

Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament of the Knee

전방십자인대 재건술 시 이식건의 선택과 고정

김두한 · 배기철[✉] · 최병찬

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

Graft Selection and Fixation in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Du-Han Kim, M.D., Ki-Cheor Bae, M.D.[✉], and Byung-Chan Choi, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

Anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is a successful procedure independently by patient selection, timing of surgery, surgical technique, choice of graft, and fixation methods. Among these factors, graft selection and fixation methods might be the most critical yet controversial questions for surgeons. Although recent studies showed that grafts have advantages and drawbacks, there is still no ideal graft. Similarly, many fixation methods of femoral and tibial tunnels have been proposed over the last few decades, with no clear superiority of one technique over another. Surgeons should be familiar with a variety of grafts, fixation techniques, and their specific associated surgical procedures as well as the advantages and disadvantages of each. Therefore, this article summarizes the current literature and discusses the current state of graft selection and fixation methods in the treatment of an ACL injury.

Key words: anterior cruciate ligament, reconstruction, autografts, allografts, fixation

서론

스포츠 인구가 늘어감에 따라 스포츠 관련 부상은 점차 늘고 있다. 2017년 미국의 한 역학 연구에 의하면 그중 전방십자인대 부상은 무릎 관련 스포츠 부상의 약 50% 가까이 차지하고 있고 해마다 1조 달러의 의료비용을 전방십자인대부상으로 인해 소모하고 있는 것으로 보고하였다.¹⁾ 고도의 불안정성을 초래하는 전방십자인대의 손상이 있을 시 비수술적 치료를 하게 되면 무릎의 불안정성이 지속되어 이차적인 반월판연골 및 연골 손상 등으로 인해 정상적인 활동을 하기 힘들고 관절염의 진행도 가속화시킬

가능성이 있어 젊고 활동력이 높은 환자들은 수술적 치료가 우선시되고 있다.²⁾ 전방십자인대 파열 후 수술 방법으로 internal brace 등을 이용한 봉합술은 결과에 대한 근거가 아직 부족하여 많이 시행되고 있지 않고, 자가건 또는 타가건을 이용한 재건술이 현재 최적 표준치료법(gold standard)로 시행되고 있다.^{3,4)}

전방십자인대 재건술을 시행할 때, 수술 방법뿐만 아니라 수술 시 사용하게 될 이식건의 선택 및 고정 방법을 결정하는 것 또한 수술 전 계획에 있어서 무엇보다도 중요하다. 현재 사용되어지고 있는 이식건은 자가건과 동종건, 인공인대가 있는데 인공 인대는 실패율이 높고 실패 시 관절 내 활액막염과 이물반응을 유발할 수 있어 최근에는 활용 빈도가 높지 않다.⁵⁾ 이식건의 고정 방법에 있어서도 다양한 방법이 소개되고 있으며 현재 정형외과 영역에서 임상적 및 생역학적인 결과에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이에 본 종설은 현재 전방십자인대 재건술 시 사용되고 있는 이식건과 고정 방법에 대하여 기술하였다.

Received December 22, 2019 Revised February 2, 2020

Accepted February 4, 2020

[✉]Correspondence to: Ki-Cheor Bae, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Keimyung University School of Medicine, 1035 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Korea

TEL: +82-53-258-4772 FAX: +82-53-258-4773 E-mail: bkc@dsmc.or.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4363-0956>

이식건의 선택

전방십자인대 재건술에서의 이식건은 환자 본인에게서 채취한 자가건과 사체에서 기증받은 동종건이 모두 사용 가능하다. 이식건을 선택함에 있어서 환자의 나이 및 현재 활동 상태, 직업 및 취미, 비용 등 여러가지 상황을 고려하여 선택해야 하지만 어떤 이식건을 사용할 것인가에 대해서는 아직 많은 논의가 필요하다.

자가건의 장점은 누구에게나 적용이 가능하며, 거부반응이 없고, 감염 등의 위험성이 낮다는 것이지만 수술 시간이 길어지고, 사용 가능한 조직의 크기와 양이 한정된다는 점, 건 채취 방법에 대해 술자가 정확히 알고 충분한 경험이 있어야 한다는 점, 공여부 부위에 합병증이 생길 수 있다는 단점이 있다.⁶⁾ 타가건은 공여부 합병증이 없어 회복시간이 빠르고, 수술 부위 절개선이 작으며, 이식건의 길이를 편하게 조절할 수 있고 수술 시간이 짧다는 장점이 있으나 자가건에 비해서 혈관형성의 지연으로 인해 리모델링(remodeling)이 늦으며, 재파열의 빈도가 높고, 질병의 전파 등의 단점이 보고되고 있다.⁶⁾ 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 자가건은 슬건, 슬개건, 대퇴사두건 등이 있다.

자가 슬건

자가 슬건(반건양건과 박건)을 이용한 전방십자인대 재건술의 시행 빈도는 자가건을 이용한 재건술 중에서는 가장 높게 보고되고 있다.^{7,8)} 그 이유는 이식건의 채취가 비교적 쉽고 다른 자가건을 사용하였을 때보다 합병증이 더 적기 때문이다.⁹⁾ 자가 슬건 4가닥을 이용하였을 때 이식건의 실패 강도는 약 4,590 N으로 정상 전방십자인대의 강도인 약 2,160 N에 비해 2배 이상 강한 것으로 알려져 있는데^{10,11)} 이 때 이식된 슬건이 4가닥으로 하여 8 mm 이상 되는 것을 권장하고 있다.^{11,12)}

자가 슬건 중에서 반건양건과 박건을 이용하는 수술이 일반적이지만 두 종류의 슬건을 이용하면 수술 후 무릎의 굴곡력이 78%~91% 정도로 줄어드는 문제점이 있다. 특히 70도 이상의 과굴곡 상태에서는 대퇴이두근(biceps femoris muscle)의 보상 작용이 없기 때문에 더 크게 줄어드는 것으로 알려져 있다.¹³⁻¹⁶⁾ 따라서 슬건을 채취할 때 가능하면 박건은 보존하는 것을 추천하고 있다.¹⁷⁻¹⁹⁾ 여러 연구에서 슬건 채취 후 건의 재생은 약 75%~89%로 보고되고 있으나 재생된 슬건의 기능회복이 어느 정도까지 가능한지에 대하여는 아직 논란이 있다.²⁰⁻²³⁾

굴곡력의 감소 이외에도 슬건을 이용한 전방십자인대 재건술 후 발생 가능한 대표적인 합병증은 감각이상이다. 수술 부위의 감각저하는 약 40%~88%로 비교적 흔하게 나타나는데 이는 건 채취를 위한 절개선에서 복재신경 중 봉공가지 및 슬개가지(infrapatellar and sartorial branch of the saphenous nerve)가 손상을 받을 수 있기 때문이다.²⁴⁾ 이를 예방하기 위해서 슬건

채취 시에 수직(vertical) 절개선 보다는 사선(oblique) 절개선을 이용하는 것이 더 안전한 것으로 보고되고 있다.²⁵⁾

자가 골-슬개건-골

자가 골-슬개건-골을 이용한 전방십자인대 재건술은 강한 강도, 비교적 일정한 건의 크기, 골-골(bone-to-bone) 고정 및 유합으로 인한 이식건의 높은 고정력으로 초기에 빠른 재활이 가능한 장점으로 인해 과거에는 최적 표준 치료법으로 사용되었다. 그러나 수술 부위인 전방슬관절 통증, 무릎 꿇는 자세의 어려움, 공여부의 슬개건 골절 및 슬개건 파열 등의 합병증이 발생 가능성이 있다.²⁶⁾ 따라서 반복적으로 무릎을 꿇는 운동이나 직업 및 종교를 가진 사람, 과거 슬개골 골절이나 슬개건 손상으로 인해 신전 기능(extensor mechanism)이 손상 받은 환자, 25 mm 이하의 슬개건의 폭(width)을 가진 사람 등은 골-슬개건-골 이식건의 사용이 제한될 수 있다.²⁷⁾

한 연구에 의하면 2년 추시기간 동안 앞무릎 통증은 약 52%의 환자에서, 무릎 꿇을 시 통증은 65%의 환자에서 보고되고 있다. 이러한 이유로 좌식생활이 많은 우리나라의 생활 특성상 국내에서도 슬건이 1990년대 이후 더 많이 사용되고 있다.^{26,27)}

슬건과 골-슬개건-골 비교

슬건을 이용한 수술 시 무릎주위 합병증이 적은 반면에 골-슬개건-골은 회전 불안정성이 적고, 더 높은 단체의 운동으로 복귀를 할 수 있었다.²⁸⁾ 최근 대규모 연구에서 골-슬개건-골을 이용한 재건술이 슬건을 이용한 재건술에 비해 임상적인 결과에는 차이가 없었지만 재파열의 위험성의 유의하게 낮음이 보고되어 다시 관심을 받고 있다.²⁹⁻³¹⁾ 슬건과 슬개건의 구조적 및 조직학적인 연구에서는 동일 면적에서 fibril/interstitium 비율이 슬건에서 20%~30% 더 높으며, 섬유모세포(fibroblast)의 밀도(density) 역시 35%~50%가량 높아 추후 조직의 리모델링 및 재생(regeneration)에 더 유리할 것이라 보고되었다.³²⁾ Bansal 등³³⁾의 21개 논문의 메타분석에 의하면 골-슬개건-골을 이용한 전방십자인대 재건술은 슬건을 이용했을 때보다 심부 감염의 위험성은 더 낮은 것으로 보고되었다.

재건술 후 인대화 과정은 슬건과 골-슬개건-골을 이용한 두 군을 수술 후 약 6개월째, 12개월째 모두, 재건술 후 약 12개월에 총 콜라겐 함량, 콜라겐의 양적 변화 및 가교 결합(crosslinks) 등에서 정상 십자인대의 구조와 유사해 지는 것이 조직검사에서 확인되었다.³⁴⁾

자가 대퇴사두건

대퇴사두건을 이용한 재건술은 초기 연구에서 정상 전방십자인대의 약 20%의 강도로 보고되었기 때문에 다른 자가건에 비해 드물게 시도되었으며 그 결과에 대한 연구 역시 부족한 편이었다.³⁵⁾ 하지만 최근 이루어진 생역학적 연구에서 대퇴사두건은 정상 전방십자인대와 거의 유사한 약 2,100-2,300 N의 최대 실패 강도를 가지며 슬개건과의 비교하여 동일한 면적에서 약 20%가량 높은 콜라겐 함량을 가졌으며 약 1.8배의 높은 강도 및 극한 강도(ultimate strength) 또한 더 우수한 것으로 나타났다.³⁶⁻³⁸⁾ 그리고 골-슬개건-골을 이용한 수술과 비교하여 절개선이 작고 공여부의 합병증이 적어 최근 시도가 늘어가고 있다.²⁴⁾ 신전근 기능의 약화 및 대퇴 직근의 위축 등의 합병증도 보고되고 있지만 임상적인 결과에서는 슬건이나 슬개건을 이용한 재건술에 비교하여 유사한 결과들이 보고되고 있다.³⁹⁻⁴¹⁾ 대퇴사두건 채취로 인한 신전근 기능의 약화는 수술 후 약 6개월까지는 타가건을 이용하였을 때에 비해 유의하게 줄어드는 양상이었지만 12개월 이후부터는 유의한 차이가 없는 것으로 보고되고 있다.⁴²⁾

타가건

타가건은 슬개건, 아킬레스건, 대퇴사두건, 전경골건 및 후경골건 등 다양한 건들이 사용되고 있다. 타가건은 자가건을 이용하였을 때의 공여부 합병증이 없어 회복시간이 빠르고, 수술 부위 절개선이 작으며, 이식건의 길이를 편하게 조절할 수 있고 수술 시간이 짧다는 장점이 있다(Fig. 1). 그러나 타가건은 자가건에 비해서 혈관형성의 지연으로 인해 골터널과의 결합과 리모델링이 늦으며, 젊은 환자군에 있어서 재수술의 위험성이 높고, 질병의 전파, 알러지 반응과 같은 생체조직 반응, 멸균과정으로 인한 건의 약화 등이 단점이 보고되고 있다.^{6,43-45)}

따라서 타가건은 자가건이 짧거나 부족하여 적절하게 사용할 수 없는 경우나 신체적 활동 정도가 낮은 비교적 고령의 환자, 또는 다발성 인대 손상 등으로 인해 복합적인 재건술이 필요한 경우에 제한적으로 이용되어야 할 것이다.



Figure 1. Tibialis anterior tendon allograft.

자가건과 타가건의 비교

Bottoni 등⁴⁶⁾은 100명의 현역 군인들을 대상으로 자가 슬건과 타가건을 이용한 전방십자인대 재건술에 관한 근거의 수준(level of evidence) 1의 무작위 비교 연구를 시행하였다. 최소 추시기간 10년의 연구에서 임상적인 결과, 터널의 확장 등에서는 두 군간의 차이는 없었지만 이식건의 실패는 자가 슬건에서는 8.3%, 타가건에서는 26.5%로 유의한 차이를 보였다. Kraeutler 등⁴⁷⁾에 의한 76개의 연구, 5,182명의 대규모 환자들을 대상으로 한 메타분석에서 자가 골-슬개건-골을 이용한 전방십자인대 재건술을 타가건을 이용한 재건술과 비교하였다. 그 결과, International Knee Documentation Committee (IKDC) 점수, Lysholm 점수, Tegner 점수, 외발뛰기 검사(single-legged hop test), KT-1000 관절계(arthrometer)에서는 자가 골-슬개건-골 그룹에서 수술 전 단계로의 복귀율, pivot shift test, 전방슬관절 통증에서는 타가건 그룹에서 좋은 것으로 나타났으나 이식건의 파열은 자가건에서 3배가량 낮은 것으로 보고되었다(4.3% vs. 12.7%).

이식건의 고정

전방십자인대의 고정 방법을 결정하는 데 있어서 고려해야 할 것은 이식건에 대한 충분한 고정력을 제공해야 하여 수술 후 초기, 건의 인대화 과정 및 골-건 간의 병합(bone to tendon healing)이 일어나기 전까지 보행 및 재활에 무리가 없게 도와줘야 한다. 일반적인 이식물의 고정 방법은 만들어진 대퇴골 및 경골의 터널에 사전에 결정한 고정방식에 맞춰 이식건을 통과시키고, 먼저 대퇴골에 고정을 한 후 이식건을 당긴 상태에서 약 20회의 관절각도 운동을 시행하여 대퇴골의 고정을 안정화시킨 다음에, 이식건에 적절한 긴장을 준 상태에서 경골부에 고정을 시행하게 된다. 이식물의 고정 방법은 술자가 선택한 이식건의 종류와 대퇴

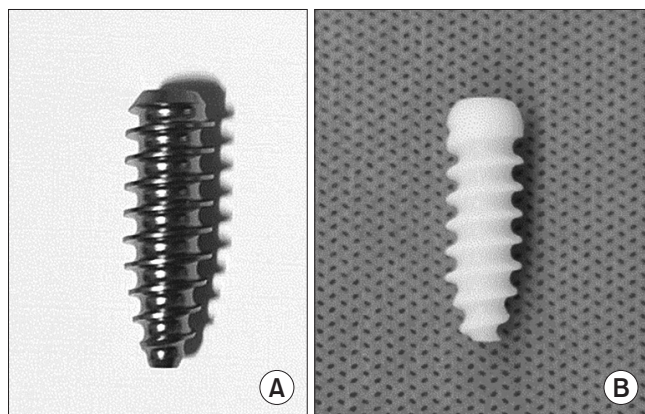


Figure 2. (A) Metal interference screw and (B) resorbable interference screw (BIORCI-HA screw; Smith & Nephew, Andover, MA, USA).

터널을 형성하는 방법에 따라서 영향을 받을 수밖에 없다.

골터널 내 고정

골터널 내 고정법(aperture fixation)은 골터널에 이식건을 삽입한 후 간섭 나사나 핀 등을 터널로 삽입함으로써 직접적으로 고정시켜주는 방법으로 이식건의 working length를 짧게 해주어 무릎의 안정성을 높여준다는 이론적인 장점이 있다(Fig. 2).^{48,49)}

간섭 나사를 이용한 골터널 내 고정법은 금속 나사를 이용하여 시행하는 것이 보편적이었다. 그러나 금속 나사의 관절 연골의 손상, 수술 후 자기공명영상(magnetic resonance imaging)이나 컴퓨터 단층촬영(computed tomography)과 같은 영상 검사 적용의 어려움, 재수술이 필요할 시 수술이 어려움 및 금속이온이 주위 조직들로 유리 등의 합병증으로 인해 최근 생체흡수성 나사가 개발되어 사용되고 있다.⁵⁰⁾ 초기의 생체흡수성 나사로 polyglycolic acid (PGA)나 polylactic acid (PLA) 등 다양한 형태의 lactic acid를 사용하여 개발되었는데 그 중에서도 PGA는 생체의학품으로 처음 쓰여지기 시작한 생분해성 중합체이다.⁵¹⁾ 하지만 PGA는 수술 후 1주일째부터 흡수가 일어나기 시작하여 glycolic acid가 주위 조직으로 유리되기 시작되고, 유리된 조직이 염증반응을 일으켜 윤활막염과 골융해 반응을 일으키는 등의 합병증이 보고되었다.⁵²⁾ 이후 보다 천천히 분해되는 제질인 PLA와 homopolymer of poly-L-lactide (PLLA)로 만들어진 생체흡수성 나사가 개발되어 사용됐다. 그러나 이 제제 역시 5년 이상 지속적으로 남아 있으며 천천히 흡수되는 문제로 인한 골융해성 염증 반응, 낭종 형성(cyst formation), 관절 내 육아종(granuloma) 생성 등의 부작용이 문제점으로 보고되었다.^{53,54)}

이러한 문제점을 해결하기 위해 상체흡수성 중합체와 뼈형성을 증진시키는 beta-tricalcium phosphate (β -TCP)와 hydroxyapatite 등의 세라믹제제를 합성한 생체복합제(biocomposite) 간섭 나사가 개발되고 있다.⁵¹⁾ β -TCP는 정형외과 영역에서 뼈결손을 채울 때 사용되는 재료로 기존의 뼈와 비슷한 미네랄 함량을 가지고 있다. 게다가 구조적으로 골전도성의 투과성이 있고 우수한 역학적 안정성과 생체친수성이 특징이다. β -TCP와 달리 hydroxyapatite는 포유류의 뼈, 치아에 존재하는 물질의 천연 미네랄 소재로 뼈와 친화성이 높고 생물학적 친화성이 좋다. 일반적으로 hydroxyapatite를 기초로 하는 뼈대체물질은 비흡수성이거나 β -TCP보다 더 흡수성이 낮다.⁵⁵⁾

생체복합제 나사는 흡수가 비교적 천천히 일어나기 때문에 연부조직과 뼈의 물리적인 고정이 충분히 일어날 수 있으며 이 과정에서 생체흡수성 제제의 합병증 중 하나인 이물반응이나 염증 반응 등이 거의 일어나지 않아 재수술이 필요할 시에 간섭 나사를 제거할 필요가 없다는 장점이 있다. 체계적인 문헌 고찰에 따르면 생체복합제 나사(poly lactic-co-glycolic acid/ β -TCP)는

90% 이상이 3년 이내로 뼈로 흡수되었으며 그 기간 동안 부작용이 보고된 예는 드물었다.⁵⁶⁾

금속 나사나 생체 나사를 이용한 간섭 나사의 골편 고정의 실패강도는 약 550–560 N으로 알려져 있는데 이것은 전방십자인대 재건술 후 조기 재활 운동 시 부하되는 최대 강도가 450–500 N임을 고려하였을 때 충분한 강도이다.⁵⁷⁾

피질골 현수 고정 (Cortical suspensory fixation)

간섭 나사를 이용한 골터널 내 고정에서는 인대 부착부에 많은 부분이 나사로 채워지는 경우가 많아 이식건의 콜라겐 배열이 비해부학적인 위치로 고정이 되는 경우가 생긴다. 현수 고정법은 전방십자인대의 대퇴부 또는 경골부 부착부를 보다 더 정확하게 재현시킬 수 있다는 이론적인 장점이 있다.⁵⁸⁾ 그러나 현수 고정법에서는 골터널 안에서 이식건의 장축을 따라 늘어남과 수축이 반복되는 번지점프 효과(bungee effect)와 무릎의 반복적인 굴곡 및 신전 시 이식건의 시상면상 움직임을 허용하는 ‘windshield wiper effect’를 발생시킬 수 있는데 이러한 움직임은 골터널의 확장(tunnel widening)을 초래할 가능성을 가지고 있다.^{59,60)}

1세대 피질골 현수 고정 기구는 fixed-loop device로 금속 버튼과 폴리우레탄 리본(polyurethane ribbon)으로 이루어진 관절 외 고정장치다. 금속 버튼이 피질골 바깥쪽에 위치하고 중간에 폴리우레탄 리본이 이식건과 버튼 사이에서 일정한 긴장을 유지해주어 골-건 결합을 도모하는 장치이다.⁶¹⁾ Fixed-loop device는 간섭 나사와 비교하였을 때, 고정 실패 강도가 우수하고 낮은 수술 중 합병증이 보고되었지만,⁶²⁾ 이식건과 피질골 사이의 골터널 길이를 적절히 측정하지 못할 시 터널 내의 종축의 움직임(longitudinal motion)이 허용되어 골성결합(osteointegration)과 골-건 결합이 지연될 수 있다.^{63,64)}

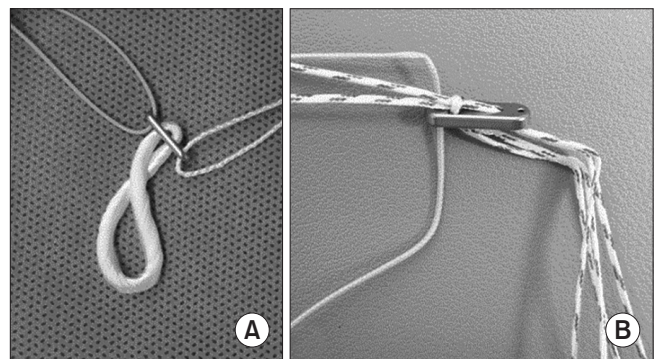


Figure 3. (A) Fixed-loop device (EndoButton; Smith & Nephew, Andover, MA, USA). (B) Adjustable-loop device (GraftMax; ConMed, Utica, NY, USA).

최근에는 1-way lock mechanism을 이용한 adjustable-loop를 이용한 기구가 개발되어 사용 중인데 이 adjustable-loop system은 이식건의 삽입 후에 loop의 길이를 조절할 수 있기 때문에 골터널의 길이를 측정할 필요가 없이 적용시킬 수 있다(Fig. 3). 이런 시스템으로 인해 이식건이 골터널 내에 최대한으로 채워질 수 있어 이식건과 골터널의 간극인 “the attic of the femoral tunnel”을 최소화할 수 있다. 이로 인해 이식건의 골성결합이 더 용이할 수 있다는 장점은 있지만 rigid loop가 아니기 때문에 반복적인 사용으로 인한 기구의 신장(elongation)에 대한 문제점이 제기되기도 한다.^{65,66)}

반골터널 내 고정(Semi-aperture fixation)

슬건이나 대퇴사두근 등의 연부조직을 골터널에 고정하기 위한 cross-pin system (RigidFix; DuPuy Mitek, Norwood, MA, USA)은 2개의 핀이 골터널을 수직으로 관통하여 터널 내의 이식건의 용적을 증가시켜 고정하는 방법이다(Fig. 4). 생체 내에서 가수분해(hydrolysis)에 의해 완전히 흡수되는 PLA로 이루어진 생체흡수성 핀을 사용하는데, 주로 대퇴터널 고정에 사용되지만 경골터널에도 사용이 가능하다.⁶⁷⁾ 간섭 나사와의 생역학적 연구에서 cross pin은 초기에 유의한 차이가 없었으며 정상 전방십자인대와 유사한 강도를 보였다.⁶⁸⁾ Cross pin을 대퇴터널에 삽입할 시 터널 후방에 충분한 뼈가 남아 있도록 주의할 것을 기울여 고정해야 하는데 부적절한 삽입이 이루어지면 이에 따른 cross-pin의 파열, cross-pin 전위 시 슬와부 연부 조직 손상, 측방 전위 시 장경대 마찰 증후군 등의 합병증 등을 주의해야 한다.⁶⁹⁾ 그리고 반골터널 내 고정법은 경-경골터널을 이용하여 기구를 삽입하고 대퇴골터널을 고정하기 때문에 해부학적인 전방십자인대 부착부에 이식건을 위치시키기가 어려울 수 있다.

RigidFix와는 다른 Bio-TransFix system (Arthrex, Naples, FL, USA)은 피질해면골(corticocancellous bone)에 고정하는 방법이다(Fig. 5). 생역학적 연구에 의하면 TransFix system이

RigidFix나 간섭 나사와 비교하였을 때, 더 우월한 고정력이 측정되었다.⁷⁰⁾ 임상적인 연구에서도 Harilainen 등⁷¹⁾은 슬건을 이용한 대퇴부의 금속 TransFix 고정 후 2년 추시관찰에서 평균 2.2 mm의 전후방 동요를 보여 안정적인 고정력이 있음을 발표하였다. Choi 등⁷²⁾은 대퇴부 고정을 RigidFix와 Bio-TransFix를 이용한 그룹의 비교 연구에서 Lachmann 검사, 측이동 검사, KT-1000 관절계 검사에서는 두 군 간의 유의한 차이는 없었지만 경골부위 골터널 확장이 Bio-Transfix 그룹에서 36%, RigidFix 그룹에서 26%로 유의하게 높게 나타났다고 보고하였다.

반골터널 내 고정법은 다른 고정과 비교한 임상 연구에서도 좋은 결과들이 보고되고 있다.^{73,74)} Persson 등⁷³⁾은 38,666명을 대상으로 한 연구에서 endobutton을 이용한 1세대 피질골 현수 고정 기구의 5년간 재수술 비율은 5.0%, RigidFix는 3.4%, TransFix는 3.5%로 유의한 차이가 있는 것으로 발표하였다. Eysturoy 등⁷⁴⁾도 서로 다른 4가지의 고정법을 비교하였을 때, 반골터널 내 고정법이 다른 고정법에 비해 재수술의 빈도가 유의하게 낮은 것으로 보고하였다(hazard ratio 0.83; 95% 신뢰구간 0.73-0.94, $p < 0.05$).

골터널 외 현수 고정 (Post aperture suspensory fixation)

근위 경골이 원위 대퇴골보다 골밀도가 더 낮은 점, 이식건에 부하되는 장력이 경골터널에 평행하게 작용한다는 점, 슬건 자가건을 사용할 때 이식건의 충분한 길이가 확보되지 못했을 경우 이식건의 끝부분을 견고하게 고정하기 어려운 점 등으로 인해 생역학적으로 경골부위 이식건 고정이 대퇴골에 비하여 더 약한 것으로 알려져 있다.⁷⁵⁾ 부족한 경골 부위의 고정력으로 발생하는 초기

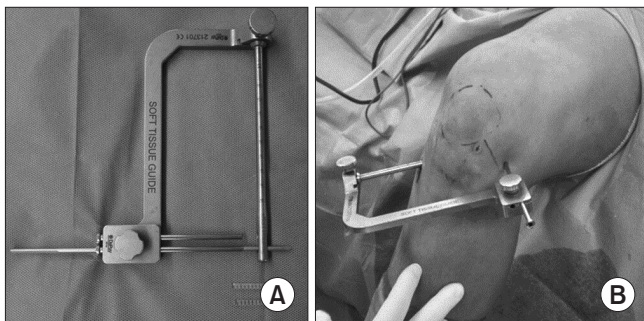


Figure 4. (A) Cross-pin system (RigidFix; DuPuy Mitek, Norwood, MA, USA). (B) RigidFix cannulae in place in the lateral femoral cortex.

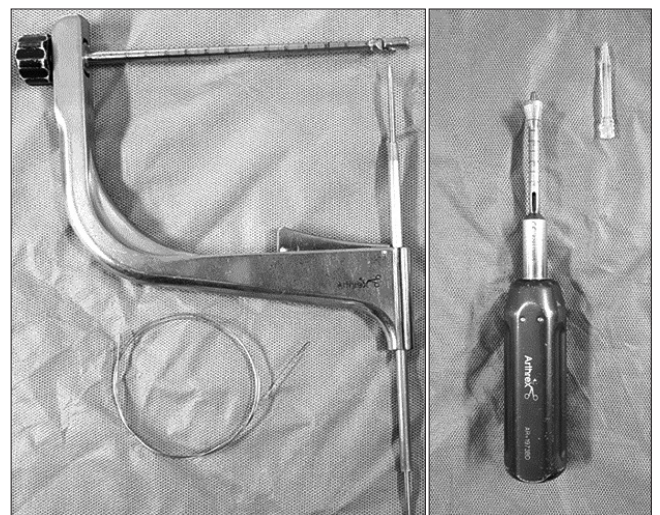


Figure 5. Bio-TransFix fixation system (Arthrex, Naples, FL, USA).

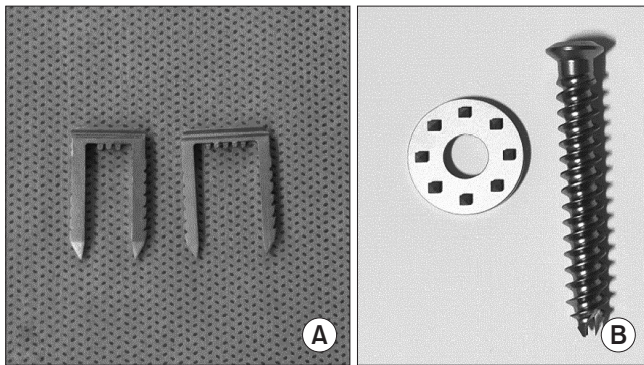


Figure 6. (A) Staples (Smith & Nephew, Andover, MA, USA). (B) Metal screw and washer.

고정 실패와 이식건의 장력 소실을 예방하기 위해 몇몇 저자들은 금속 스테이플(staple)이나 나사못과 와셔를 이용한 post-tie 고정법 등을 이용하여 추가적인 고정을 적용시키는 것을 추천하고 있다(Fig. 6).⁷⁶⁾ 실제로 생역학적인 연구에서도 간섭 나사와 터널 외 현수 고정을 동시에 시행하는 방법이 간섭 나사와 터널 외 현수 고정을 각각 시행하는 그룹과 비교하여 강성도(stiffness)와 항복강도(yield load)가 가장 우수한 것으로 확인되었다.⁷⁷⁾ 그러나 스테이플이나 나사못을 이용한 고정 방법들은 기구 주위 부위 자극이나 감각이상 등의 합병증으로 인해 기구제거술과 같은 추가적인 수술의 가능성이 있으며 무릎 꿇을 때 통증이 더 발생할 수 있음이 보고되었다.^{78,79)}

결론

이식건의 선택 및 고정은 모든 환자에게 동일하게 적용시킬 수 있는 것이 아니라 환자의 나이, 활동 상태, 수술 후 요구도, 성별, 재수술 여부 등 여러 가지 요소를 면밀히 고려하여 개별화해야 한다. 그러나 술자의 경험과 익숙한 방법에 가장 많은 영향을 받을 수 밖에 없기 때문에 환자에 맞는 최선의 수술 방법을 선택하기 위해서는 지금까지 소개되고 있는 여러 가지 방법에 대한 정확한 이해와 경험이 필요할 것이다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

ORCID

Du-Han Kim, <https://orcid.org/0000-0002-6636-9340>

Ki-Cheor Bae, <https://orcid.org/0000-0002-4363-0956>

Byung-Chan Choi, <https://orcid.org/0000-0002-0171-1862>

REFERENCES

1. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36:1-8.
2. Sanders TL, Pareek A, Kremers HM, et al. Long-term follow-up of isolated ACL tears treated without ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25:493-500.
3. Dabis J, Wilson A. Repair and augmentation with internal brace in the multiligament injured knee. *Clin Sports Med.* 2019;38:275-83.
4. van Eck CF, Limpisvasti O, ElAttrache NS. Is there a role for internal bracing and repair of the anterior cruciate ligament? a systematic literature review. *Am J Sports Med.* 2018;46:2291-8.
5. Shaerf DA, Pastides PS, Sarraf KM, Willis-Owen CA. Anterior cruciate ligament reconstruction best practice: a review of graft choice. *World J Orthop.* 2014;5:23-9.
6. Vaishya R, Agarwal AK, Ingole S, Vijay V. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction: a review. *Cureus.* 2015;7:e378.
7. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, et al. Change in anterior cruciate ligament graft choice and outcomes over time. *Arthroscopy.* 2017;33:2007-14.
8. Tibor L, Chan PH, Funahashi TT, Wyatt R, Maletis GB, Inacio MC. Surgical technique trends in primary ACL reconstruction from 2007 to 2014. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98:1079-89.
9. Delay BS, Smolinski RJ, Wind WM, Bowman DS. Current practices and opinions in ACL reconstruction and rehabilitation: results of a survey of the American Orthopaedic Society for Sports Medicine. *Am J Knee Surg.* 2001;14:85-91.
10. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med.* 1991;19:217-25.
11. Hamner DL, Brown CH Jr, Steiner ME, Hecker AT, Hayes WC. Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81:549-57.
12. Conte EJ, Hyatt AE, Gatt CJ Jr, Dhawan A. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for

- anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthroscopy*. 2014;30:882-90.
13. Choi JY, Ha JK, Kim YW, Shim JC, Yang SJ, Kim JG. Relationships among tendon regeneration on MRI, flexor strength, and functional performance after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Am J Sports Med*. 2012;40:152-62.
 14. Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, et al. Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy*. 2002;18:598-602.
 15. Ohkoshi Y, Inoue C, Yamane S, Hashimoto T, Ishida R. Changes in muscle strength properties caused by harvesting of autogenous semitendinosus tendon for reconstruction of contralateral anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 1998;14:580-4.
 16. Nakamae A, Deie M, Yasumoto M, et al. Three-dimensional computed tomography imaging evidence of regeneration of the semitendinosus tendon harvested for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison with hamstring muscle strength. *J Comput Assist Tomogr*. 2005;29:241-5.
 17. Ardern CL, Webster KE. Knee flexor strength recovery following hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Orthop Rev (Pavia)*. 2009;1:e12.
 18. Yosmaoglu HB, Baltaci G, Ozer H, Atay A. Effects of additional gracilis tendon harvest on muscle torque, motor coordination, and knee laxity in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19:1287-92.
 19. Sharma A, Flanigan DC, Randall K, Magnussen RA. Does gracilis preservation matter in anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review. *Arthroscopy*. 2016;32:1165-73.
 20. Takeda Y, Kashiwaguchi S, Matsuura T, Higashida T, Minato A. Hamstring muscle function after tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: evaluation with T2 relaxation time of magnetic resonance imaging. *Am J Sports Med*. 2006;34:281-8.
 21. Tadokoro K, Matsui N, Yagi M, Kuroda R, Kurosaka M, Yoshiya S. Evaluation of hamstring strength and tendon regrowth after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004;32:1644-50.
 22. Nikolaou VS, Efsthathopoulos N, Wredmark T. Hamstring tendons regeneration after ACL reconstruction: an overview. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15:153-60.
 23. Cross MJ, Roger G, Kujawa P, Anderson IF. Regeneration of the semitendinosus and gracilis tendons following their transection for repair of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 1992;20:221-3.
 24. Koga H, Zaffagnini S, Getgood AM, Muneta T. ACL graft selection: state of the art. *J ISAKOS*. 2018;3:177-84.
 25. Henry BM, Tomaszewski KA, Pękala PA, et al. Oblique incisions in hamstring tendon harvesting reduce iatrogenic injuries to the infrapatellar branch of the saphenous nerve. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26:1197-203.
 26. Webster KE, Feller JA, Hartnett N, Leigh WB, Richmond AK. Comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a 15-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2016;44:83-90.
 27. Busam ML, Provencher MT, Bach BR Jr. Complications of anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone constructs: care and prevention. *Am J Sports Med*. 2008;36:379-94.
 28. Xie X, Liu X, Chen Z, Yu Y, Peng S, Li Q. A meta-analysis of bone-patellar tendon-bone autograft versus four-strand hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*. 2015;22:100-10.
 29. Gifstad T, Foss OA, Engebretsen L, et al. Lower risk of revision with patellar tendon autografts compared with hamstring autografts: a registry study based on 45,998 primary ACL reconstructions in Scandinavia. *Am J Sports Med*. 2014;42:2319-28.
 30. Persson A, Fjeldsgaard K, Gjertsen JE, et al. Increased risk of revision with hamstring tendon grafts compared with patellar tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: a study of 12,643 patients from the Norwegian Cruciate Ligament Registry, 2004-2012. *Am J Sports Med*. 2014;42:285-91.
 31. Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Pedersen AB, Lind M. Comparison of hamstring tendon and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction in a nationwide population-based cohort study: results from the danish registry of knee ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2014;42:278-84.
 32. Hadjicostas PT, Soucacos PN, Paessler HH, Koleganova N, Berger I. Morphologic and histologic comparison between the patella and hamstring tendons grafts: a descriptive and anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23:751-6.

33. Bansal A, Lamplot JD, VandenBerg J, Brophy RH. Meta-analysis of the risk of infections after anterior cruciate ligament reconstruction by graft type. *Am J Sports Med.* 2018;46:1500-8.
34. Marumo K, Saito M, Yamagishi T, Fujii K. The "ligamentization" process in human anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar and hamstring tendons: a biochemical study. *Am J Sports Med.* 2005;33:1166-73.
35. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66:344-52.
36. Hadjicostas PT, Soucacos PN, Berger I, Koleganova N, Paessler HH. Comparative analysis of the morphologic structure of quadriceps and patellar tendon: a descriptive laboratory study. *Arthroscopy.* 2007;23:744-50.
37. Harris NL, Smith DA, Lamoreaux L, Purnell M. Central quadriceps tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: morphometric and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1997;25:23-8.
38. Shani RH, Umpiarez E, Nasert M, Hiza EA, Xerogeanes J. Biomechanical comparison of quadriceps and patellar tendon grafts in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2016;32:71-5.
39. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthroscopy.* 2015;31:541-54.
40. Lee JK, Lee S, Lee MC. Outcomes of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: bone-quadriceps tendon graft versus double-bundle hamstring tendon graft. *Am J Sports Med.* 2016;44:2323-9.
41. Cavaignac E, Coulin B, Tscholl P, Nik Mohd Fatmy N, Duthon V, Menetrey J. Is quadriceps tendon autograft a better choice than hamstring autograft for anterior cruciate ligament reconstruction? A comparative study with a mean follow-up of 3.6 years. *Am J Sports Med.* 2017;45:1326-32.
42. Kwak YH, Lee S, Lee MC, Han HS. Anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone allograft: matched case control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19:45.
43. Pallis M, Svoboda SJ, Cameron KL, Owens BD. Survival comparison of allograft and autograft anterior cruciate ligament reconstruction at the United States Military Academy. *Am J Sports Med.* 2012;40:1242-6.
44. Wasserstein D, Sheth U, Cabrera A, Spindler KP. A systematic review of failed anterior cruciate ligament reconstruction with autograft compared with allograft in young patients. *Sports Health.* 2015;7:207-16.
45. Jackson DW, Grood ES, Goldstein JD, et al. A comparison of patellar tendon autograft and allograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in the goat model. *Am J Sports Med.* 1993;21:176-85.
46. Bottoni CR, Smith EL, Shaha J, et al. Autograft versus allograft anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study with a minimum 10-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43:2501-9.
47. Kraeutler MJ, Bravman JT, McCarty EC. Bone-patellar tendon-bone autograft versus allograft in outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of 5182 patients. *Am J Sports Med.* 2013;41:2439-48.
48. Lubowitz JH, Schwartzberg R, Smith P. Cortical suspensory button versus aperture interference screw fixation for knee anterior cruciate ligament soft-tissue allograft: a prospective, randomized controlled trial. *Arthroscopy.* 2015;31:1733-9.
49. Hu B, Shen W, Zhou C, Meng J, Wu H, Yan S. Cross pin versus interference screw for femoral graft fixation in hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis of clinical outcomes. *Arthroscopy.* 2018;34:615-23.
50. Suchenski M, McCarthy MB, Chowanec D, et al. Material properties and composition of soft-tissue fixation. *Arthroscopy.* 2010;26:821-31.
51. Wang JH, Lee ES, Lee BH. Paradoxical tunnel enlargement after ACL reconstruction with hamstring autografts when using β -TCP containing interference screws for tibial aperture fixation- prospectively comparative study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18:398.
52. Ozbaydar M, Elhassan B, Warner JJ. The use of anchors in shoulder surgery: a shift from metallic to bioabsorbable anchors. *Arthroscopy.* 2007;23:1124-6.
53. Barber FA. Complications of biodegradable materials: anchors and interference screws. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2015;23:149-55.
54. Ramsingh V, Prasad N, Lewis M. Pre-tibial reaction to biointerference screw in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2014;21:91-4.

55. Lee DW, Lee JW, Kim SB, et al. Comparison of poly-L-lactic acid and poly-L-lactic acid/hydroxyapatite bioabsorbable screws for tibial fixation in ACL reconstruction: clinical and magnetic resonance imaging results. *Clin Orthop Surg*. 2017;9:270-9.
56. Barber FA, Spenciner DB, Bhattacharyya S, Miller LE. Bio-composite implants composed of poly(lactide-co-glycolide)/ β -tricalcium phosphate: systematic review of imaging, complication, and performance outcomes. *Arthroscopy*. 2017;33:683-9.
57. Ng VY. Risk of disease transmission with bone allograft. *Orthopedics*. 2012;35:679-81.
58. Lubowitz JH, Poehling GG. Watch your footprint: anatomic ACL reconstruction. *Arthroscopy*. 2009;25:1059-60.
59. Elliott MJ, Kurtz CA. Peripheral versus aperture fixation for anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2007;26:683-93.
60. Morgan CD, Kalmam VR, Grawl DM. Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited. *Arthroscopy*. 1995;11:647-59.
61. Onggo JR, Nambiar M, Pai V. Fixed- versus adjustable-loop devices for femoral fixation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Arthroscopy*. 2019;35:2484-98.
62. Colvin A, Sharma C, Parides M, Glashow J. What is the best femoral fixation of hamstring autografts in anterior cruciate ligament reconstruction?: a meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469:1075-81.
63. Brand J Jr, Weiler A, Caborn DN, Brown CH Jr, Johnson DL. Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2000;28:761-74.
64. Buelow JU, Siebold R, Ellermann A. A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2002;10:80-5.
65. Fauno P, Kaalund S. Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: a prospective randomized study. *Arthroscopy*. 2005;21:1337-41.
66. Wilson AJ, Yasen SK, Nancoo T, Stannard R, Smith JO, Logan JS. Anatomic all-inside anterior cruciate ligament reconstruction using the translateral technique. *Arthrosc Tech*. 2013;2:e99-104.
67. Qi W, Liu Y, Xue J, Li H, Wang J, Qu F. Applying cross-pin system in both femoral and tibial fixation in anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthrosc Tech*. 2015;4:e397-402.
68. Zantop T, Weimann A, Rümmler M, Hassenpflug J, Petersen W. Initial fixation strength of two bioabsorbable pins for the fixation of hamstring grafts compared to interference screw fixation: single cycle and cyclic loading. *Am J Sports Med*. 2004;32:641-9.
69. Choi NH, Lee JH, Victoroff BN. Do broken cross-pins compromise stability after anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendons? *Arthroscopy*. 2007;23:1334-40.e2.
70. Milano G, Mulas PD, Ziranu F, Piras S, Manunta A, Fabbri-ciani C. Comparison between different femoral fixation devices for ACL reconstruction with doubled hamstring tendon graft: a biomechanical analysis. *Arthroscopy*. 2006;22:660-8.
71. Harilainen A, Sandelin J, Jansson KA. Cross-pin femoral fixation versus metal interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons: results of a controlled prospective randomized study with 2-year follow-up. *Arthroscopy*. 2005;21:25-33.
72. Choi NH, Yoo SY, Victoroff BN. Tibial tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstructions: comparison between Rigidfix and Bio-TransFix. *Knee*. 2013;20:31-5.
73. Persson A, Gifstad T, Lind M, et al. Graft fixation influences revision risk after ACL reconstruction with hamstring tendon autografts. *Acta Orthop*. 2018;89:204-10.
74. Eysturoy NH, Nissen KA, Nielsen T, Lind M. The influence of graft fixation methods on revision rates after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2018;46:524-30.
75. Kohn D, Rose C. Primary stability of interference screw fixation. Influence of screw diameter and insertion torque. *Am J Sports Med*. 1994;22:334-8.
76. Hill PF, Russell VJ, Salmon LJ, Pinczewski LA. The influence of supplementary tibial fixation on laxity measurements after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons in female patients. *Am J Sports Med*. 2005;33:94-101.
77. Weiss FP, Possoli FAA, Costa IZ, Borges PC, Stieven Filho E, Kubrusly LF. Fixation of the anterior ligament graft at the tibial pole: biomechanical analysis of three methods. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2019;54:697-702.

78. Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthroscopy*. 2005;21:791-803.
79. Teo WW, Yeoh CS, Wee TH. Tibial fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2017;25:2309499017699743.

슬관절의 전방십자인대 재건술

전방십자인대 재건술 시 이식건의 선택과 고정

김두한 • 배기철[✉] • 최병찬

계명대학교 의과대학 정형외과학교실

전방십자인대 재건술은 수술의 시기, 수술 기법, 이식건의 선택 및 고정 방법, 재활 등 각각의 수술 과정을 성공적으로 수행해야 하는 수술이다. 여러 과정들 중에서 이식건의 선택과 고정 방법은 아주 중요한 과정 중에 하나이지만 아직 술자들 간에 많은 논쟁의 여지가 있다. 이식건의 장단점에 관해 많은 연구들이 진행되고 있지만 여전히 이상적인 건에 대한 결론은 없다. 이와 유사하게 대퇴터널 및 경골터널 고정 방법에 대해서도 최근 많은 방법들이 개발되고 소개되고 있지만 그중에서 가장 좋은 방법을 찾지 못한 상태이다. 그래서 술자는 다양한 이식건과 고정 방법에 대하여 익숙해져야 하며 각각의 방법에 대한 장단점을 잘 알고 있어야 할 것이다. 따라서 본 종설은 전방십자인대 손상에서 이식건의 선택과 고정 방법에 대하여 지금까지 밝혀진 연구들을 분석하고 이에 관해 논의하고자 한다.

색인단어: 전방십자인대, 재건술, 자가건, 타가건, 고정법

접수일 2019년 12월 22일 수정일 2020년 2월 2일 게재확정일 2020년 2월 4일

[✉]책임저자 배기철

42601, 대구시 달서구 달구벌대로 1035, 계명대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL 053-258-4772, FAX 053-258-4773, E-mail bkc@dsmc.or.kr, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4363-0956>