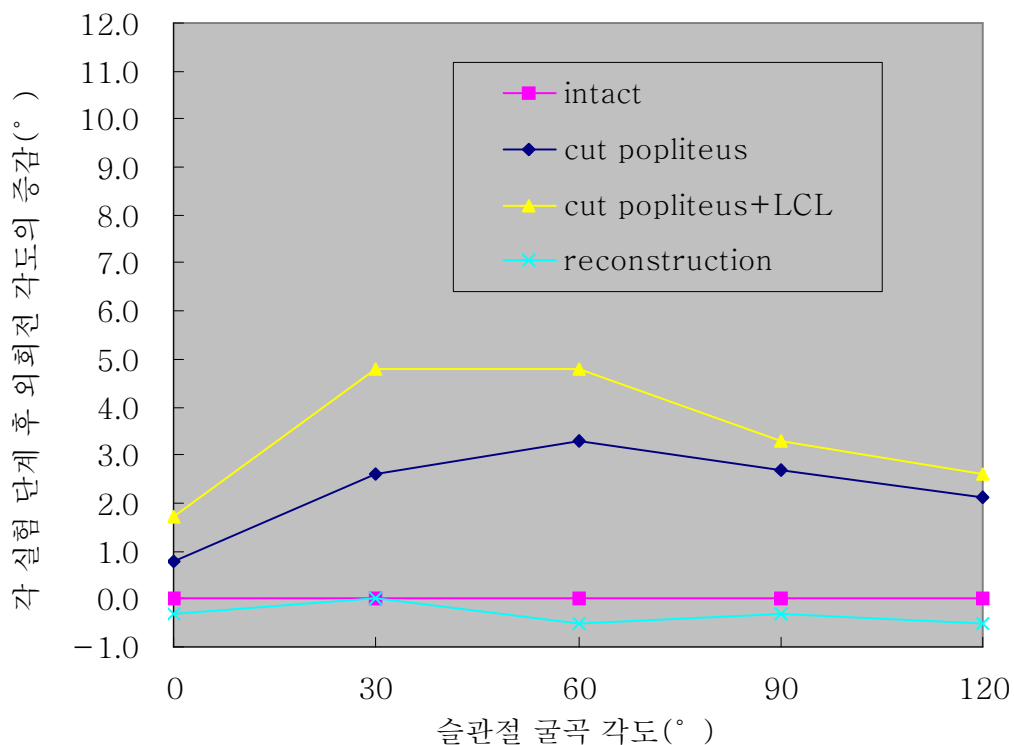


그림 14. 초기 정상 상태에 대한 각 실험 단계 후의 경골 외회전 각도의 증감.

intact: 초기 정상 상태,

cut popliteus: 슬와건을 절단한 후의 상태,

cut popliteus+LCL: 외측 측부 인대를 추가 절단한 후의 상태,

reconstruction: 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 상태.

이와 같이 경골의 외회전 각도의 증가율은 슬와건을 단독으로 절단한 경우와 외측 측부 인대를 추가 절단한 경우 모두에서 슬관절 굴곡 각도가 0°에서 30° 사이에서 가장 큰 것으로 관찰되었으며, 경골의 외회전에 저항하는 데에는 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 역할을 담당하고 있는 것으로 관찰되었다.

슬와건을 절단하고 측정한 슬관절의 내반 회전 각도는 슬관절 굴곡 0° 에서만 초기의 상태와 비교하여 통계학적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, 다른 슬관절 굴곡 각도에서도 현저한 증가는 보이지 않았으나 통계학적으로는 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 외측 측부 인대를 추가로 절단하였을 경우, 슬관절의 내반 회전 각도는 슬관절의 모든 각도에서 슬와건만을 절단하였을 때보다 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 상태와 초기 정상 상태 간의 슬관절 내반 회전 각도를 비교한 경우, 슬관절의 모든 각도에서 통계학적으로 유의한 차이가 없는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$) (그림. 15).

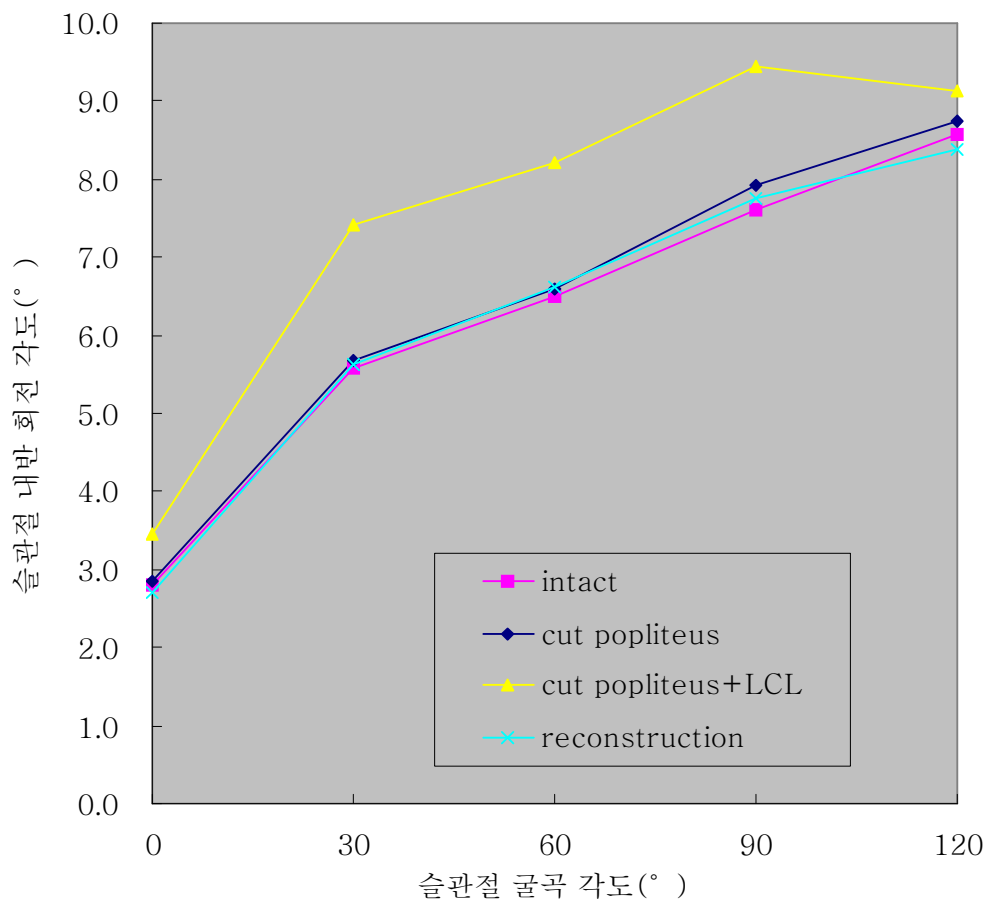


그림 15. 슬관절 굴곡 각도에 따른 슬관절 내반 회전 각도의 변화.

intact: 초기 정상 상태,

cut popliteus: 슬와건을 절단한 후의 상태,

cut popliteus+LCL: 외측 측부 인대를 추가 절단한 후의 상태,

reconstruction: 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 상태.

초기 정상 상태를 기준으로 슬와건과 외측 측부 인대를 차례로 절단하였을 경우에 발생하는 슬관절의 내반 회전 각도의 증가 양상을 조사하면, 슬와건 단독 절단 시에는 슬관절 굴곡 각도 0°에서는 슬관절의 내반 회전 각도의 증가가 없는 것으로 관찰되었고 슬관절이 30° 이상 굴곡하면서 초기 정상 상태에 비하여 슬관절의 내반 회전 각도는 0.1°에서 0.3°의 작은 증가를 보였다. 외측 측부 인대를 추가로 절단한 경우에는 슬관절이 0°에서 30°로 굴곡하면서 초기 정상 상태에 비하여 슬관절의 내반 회전은 0.7°에서 1.8°로 증가하고 슬관절 굴곡 90°까지 유지되다가 슬관절 굴곡 90° 이후에 슬관절의 내반 회전의 증가는 감소하는 것으로 관찰되었다. 재건 수술을 시행한 후에 측정된 슬관절의 내반 회전 각도는 슬관절 굴곡 각도에 따라 증가하거나 감소한 것으로 관찰되었으나, 통계적인 차이는 없었다(그림 16).

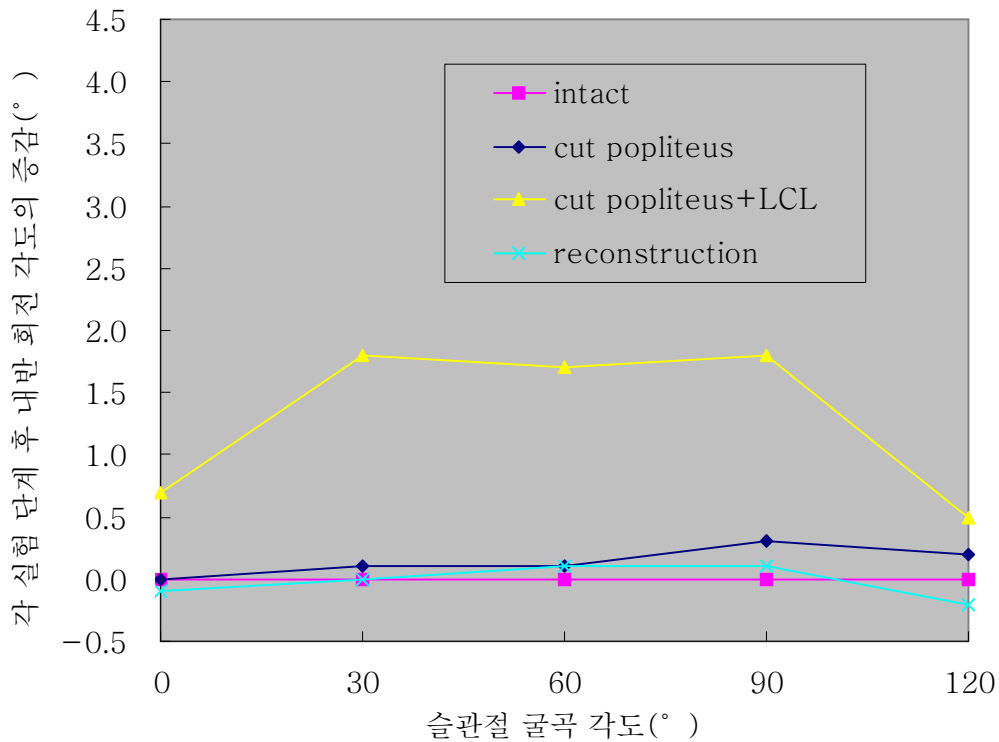


그림 16. 초기 정상 상태에 대한 각 실험 단계 후의 슬관절 내반 회전 각도의 증감.

intact: 초기 정상 상태,

cut popliteus: 슬와건을 절단한 후의 상태,

cut popliteus+LCL: 외측 측부 인대를 추가 절단한 후의 상태,

reconstruction: 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 후의 상태.

슬관절 내반 회전 각도는 초기 정상 상태, 슬와건만 절단한 경우, 외측 측부 인대를 추가 절단한 경우 모두에서 슬관절의 굴곡 각도가 증가함에 따라 점차적으로 증가하는 것으로 관찰되었고, 내반 회전 각도의 증가율은 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 절단된 상태에서 슬관절을 0° 에서 30° 로 굴곡시키는 구간에서 가장 큰 것으로 관찰되었다. 슬와건을 절단하였을 경우의 내반 회전 각도의 증가에 비하여 외측 측부 인대를 추가로 절단하였을 경우의 내반 회전 각도의 증가가 훨씬 큰 것으로 관찰되어, 내반 회전에 저항하는 데에는 외측 측부 인대가 슬와건에 비하여 많은 역할을 담당하는 것으로 관찰되었다.

따라서 슬와건과 외측 측부 인대는 경골에 가해지는 외회전력이나 슬관절에 가해지는 내반 회전력에 저항하는 후외측부의 주요 구조의 역할을 담당하고 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 본 연구에서 사용한 수술 방법은 슬관절의 후외측 불안정성이 유발된 슬관절을 초기 정상 상태로 회복시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 고찰

슬관절의 후외측 불안정성에 대한 생역학적 연구는 여러 연구자들에 의하여 이루어져왔다. 그러나 사체를 이용한 대부분의 연구는 대퇴와 하퇴의 중간 부분에서 절단한 슬관절을 사용하였으며, 이 중 일부 연구는 피부까지 보존한 상태에서, 일부는 피부와 근육 조직은 제거한 상태에서, 일부는 슬와건, 외측 측부 인대, 슬와비골 인대, 십자 인대, 반월상 연골 등 슬관절의 후외측 불안정성에 영향을 준다고 생각되는 주요 구조 이외의 조직을 제거한 상태에서 실험을 진행하였다.^{3,8,10,23} 그러나 현재까지 후외측 불안정성에 영향을 주는 정확한 구조와 그 구조가 어느 정도 영향을 주는지에 대하여 밝혀지지 않은 상태이므로, 제거한 구조물의 영향이 크지 않다고 하여도 정상적 슬관절과는 차이가 있을 것으로 생각하여 본 연구에서는 절단하고자 하는 구조 이외에는 손상을 최소화 하였다. 또한 외회전과 내반 회전을 주기 위하여 대퇴골과 경골을 실험 장치에 연결하여 고정하게 되는데, 고정을 위하여 경골과 비골을 함께 절단할 경우 원위부 경비 인대 결합이 제거되고, 이로 인하여 외회전력이나 내반력이 주어질 때 작지만 근위 경비 관절에 영향이 있을 것으로 생각한다. 이는 후외측 불안정성에 관여하는 외측 측부 인대와 슬와비골 인대가 비골두에 부착하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 외적 요인을 배제하기 위하여 조직 손상을 최소화하였고 원위 경비관절을 보존하기 위하여 경골과 비골을 중간 부위에서 절단하지 않고 족관절 이단술을 시행하여 실험하였다.

경골에 외회전력을 주었을 때 슬관절이 굴곡함에 따라 경골이 외회전 되는 정도를 살펴보면, 다른 연구에서는 초기 정상 상태의 경우 슬관절의 굴곡이 0° 인 상태에서 가장 적게 외회전 되었고 슬관절이 0° 에서 30° 로 굴곡함에 따라 외회전 되는 정도가 가장 크게 증가하는 것으로 보고되었으나, 슬관절을 굴곡 30° 에서 더욱 굴곡 시킬 경우에는 외회전 되는 정도가 점차 증가한다는 연구도 있었고, 비슷하게 유지 된다는 연구도 있었으며, 점차 감소한다는 보고도 있었다.^{3,8,10} 본 연구에서는 슬관절 굴곡 0° 에서 외회전이 10.8° 로 가장 작게 관찰 되었고, 슬관절 굴곡 30° 에서는 외회전이 17.8° 로 관찰되어 이 구간에서 가장 큰 증가율을 보이다가 슬

관절의 굴곡이 30° 를 넘었을 경우에는 외회전 되는 정도가 비슷한 것으로 관찰되었다. 슬와건을 절단한 후에 외회전 되는 정도를 보면, 슬관절 굴곡 0° 에서 120° 까지 모든 굴곡 각도에서 외회전 되는 정도가 초기 정상 상태에 비하여 증가된 것으로 관찰되었고, 외회전 되는 정도는 슬관절 굴곡 0° 와 30° 사이에서 가장 크게 증가하다가 슬관절을 30° 이상 굴곡 시킬 경우에는 외회전 되는 정도가 비슷한 것으로 관찰되었다. 외측 측부 인대를 추가로 절단한 후에 외회전 되는 정도를 보면, 슬관절 굴곡 0° 에서 120° 까지 모든 굴곡 각도에서 외회전 되는 정도가 슬와건만 절단한 경우에 비하여 더욱 증가된 것으로 관찰되었고, 외회전 되는 정도는 슬관절 굴곡 0° 와 30° 사이에서 가장 크게 증가하다가 슬관절을 30° 이상 굴곡 시킬 경우에는 외회전 되는 정도가 점차 감소하는 것으로 관찰되었다. 이 결과로 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 외회전 외력에 저항하는 구조의 역할을 담당하고 있다는 것을 알 수 있었다.

슬관절에 내반 회전력을 주었을 때 슬관절이 굴곡함에 따라 내반 회전 되는 정도를 살펴보면, 다른 연구에서는 초기 정상 상태의 경우 슬관절의 굴곡이 0° 인 상태에서 가장 적게 내반 회전 된다고 보고하였으나, 슬관절이 0° 에서 120° 로 굴곡함에 따라 내반 회전 되는 정도가 점차 증가한다는 연구도 있었고, 슬관절을 0° 에서 30° 로 굴곡시킴에 따라 내반 회전 되는 정도가 증가하다가 30° 이상 굴곡 시키면 점차 감소하는 것으로 나타난다고 보고한 연구도 있었다.^{3,8,10} 본 연구에서는 슬관절 굴곡 0° 에서 내반 회전이 가장 작은 것으로 관찰 되었고, 슬관절을 120° 까지 굴곡시킴에 따라 내반 회전은 점차로 증가하는 것으로 관찰되었고, 내반 회전의 증가율은 슬관절 굴곡 0° 에서 30° 사이 구간에서 가장 크게 나타났다. 슬와건을 절단한 후에 내반 회전 되는 정도를 보면, 슬관절 굴곡 0° 에서는 초기 정상 상태와 차이가 없는 것으로 나타났으나, 슬관절 굴곡 30° 에서 120° 구간에서는 증가된 것으로 나타났다. 그러나 증가된 정도는 크지 않은 것으로 관찰되었다. 외측 측부 인대를 추가로 절단한 후에 내반 회전 되는 정도를 보면, 슬관절 굴곡 0° 에서 120° 까지 모든 굴곡 각도에서 내반 회전 되는 정도가 슬와건만 절단한 경우에 비하여 더욱 증가된 것으로 관찰되었다. 따라서 내반 회전 외력이 슬관절에 가해졌을 때 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 저항하는 구조의 역할을 담당하고 있으나 슬와건에 비하여 외측 측부 인대가 주된 역할을 담당한다는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과를 다른 연구의 결과와 비교할 때, 슬관절 주위의 조직 손상을 최소화하고 족관절의 경비 인대 결합을 보존하여 실험한 것이 생체의 경우와 유사하다고 결론을 내리기는 어렵다고 생각한다. 왜냐하면 지금까지 진행되어 온 연구들이 서로 다른 조건에서 실험을 하였기 때문에 서로의 결과를 비교하는데 어려움이 있기 때문이다. 우선 외력으로 사용한 모멘트의 크기에 차이들이 있었고, 후외측 불안 정성을 유발하기 위하여 절단한 구조의 범위에 차이가 있었으며, 실험의 편리성을 위하여 제거한 조직에도 차이가 있었기 때문에 슬관절의 굴곡 각도에 따라 외회전이나 내반 회전되는 양상에도 차이들을 보였으며, 회전되는 양상은 유사하여도 회전되는 각도의 크기도 차이들을 보였다. 그러므로 서로의 연구 결과를 비교하기 위해서는 생체와 같은 슬관절의 조건을 만들기 위한 연구도 함께 진행되어야 한다고 생각한다.

김 등의 방법으로 후경골 건을 이용하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건하여 후외측 불안정성을 치료한 결과를 초기 정상 상태와 비교하였을 때, 슬관절의 모든 굴곡 각도에서 경골의 외회전 정도와 슬관절의 내반 회전 정도에 있어서 통계학적으로 차이가 없는 것으로 관찰되어, 본 연구에서 사용한 수술 방법이 후외측 불안정성이 있는 슬관절을 초기 정상 상태로 회복시킨다는 것을 알 수 있었다. 현재까지 후외측 불안정성을 수술적 방법으로 치료하기 위하여 여러 방법의 수술 술기가 보고되었으며, 이러한 수술 방법의 결과는 주로 임상적인 방법에 의하여 평가 되었다. 또한 후외측 불안정성에 대한 수술적 치료를 시작한 지 오래되지 않았고, 과거의 재건 방법의 많은 부분이 비해부학적 재건 방법이었으며, 장기 추시 결과가 많지 않은 상태에서 수술 방법의 유용성을 평가하는 데에는 한계가 있다고 생각한다. 본 연구에서 사용한 김 등의 수술 방법은 슬와건과 외측 측부 인대를 해부학적으로 재건하여 손상된 구조를 초기의 상태로 회복시키는 수술 방법으로, 장기 추시 결과는 발표되지 않은 상태이나 사체를 이용한 생역학적 평가에서 후외측 불안정성이 손상전의 상태로 회복되는 것으로 보아 임상적 적용에 있어서 유용할 것으로 생각한다.

아울러 새로운 수술 방법이 개발되었을 경우, 임상적 단기 추시 결과와 생역학적 평가가 병행된다면 장기 추시 결과를 예측하는데 도움이 되리라 생각한다.

V. 결론

정상 슬관절에 슬와건과 외측 측부 인대를 차례로 절단하여 후외측 불안정성을 유발한 후에 슬관절을 0°, 30°, 60°, 90°, 120°의 각도로 굴곡 시켜 가면서 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도의 변화를 측정된 결과, 슬와건을 절단하고 측정된 경골의 외회전 각도는 모든 슬관절 굴곡 각도에서 통계학적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 슬와건을 절단하고 측정된 슬관절의 내반 회전 각도는 슬관절 굴곡 0°에서만 초기의 상태와 비교하여 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, 다른 슬관절 굴곡 각도에서는 모두 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 외측 측부 인대를 추가로 절단하였을 경우는 모든 슬관절 굴곡 각도에서 경골의 외회전 각도와 슬관절의 내반 회전 각도 모두가 슬와건 단독 절단의 경우에 비하여 통계학적으로 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었다($p < 0.05$). 따라서 슬와건과 외측 측부 인대는 슬관절의 후외측 불안정성에 관여하는 중요한 구조물임을 알았다. 또한 경골의 외회전력에 저항하는 데에는 슬와건과 외측 측부 인대가 함께 역할을 담당하고 있는 것으로 관찰되었으며, 슬관절의 내반 회전력에 저항하는 데에는 외측 측부 인대가 슬와건보다 많은 역할을 담당하고 있는 것으로 관찰되었다.

또한 후외측 불안정성이 있는 슬관절에 대하여 후경골 건을 이용하여 슬와건과 외측 측부 인대를 재건한 결과를 사체를 이용한 생역학적 방법으로 실험한 결과, 초기 정상 상태와 수술 후의 상태 간에는 슬관절의 모든 각도에서 통계적으로 유의한 차이가 없었으므로($p < 0.05$) 슬관절의 후외측 불안정성이 있는 환자의 수술적 치료의 한 방법으로 유용함을 알았다.

참고문헌

1. Covey DC. Current concepts review. Injuries of the posterolateral corner of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:106-118.
2. Wadanabe Y, Moriya H, Takahashi K, Yamagata M, Sonoda M, Shimada Y, Tamaki T. Functional anatomy of the posterolateral structures of the knee. *Arthroscopy* 1993;9:57-62.
3. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:233-242.
4. Grood ES, Stowers SF, Noyes FR. Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:88-97.
5. Kaneda Y, Moriya H, Takahashi K, Shimada Y, Tamaki T. Experimental study on external tibial rotation of the knee. *Am J Sports Med* 1997;25:796-800.
6. Markolf KL, Wascher DC, Finerman GA. Direct in vitro measurement of forces in the cruciate ligaments. Part II: The effect of section of the posterolateral structures. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75:387-394.
7. Noyes FR, Stowers SF, Grood ES, Cummings J, VanGinkel LA. Posterior subluxations of the medial and lateral tibiofemoral compartments. An in vitro sectioning study in cadaveric knees. *Am J Sports Med* 1993;21:407-414.
8. Veltri DM, Deng XH, Torzilli PA, Warren RF, Maynard MJ. The role of the cruciate and posterolateral ligaments in stability of the knee. A biomechanical study. *Am J Sports Med* 1995;23:436-443.
9. Veltri DM, Deng XH, Torzilli PA, Maynard MJ, Warren RF. The role of the popliteofibular ligament in stability of the human knee. A biomechanical study. *Am J Sports Med* 1996;24:19-27.
10. Shahane SA, Ibbotson R, Strachan R, Bickerstaff DR. The popliteofibular ligament. An anatomical study of the posterolateral corner of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81:636-642.
11. Hughston JC, Jacobson KE. Chronic posterolateral instability of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1985;67:351-359.
12. Noyes FR, Barrber-Westin SD. Surgical restoration to treat chronic deficiency of the posterolateral complex and cruciate ligaments of the knee joint. *Am J Sports Med* 1996;24:415-426.
13. Noyes FR, Barrber-Westin SD. Surgical reconstruction of severe chronic posterolateral complex injuries of the knee using allograft tissues. *Am J Sports Med* 1995;23:2-12.

14. Clancy WG Jr, Sutherland TB. Combined posterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med* 1994;13:629–647.
15. Fanelli GC, Giannotti BF, Edson CJ. Arthroscopically assisted combined posterior cruciate ligament/posterior lateral complex reconstruction. *Arthroscopy* 1996;12:521–530.
16. Albright JP, Brown AW. Management of chronic posterolateral rotatory instability of the knee: surgical technique for the posterolateral corner sling procedure. *Instr Course Lect* 1998;47:369–378.
17. Veltri DM, Warren RF. Anatomy, biomechanics, and physical findings in posterolateral knee instability. *Clin Sports Med* 1994;13:599–614.
18. Latimer HA, Tibone JE, ElAttrache NS, McMahon PJ. Reconstruction of the lateral collateral ligament of the knee with patellar tendon allograft. Report of a new technique in combined ligament injuries. *Am J Sports Med* 1998;26:656–662.
19. Kim SJ, Shin SJ, Choi CH, Kim HC. Technical note. Reconstruction by biceps tendon rerouting for posterolateral rotatory instability of the knee: Modification of the Clancy technique. *Arthroscopy* 2001;17:664–667.
20. Santander JA, Iraporda HD. Technical note. Chronic posterolateral instability of the knee: A new surgical approach. *Arthroscopy* 2002;18:214–217.
21. Lee MC, Park YK, Lee SH, Jo HC, Seong SC. Technical note. Posterolateral reconstruction using split Achilles tendon allograft. *Arthroscopy* 2003;19:1043–1049.
22. Kim SJ, Park IS, Aheon YM, Ryu SW. Technical note. New technique for chronic posterolateral instability of the knee: Posterolateral reconstruction using the tibialis posterior tendon allograft. *Arthroscopy* 2004;20:195–200.
23. Pasque C, Noyes FR, Gibbons M, Grood E. The role of the popliteo-fibular ligament and the tendon of popliteus in providing stability in the human knee. *J Bone Joint Surg* 2002;85:292–298.

Abstract

The biomechanical evaluation of the posterolateral instability
of the knee after reconstructive surgery

Hyoung-Sik Kim

Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Sung-Jae Kim)

Numerous studies on the anatomical structures, functional mechanics of the posterolateral corner of the knee and various operative methods for posterolateral instability have been introduced because this instability can cause walking disability and articular cartilage degeneration. In the past, most biomechanical studies have been performed by using the knees which were transected at the mid-portion of the femur, tibia and fibula, and results of the operations were evaluated clinically. The aim of this study is to evaluate the roles of the structures influencing the posterolateral instability while preserving the structures around the knee and tibiofibular syndesmosis of the ankle of the fresh frozen cadaver and to determine the extent of recovery of the induced posterolateral instability biomechanically after reconstructive surgery.

The posterolateral instability was induced by transection of the popliteus tendons and the lateral collateral ligaments of the knees of 12 fresh frozen cadavers. First, the values of the tibial external rotation and the varus angulation at knee flexion angles of 0°, 30°, 60°, 90°, and 120° were checked at the initial intact state. The instability was measured after transection of the popliteus tendon and after the additional transection of the lateral collateral ligament. Afterwards, the extent of recovery was evaluated after anatomical reconstruction of both the popliteus tendon and the lateral collateral ligament by using the posterior tibialis tendon. The moment of the tibial external rotation was 5Nm and the moment of the varus angulation was 10Nm. The angle of rotation was measured 3 times for each angle.

After the transection of the popliteus tendon, the tibial external rotation showed a statistically significant increase for every angle of knee flexion

compared to the initial intact state($p<0.05$). Except for the knee flexion angle of 0° , the varus angulation also showed a statistically significant increase compared to the initial state ($p<0.05$).

After the additional transection of the lateral collateral ligament, both tibial external rotation and varus angulation showed a statistically significant increase at every knee flexion angle compared to the initial state ($p<0.05$). Therefore the popliteus tendon and the lateral collateral ligament prove to be important contributors to tibial external rotation. The lateral collateral ligament had greater resistance toward varus angulation than the popliteus tendon.

In addition, there was no significant difference in both tibial external rotation and varus angulation between the initial intact state of the knee and the postoperative state at all angles of knee flexion($p<0.05$). As a result, the reconstructive surgery used in this study proved to be a useful method for the treatment of patients with posterolateral instability of the knee.

Key Words: posterolateral instability, reconstruction, popliteus tendon, lateral collateral ligament, knee