

전방십자인대 재건술 - 잔류조직 보존술식 -

순천향대학교 의과대학 정형외과학교실

이병일 · 천동일

ACL Reconstruction - Remnant Preserving Technique -

Byung-Il Lee, M.D., Dong-Il Chun, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Soonchunhyang University Hospital, Seoul, Korea

Optimal treatment of the torn anterior cruciate ligament (ACL) remains controversial. The complexity of surgically reproducing the natural biomechanical and anatomical function of the ACL has led to a diversity of reconstructive procedures. Controversy continues to exist regarding the best reconstructive procedure for the ACL deficient knee, but currently, there is no ideal method. Because of the increased frequency of ACL injury and the functional impairment resulting from that, the role of mechanoreceptors in the ACL recently has attracted considerable attention. Proper reconstruction of the ruptured ACL does not always have good results. Success after operation may depend not only on the mechanical stability but also on the quality of recovery of proprioception. It is well known that most ACL are ruptured in proximal half and most mechanoreceptors have been reported to be located in the subsynovial layer and near the tibial insertion of the ACL. Expected roles of tibial remnant is to enhance the revascularization and cellular proliferation of the graft, to preserve proprioceptive function, and to be able to acquire anatomical placement of the graft without roof impingement. The remnant of the ruptured ACL has been removed to clearly visualize the ACL footprint or decrease the risk of impingement and Cyclops lesion in most current techniques for ACL reconstruction. Therefore it seems reasonable to assume that preserving the tibial remnant as much as possible as a source of reinnervation, if technically possible without causing impingement, would be of potential benefit to the patient. In addition, it will facilitate the vascular ingrowth and ligamentization of the grafted ACL.

서 론

슬관절의 전방 십자인대 파열시 관절의 안정성을 확보하여 기능을 회복시키고, 퇴행 변화로의 예방을 위하여 수술적 치료로 재건술을 시행하며 대부분 만족할 만한 결과를 보고하고 있다. 그러나 지금까지 전방 십자인대 재건술은 기계적 안정성에 주로 그 초점이 맞추어져 발전해 왔으나, 그 결과 성공적인 재건술로 기계적으로 안정화되었음에도 불구하고 기능적 향상 정도가 기계적 안정성 회복 정도에 미치지 못하게 되

는 경우들을 경험하게 된다. 따라서 근래 기계적 안정성 뿐 아니라 생물학적 측면을 고려한 재건술식에 대한 다양한 연구가 시도되고 있다. 그 중 관절내 고유수용감각(proprioception)에 대한 관심 및 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고 이러한 연구에서 기계적 안정성과 함께 고유수용감각의 회복정도가 재건술후 기능적 결과에 영향을 미칠 것으로 추측하고 있다¹⁾. Sherman 등²⁾은 대부분의 전방 십자인대 파열은 근위부에서 발생된다고 보고하였고, Schutte 등³⁾은 전방십자인대의 기계적 수용체(mechanoreceptor)가 경골부 착부 인대주위의 활액막하층에서 발견된다고 하였다.

사람의 파열된 전방십자인대를 대상으로 한 기계적 수용체에 대하여는 Denti 등⁴⁾이 gold chloride 염색을 이용하여 최초로 보고하였고, Georgoulis 등⁵⁾은 파열된 전방십자인대가 후방십자인대 조직에 유착되어 있는 경우 약 3년이 지난 후에도 기계적 수용체가 존재한다고 하였다. Adachi 등⁶⁾은 전방

* Address reprint request to
Dong Il Chun, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Soonchunhyang University, 22 Daesagwan-gil, Yongsan-gu, Seoul, Korea
Tel: 82-2-709-9250. Fax: 82-2-794-9414
E-mail: orthochun@hosp.sch.ac.kr

십자인대의 부분손상시 손상받지 않은 다발 내에 기계적 수용체의 존재와 이러한 기계적 수용체의 숫자와 고유수용감각의 기능과의 연관성을 보고하였다. 이 등^{11,16)}은 고유수용체를 보존하기 위하여 전방십자인대 재건술 시 파열된 인대의 활액막을 포함한 잔류조직을 가능한 많이 보존하는 술 식을 고안하고 경골 부착부 잔류조직의 보존 여부에 따른 임상 결과를 분석하여 그 유용성에 대한 보고를 한 바 있다.

이에 저자들은 이 술 식에 대한 수술 기법, 임상결과, 면역조직화학염색법을 이용한 잔류조직내 기계적 수용체의 존재 여부, 추시 관절경 소견, 잔류조직의 경골터널 확장에 대한 영향 등에 대하여 문헌 고찰과 함께 기술하고자 한다.

1. 수술방법

기존 수술방법은 술 후 Cyclops 병변의 발생을 방지하기 위해 파열된 인대의 잔류조직을 완전히 제거한 후 이식건을 고정하는 것이 일반적으로 되어 있으며 그로 인해 잔류조직내의 기계적 수용체는 보존되지 못하였다. Ochi 등¹⁶⁾은 전방십자인대 부분파열시 손상받지 않은 다발내의 기계적 수용체가 남아있다는 Adachi 등¹⁷⁾의 보고를 근거로 부분파열인 환자에서 전내측 다발 손상시는 전내측 다발 보강술을, 후외측 다발 손상시는 후외측 다발 보강술을 시행하였다. 그러나 적응증이 부분파열인 경우에 한하며 전체 재건술의 약 10%에서 해당이 된다 하였다. 하지만 과간 절흔에 감입되지 않도록 잔류조직을 보존하며 시행되는 완전 파열된 전방십자인대 재



Fig. 1. Anterior circles are the point of tibial tunnel of remnant preserving technique. And posterior circle is point of the tibial tunnel of conventional technique.



Fig. 2. Note the probe tip through the center of the tibial remnant.

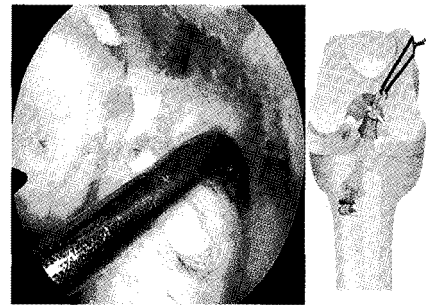


Fig. 3. The sutures are tied and staple fixation is performed under proper tension in a belt-buckle fashion. The remnant is retracted medially with a probe.

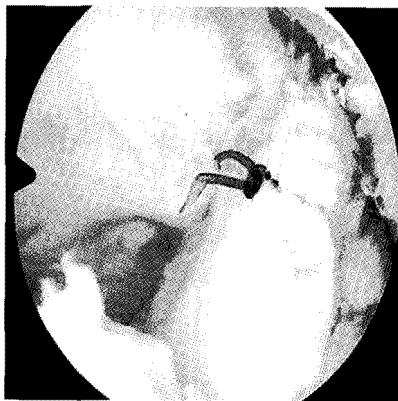


Fig. 4. If the tibial remnant is torn, an arthroscopic suture repair can be added.

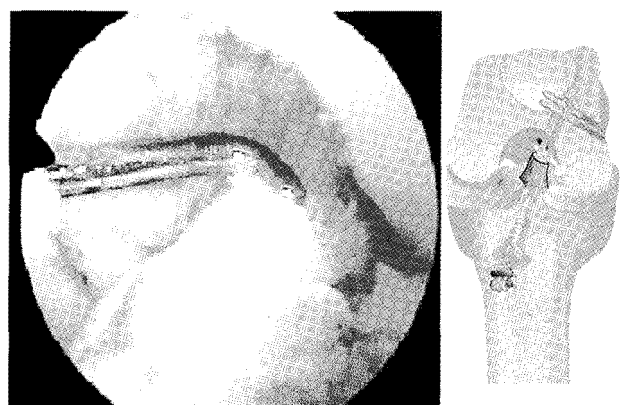


Fig. 5. The schema and arthroscopic finding of ACL reconstruction using absorbable cross pin system (RIGIDfix) and quadruple hamstring autograft with tibial remnant preserving technique. The probe demonstrates the border of graft & remnant.

건술에 대한 보고는 아직 없었으나 이 등¹⁶⁾은 슬관절을 사용하면서 완전파열시 활액막을 포함한 경골부착부 잔류조직의 중심으로 이식건을 통과시켜 잔류조직을 효과적으로 보존함

으로써 고유수용체의 기능을 유지시키며 활액막으로부터의 혈관재형성을 촉진시켜 이식건의 인대화에 도움을 주는 술기를 보고하였다.



Fig. 6. Histological appearance of mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL specimens: (A) round Ruffini corpuscle, (B) fusiform Golgi corpuscle, (C) elongated Golgi corpuscle with degeneration (immunohistochemistry for neurofilament, x200).

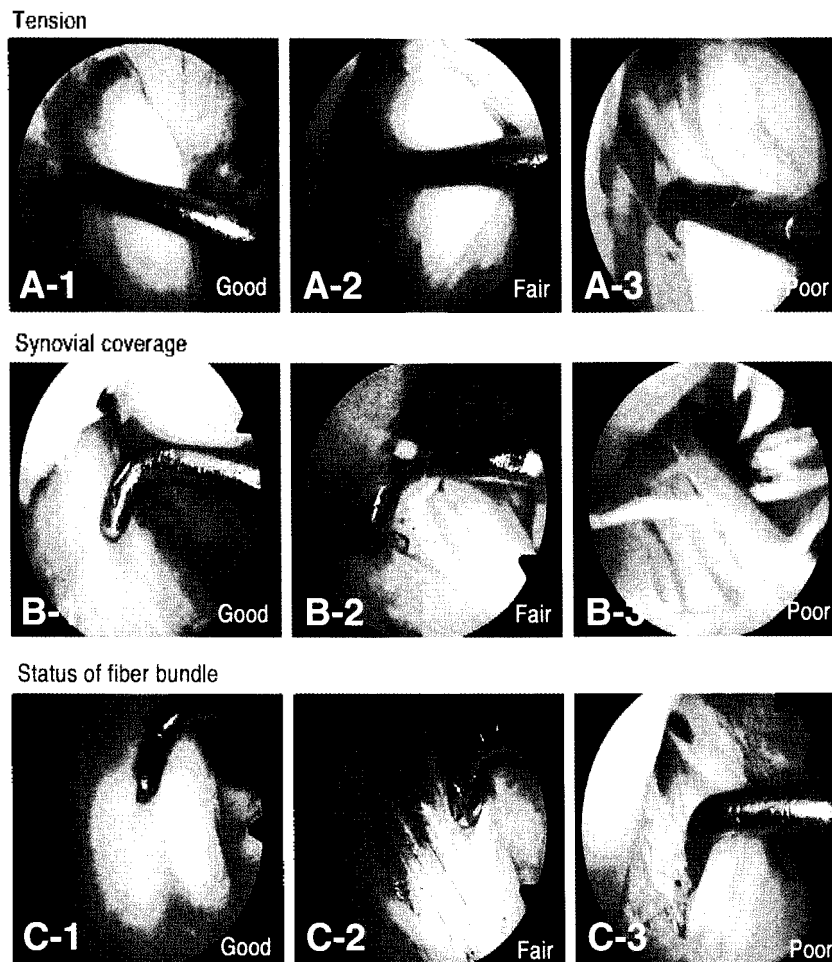


Fig. 7. (A) Arthroscopic classification of transplanted grafts based on graft tension. (A-1) A taut graft is evaluated as good, (A-2) a mild lax graft is fair, and (A-3) a lax graft is poor. (B) Arthroscopic classification of transplanted grafts based on synovial coverage. (B-1) A graft of complete covered synovium is evaluated as good, (B-2) a graft of incomplete covered synovium is fair, and (B-3) a graft of no covered synovium is poor. (C) Arthroscopic classification of transplanted grafts based on status of fiber bundle. (C-1) A graft with invisible graft bundle is evaluated as good, (C-2) a graft with visible graft bundle without rupture is fair, and (C-3) a graft with visible bundle with rupture is poor.

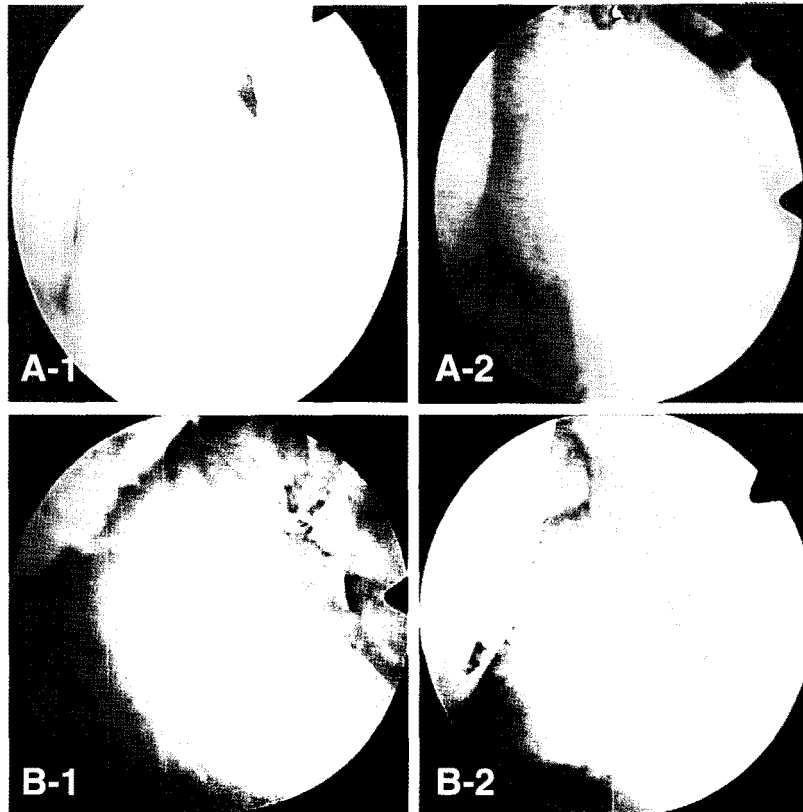


Fig. 8. 2nd look arthroscopic findings of the grafts with (A) conventional technique, it shows taut graft with visible fiber bundles in thin synovium, and (B) remnant preserving technique, it shows taut graft with invisible fiber bundle due to thick synovium and remnant.

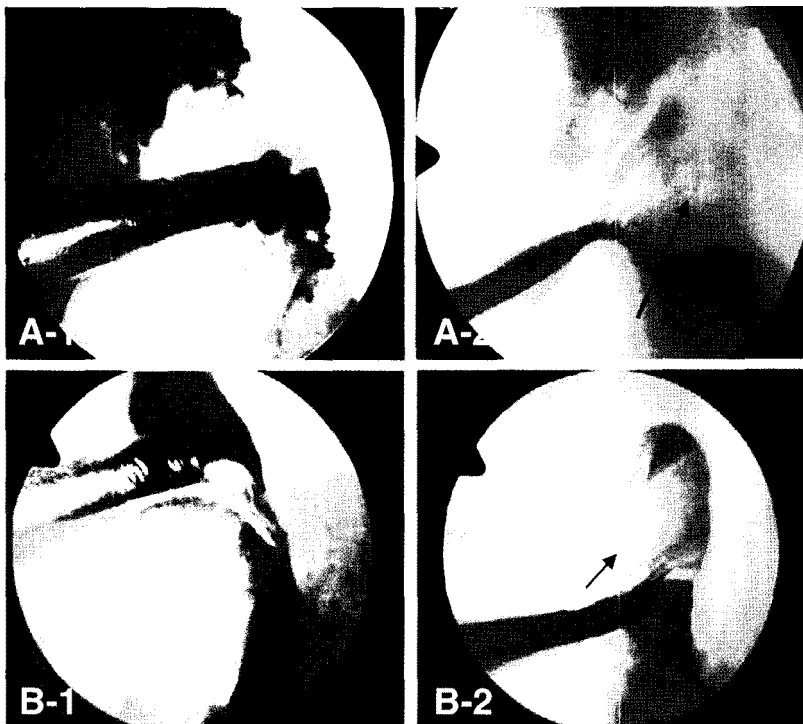


Fig. 9. Arthroscopic findings of regeneration of something similar to PL bundles. (A-1, B-1) Just post. Op. arthroscopic findings show no PL bundle, (A-2, B-2) 2nd look arthroscopic findings show regeneration of something similar to PL bundle.

이 등¹⁸⁾의 방법은 관절경 검사로 관절내 병변과 전방 십자인대의 파열 양상을 확인하고 경골 근위부 전내측 피부를 절개하여 자가 반건양건 또는 반건양건과 박건을 채취하여 두 가닥 또는 네 가닥의 이식물로 준비하고 직경을 측정하였다. 경골터널은 일반적으로 과간절흔의 충돌을 피하기 위해 후방에 위치시키나 본 술식은 가능하면 foot print.의 중앙에 유도강선을 위치시키며 터널이 foot print안에만 있으면 되므로 다소간의 오차는 허용된다(Fig. 1). 경골터널은 채취된 슬관절의 직경과 같은 크기로 만들었으며, 확공기로 원위 피질골 관통과 동시에 확공기를 멈추어 가능한 한 잔류조직을 손상시키지 않도록 하면서 잔류조직의 중심부를 탐침 등을 통해 통과시켜 확인한다(Fig. 2). 대퇴부는 전내측 입구(anteromedial portal)를 통해 이식건의 직경과 동일한 curved curette를 넣어 대퇴 부착부의 유도강선을 따라 약 2 cm 이상 길이의 소켓(socket)을 만든 후 봉합사를 통해 이식건을 잔류조직의 중심을 통과시켜 고정시킨다(Fig. 3). 그리고 경우에 따라서 잔류조직이 파열되거나 불안정한 경우 봉합술을 동반할 수 있다(Fig. 4).

본 술식의 기대되는 장점으로는 잔류조직의 중심부로 이식건을 통과시켜 잔류조직의 활액막증식과 재혈관화를 촉진시킬 수 있어 인대화 기간을 단축시키고, 잔류조직내의 기계적 수용체를 보존하여 술 후 환자의 고유수용감각 및 만족도를 높일 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 술식의 제한점은 봉합사의 이완에 의해 이식건과 골터널사이의 유합이 지연되거나 불안정할 수 있고²⁴⁾, 인대-골 유합이 완전히 형성되기 전에 골터널의 확장이 일어나 고정력이 약화될 가능성이 있으며²⁵⁾, 대퇴소켓을 만들 때 curette를 이용하기 때문에 일정한 직경 및 길이의 소켓을 만들기 어렵다는 점이 있고, 이식건을 경골 터널에 고정할 때 일정한 긴장도를 유지하지 못하여, 증례에 따라 다른 강도로 고정되므로 다소간 객관적이지 못한 문제가 있어²⁶⁾, 근대에는 객관성을 얻기 위해 대퇴부의 고정은 흡수성 링 고정핀(RIGIDfix ACL cross pin system, Mitek[®], USA)을 사용하였고, 대퇴 소켓의 깊이는 대퇴골 터널 유도활을 이용하여 3 cm으로 일정하게 유지하였으며, 이식건의 경골 터널

고정 시 긴장도를 객관화하기 위하여 긴장기를 30 lbs로 일정하게 유지하면서 고정하는 술식을 사용하고 있다(Fig. 5).

2. 임상결과

현재 사용중인 이식건을 이용한 재건술은 기계적 안정성을 회복시켜줄 수는 있으나 고유수용감각기능에 대해서는 이식건의 재신경형성에 의한 자연치유에만 의존하는 상태이다. 재건술 시행 후 인대화 과정중 기계적 수용체의 재생에 대한 보고는 있으나 대부분 동물실험에 국한되어 있으며^{26,27,28)}, Ochi 등^{19,20)}은 인체에서 somatosensory evoked potentials (SEPs)를 이용하여 그 존재를 확인하였으나, 기능적 유용성에 대해서는 아직 논란의 여지가 많다. Kennedy 등¹⁸⁾은 전방십자인대 손상시 고유수용감각의 소실에 따른 관절 불안정성 및 이차적 손상에 대해 강조하였고 일부 저자들은 전방십자인대 재건술 후 관절의 이완도나 평가 점수가 환자의 만족도나 슬관절의 기능 회복 정도와 항상 일치하지는 않는다고 보고하였다²⁹⁾.

즉 재건술의 성공여부는 기계적 요소 뿐 아니라 고유수용감각기능의 회복 정도와도 밀접한 관련이 있다^{12,30)}. 이에 이 등¹⁸⁾은 전방십자인대 재건술시 파열된 인대의 활액막을 포함한 경골 부착부 잔류조직을 보존하는 술기를 시행하고 수술 소견상 잔류조직의 보존 정도에 따른 임상결과를 분석하여, 고유수용감각 검사상 운동역치검사에서 30도 시작시(P=0.031), 위치재생 검사에서는 15도(P=0.032) 및 30도 재생시(P=0.024)에, 7 mm(전방십자인대 길이의 약 20%)이상의 잔류조직 보존군에서 통계학적 유의성이 있는 양호한 결과를 얻었고, 기능적 검사인 single leg hop test에서도 잔류조직 보존군에서 좀더 양호한 결과를 얻어(P=0.017), 전방십자인대 재건술시 가능하면 잔류조직을 최대한 보존하여 상대적으로 고유수용감각의 회복과 만족스러운 임상결과를 얻을 수 있다고 하였다.

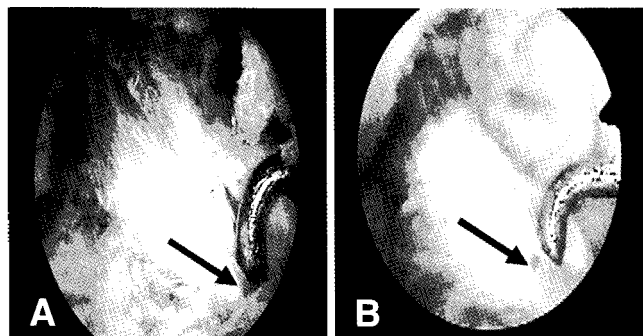


Fig. 10. Arthroscopic photographs of the grafts (A) without ACL remnant. The arrow shows the leakage of synovial fluid through the tunnel. Arthroscopic photograph of the graft (B) within ACL remnant. The arrow shows that the remnant prevents the leakage of synovial fluid.

3. 잔류조직 내 기계적 수용체에 대한 연구

사람의 전방 십자인대 내 기계적 수용체의 존재는 여러 연구자들이 보고하였으며^{82),83)}, 고유수용감을 담당하는 기계적 수용체의 위치는 대퇴 및 경골 부착부의 활액막하층에 주로 분포하는 것으로 알려져 있다. 임상적으로 전방 십자인대 파열은 대퇴 부착부⁸⁴⁾ 또는 인대 실질 내에서의 파열이 많으므로 전방십자인대의 경골 부착부의 잔류조직 내에는 기계적 수용체가 남아 있을 것으로 추정된다.

고유수용감각은 그 기능을 측정하는 임상적 검사들¹⁴⁰⁾이 다양하게 고안되어 있으나, 고유수용감각 기전 자체의 복잡성 때문에 측정시 변수가 많고 결과의 분석에도 문제가 있는 것으로 알려져있다⁸⁴⁾. 따라서 보다 직접적인 방법으로 조직 내에서 고유수용감각 기능을 담당하는 기계적 수용체의 존재를 규명하는 것이 보다 객관적인 증거가 될 수 있을 것이다. 이 등¹⁴¹⁾은 사람의 전방십자인대 파열 후 남아있는 잔류조직을 표본으로 하여 기계적 수용체의 존재를 규명하고자 하였으며, 기존의 많은 연구자들이 이용하였던 도금 염색법⁸⁵⁾은 신경섬유 이외의 섬유도 비특이적으로 염색되어 신빙성이 높지 않아⁸⁶⁾ 신경섬유에 대한 특이적 항체를 이용하는, 면역조직화학 염색법 등을 이용하여 분석하였다.

그 결과 잔류조직 총 36예 중 12예(33.3%)에서 총 17개의 기계적 수용체를 관찰하였으며, 17개중 12개는 방추형의 Golgi소체(fusiform Golgi Corpuscles)였고, 5개는 난원형의 Ruffini소체였다(Fig. 6). 그러나 12에 이외의 잔류조직에는 기계적 수용체가 없다는 뜻이 아니며 파열된 잔류조직의 양이 적고 표본채취시 손상되었거나 또는 수상 후 시간이 경과함에 따라 소멸되기 때문에 기계적 수용체가 관찰되지 않았을 가능성도 있다고 하였다. 결과적으로 외상에 의한 전방십자인대 손상 후 경골 부착부 잔류조직 내에 기계적 수용체가 일부 소멸되지 않고 잔존함을 볼 때, 재건술 시 경골 부착부 잔류조직을 보존해 주는 것이 고유수용감각 기능의 회복에 도움이 될 것으로 생각된다.

4. 추시 관절경 소견

전방십자인대 재건술 후 2차 추시관절경 소견에 대한 연구에서, Otsubo 등⁸⁰⁾은 재건인대의 형태에 따라 tension, synovialization등으로 나누어 good, fair, poor로 평가 하였으며, 안 등⁸¹⁾은 2차 추시 관절경 소견을 형태적으로 tension의 경우 mildly lax, nearly normal로, synovialization의 경우 fair, poor로 분류 평가하였다.

저자들은 전방십자인대 재건술시 잔류조직보존유무에 따른 2차 추시 관절경소견을 비교 분석하였으며, 이식건의 형태를 tension, synovial coverage, status of fiber bundle의 3항목으로 분석하였다. Tension은 관절경 검사 상 경골을 전방진 위한 상태에서 긴장된 이식건을 probe로 긴장상태를 확인하

였으며, synovial coverage는 이식건에대한 활액막의 피복 정도로, status of fiber bundle의 경우는 이식건 bundle의 상태를 관절경검사로 평가하여 각각의 상태를 그 양상에 따라 good, fair, poor로 나누었다(Fig. 7). 그리고 추시 기간과 이식건의 형태와의 관계는 good을 3점, fair를 2점, poor를 1점으로 하여 각 기간에 해당하는 점수의 합을 평균하여 3항목을 비교평가 하였으며 tension을 제외한 synovial coverage와 status of fiber bundle에서는 잔류조직 보존군에서 술 후 회복이 빠른 결과를 얻었다.

추시 관절경 소견상 일반적으로 잔류조직 보존군이 활액막 피복, 혈관 재형성 등 인대화 과정이 잔류조직 제거군에 비하여 빠른 소견이 있었으며, 활액막 피복의 양상이 잔류조직 보존군에서는 두꺼워 활액막을 통해 섬유다발의 모양을 볼 수 없으나, 잔류조직 제거군에서는 활액막 피복이 얇아 섬유다발의 모양을 쉽게 볼 수 있는 경향이 있었다(Fig. 8). 특히 이 연구에서 아직까지는 명확하지는 않지만, 추시관절경 소견에서 술 후에는 볼 수 없었던 후외측 다발과 상당히 유사한 소견이 보이는 경우가 있어(Fig. 9) 인대화 과정에서 후외측 다발의 재생가능성이 있어 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다

5. 경골터널 확장에 대한 잔류조직 보존의 효과

Hoher 등¹⁴⁾은 골터널 확장의 원인을 생물학적 인자와 생역학적 인자로 구분하였는데, 생물학적 인자로는 이식물에 대한 면역반응, cytokine등에 의한 비특이적 염증반응, 터널 내 독성 잔류물질로 인한 세포괴사, 확공시 발열 반응에 의한 세포괴사, 이식건 재형성 과정에서의 세포괴사 등을 기술하였고, 생역학적 인자로는 터널 벽의 반복적 자극에 의한 박탈, 이식건-터널 간 미세운동, 과도한 초기의 적극적 재활 치료, 부적절한 이식건 위치에 따른 과도한 긴장부하 등을 기술 하였다.

따라서 전방 십자인대 재건술 후 활액이 골 터널 내로 유입되어 활액 내에 포함되어 있는 cytokine에 의해 골 흡수가 일어날 수 있는 이론적 배경의 근거가 될 수 있다(synovial bathing effect)^{74),77)}. 생물학적 인자인 cytokine에 대하여 최근 Cameron 등⁸⁾은 전방 십자인대 재건술 직후 및 수 주 동안 활액에서 TNF- α , IL-1 β , IL-6와 같은 cytokine의 증가를 보고하였고, Van den Berg⁸⁶⁾는 IL-1이 관절염에서 연골괴괴의 중요 매개체이며 이는 연골세포의 proteoglycan 합성을 억제하고 destructive protease를 분비하여 연골세포를 자극한다고 하였는데 이와 비슷한 기능을 하는 인자로는 TNF- α , LIF (leukemia inhibitory factor), IL-17이 포함된다고 하였다

이에 저자들은 경골 부착부 잔류조직 보존 술식을 사용시 이식건은 잔류조직 내경을 통과 함으로써 잔류조직과 이식건 간의 밀착 효과를 얻을 수 있어 잔류조직 자체가 일종의 check-valve 역할을 하여 경골 터널 내로의 활액 유입을 차

단 함으로써 cytokine의 골 흡수 작용을 감소시킬 수 있다는 가정을 하게 되었고, 경골터널 확장 정도에 대한 비교 연구에서 단순 방사선학적 계측 결과를 분석하여 본 바 잔류조직 보존술식에서 경골터널의 확장이 감소되었음을 확인하였으며 이는 전방십자인대 파열시 남아 있는 잔류조직은 생물학적 인자인 활액의 유입을 차단하는 역할을 하여 골 흡수를 억제하고 따라서 이식건과 경골터널 간의 치유를 촉진하는 매개 역할을 하는 것으로 보인다(Fig. 10). 따라서 잔류조직 보존술식은 기계적 안정성 뿐만 아니라 생물학적 및 기능적 결과를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

저자들은 전방 십자인대 재건술에서 잔류조직 보존 술식과 제거 술식 간의 차이점을 비교 연구한 결과 전방십자인대 재건술 시 전방십자인대 잔류조직의 보존은 여러면에서 장점이 많아 가능하면 잔류조직을 최대한 보존하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Ahn JH, Yoo JC, Yang HS, Kim JH and Wang JH: Second-look arthroscopic findings of 208 patients after ACL reconstruction. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 15: 242-248, 2007.
- 2) Aune AK, Hukkanen M, Madsen JK, Polak JM and Nordsletten L: Nerve regeneration during patellar tendon autograft remodelling after anterior cruciate ligament reconstruction: an experimental and clinical study. *J Orthop Res.* 14: 193-199, 1996.
- 3) Adachi NA, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Ryoike K and Kurikawa M: Mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament contribute to the joint position sense. *Acta Orthop Scand.* 73: 330-334, 2002.
- 4) Barrett DS, Cobb AG and Bently G: Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg.* 73-B: 53-56, 1991.
- 5) Cameron M, Buchgraber A, Passler H, et al.: The natural history of the anterior cruciate ligament-deficient knee. Changes in synovial fluid cytokine and keratan sulfate concentrations. *Am J Sports Med.* 25: 751-754, 1997.
- 6) Denti M, Monteleone M, Berardi A and Panni AS: Anterior cruciate ligament mechanoreceptors: histologic studies on lesions and reconstruction. *J Orthop Res.* 308: 29-32, 1994.
- 7) Fahey M and Indelicato PA: Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament replacement. *Am J Sports Med.* 22: 410-414, 1994.
- 8) Friden T, Roberts D, Ageberg E, Walden M and Zatterstrom R: Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J Orthop Sports Phys Ther.* 31: 567-576, 2001.
- 9) Georgoulis AD, Pappa L, Mochius U, Malamou-Mitsi V, Papaqorgiou CO and Soucacos PN: The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 9(6): 364-368, 2001.
- 10) Hogervorst T and Brand RA: Current concepts review. Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg.* 80-A: 1365-1378, 1998.
- 11) Hoher J, Moller HD and Fu FH: BONE tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 6: 231-240, 1998.
- 12) Kennedy JC, Alexander IJ and Hayes KC: Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am J Sports Med.* 10: 329-335, 1982.
- 13) Krauspe BR, Schmidt M and Schaible HG: Sensory innervation of the anterior cruciate ligament: an electrophysiological study of the response properties of single identified mechanoreceptors in the cat. *J Bone Joint Surg.* 74-A: 390-397, 1992.
- 14) Lee BI, Kwon SW, Kim JB, Choi HS, and Min KD: Comparison of clinical results according to amount of preserved remnant in arthroscopic ACL reconstruction using quadrupled hamstring graft. *Arthroscopy.* 24: 560-568, 2008.
- 15) Lee BI, Min KD, Choi HS, Kwon SW, Yoo JH, and Chun DI: Immunohistochemical study of mechanoreceptors in the tibial remnant of the ruptured anterior cruciate ligament in human knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* published online: 16 June 2009.
- 16) Lee BI, Min KD, Choi HS, Kim JB, and Kim ST: Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with the tibial remnant preserving technique using a hamstring graft. *Arthroscopy.* 22: 340e1-340e7, 2006.
- 17) L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH and Harner CD: Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 5: 234-238, 1997.
- 18) Ochi M, Adacji N, Deie M and Kanaya A: Anterior cruciate ligament augmentation procedure with a 1-incision technique: anteromedial bundle or posterolateral bundle reconstruction. *Arthroscopy.* 22(4): e 1 463-463 e5., 2006.
- 19) Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, Adachi N and Sumen Y: The regeneration of sensory neurons in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg.* 81-B:

902-906, 1999.

- 20) **Otsubo H, Shino K, Nakamura N, Nakata K, Nakagawa S and Koyanagi M:** Arthroscopic evaluation of ACL grafts reconstructed with the anatomical two-bundle technique using hamstring tendon autograft. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*, 15: 720-728, 2007.
- 21) **Sherman MF, Lieber L, Bonamo JR, Podesta L and Reiter I:** The long-term follow up of primary anterior cruciate ligament repair: Defining a rationale for augmentation. *Am J Sports Med*, 19: 243-255, 1991.
- 22) **Schutte MJ, Dabezies J, Zimny ML and Happel LT:** Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 69-A: 243-247, 1987.
- 23) **Shimizu T, Takahashi T, Wada Y, Tanaka M, Morisawa Y and Yamamoto H:** Regeneration process of mechanoreceptors in the reconstructed anterior cruciate ligament. *Arch Orthop Trauma Surg*, 119: 405-409, 1999.
- 24) **Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Komatsu T and Tokuya S:** Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. *Am J Sports Med*, 29:83-87, 2001.
- 25) **Valeriani M, Restuccia D, Di Lazzaro V, et al.:** Clinical and neurophysiological abnormalities before and after reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Acta Neurol Scand*, 99: 303-307, 1999.
- 26) **Van den Berg WB:** The role of cytokines and growth factors in cartilage destruction in osteoarthritis and rheumatoid arthritis. *Z Rheumatol*, 58: 136-141, 1999.
- 27) **Wada Y, Takahashi T, Michinaka Y, Morisawa Y and Yamamoto H:** Mechanoreceptors of patellar tendon used for ACL reconstruction. *Acta Orthop Scand*, 68: 559-562, 1997.
- 28) **Yoshiya S, Andrish JT, Manley MT and Bauer TW:** Graft tension in anterior cruciate ligament reconstruction. An in vivo study in dogs. *Am J Sports Med*, 15: 464-479, 1987.