

## ACL Reconstruction - How to shop for the graft and fixation materials -

전남대학교 의과대학 정형외과학교실

송 은 규

지난 20여년간 전방십자인대 재건술은 괄목할 만한 발전을 해왔다. 전방십자인대 재건술은 슬관절의 전방 불안정성, 즉 경골이 대퇴골에 대해서 전방전위를 방지하고 안정성을 얻음으로써 이차적으로 발생할 수 있는 반월상 연골판 손상 및 퇴행성 관절염 방지에 그 목적이 있다.

성공적인 전방십자인대 재건술을 위해서 첫째 이식건이 튼튼하고 이식했을 경우 정상적으로 전방십자인대 기능을 할 수 있어야 하며, 둘째 수술시 정확한 이식건의 위치 선정으로 이식된 조직에 가는 과부하를 줄여 조직이 늘어나거나 변형이 되지 않아야 한다. 또한 이식된 조직을 튼튼하게 고정하여 수술 후 빠른 재활 운동으로 대퇴사두근의 약화를 방지할 수 있어야 한다.

### 1. 이식건의 선택

전방 십자인대 재건술에 사용할 수 있는 이식건의 선택을 위해 이식할 이식건의 물리적 특성, 이식건의 고정 강도, 이식건의 고정부위에 조기 생물학적 치유, 그리고 공여부의 합병증등을 고려하여야 한다. 현재 자가이식건, 동종이식건, 인공인대등이 사용되나 이중 생적합성이 있는 자가 이식건이 가장 좋은 방법으로 인정되고 있다.

#### 1) 자가 이식건

일반적으로 슬개건(patellar tendon), 슬건(hamstring), 사두근(quadriceps)에 많이 사용되고 있다.

#### ① 슬개건 (Patellar tendon graft)

생체조직중 가장 강하고, 골과 골고정이 가능하며, 조기에 능동적 재활이 가능하며 수상전 스포츠 활동으로 조기 복귀가 가능한 장점이 있다. 그러나 전방 슬관절통, 전방 슬관절 염발음, 슬개골 골절, 슬개골 골극구축, 신전력의 약화등의 단점이 보고되고 있다. 또한 대퇴슬개관절의 부정정렬이 있거나 슬개건염이 있는 경우, 신전근 기전의 파열 또는 골절이 동반된 경우에는 사용의 제한이 있다.

#### ② 슬건 (Hamstring tendon)

슬건의 인장 강도는 전방 십자인대보다는 약하지만 슬건을 2겹 내지 4겹으로 사용하는 경우 강도가 2배이상 증가하여 이식건으로 사용하기에 적합한 인장 강도를 가지며 공여부의 합병증이 적으며 피부절개가 적은 장점이 있다. 그러나 이식건의 치유가 늦고 이식건을 정확하게 채취하려면 숙련되어야 하며 채취한 이식건의 크기와 길이가 일정치 않은 단점이 있다. 슬개건을 사용하지 못할 다음의 경우, 즉 슬개 대퇴 관절의 통증, 슬개건염, 이전의 신전근 기전의 파열이나 골절, 슬개건 폭이 좁은 경우 (< 25 mm) 등의 신전근 기전에 문제가 있는 경우, 직업상 무릎을 자주 꿇는 직업, 슬개건을 이용한 재건술후 실패한 경우에 슬건의 사용이 적극 권장되고 또한 슬개대퇴관절에 문제가 없는 경우에도 슬자의 선택에 따라 사용될 수 있다. 내측 측부인대의 동반손상이나 과거 pes anserinus의 이전술이나 수술을 시행받은 경우 사용할 수 없다.

#### ③ 사두근 (Quadriceps tendon)

사두근은 채취가 쉽고 공여부의 합병증이 적으며 다른 자가 이식건에 비하여 통증이 적고 조기에 능동적 재활이 가능하며 슬개골 골절의 위험이 없다는 장점이 있으나 신전근 기전의 파열이나 골절이 동반된 경우에는 사용할 수 없는 단점이 있다. 특히 과거 신전근 기전의 문제가 있거나 건염이 있는 경우 그리고 슬개 저위증의 경우 사용을 피하여야 한다.

#### 2) 동종 이식건

동종 이식건은 슬관절 주위의 구조물을 회생할 필요가 없어 수술 후 기능적 장애를 감소시킬 수 있고, 공여부의 합병증이 없으며, 수술시간을 줄일 수 있다. 또한 충분한 크기의 이식건을 이용할 수 있으며 다른 인대손상이 동반된 경우의 재건술과 재 재건술에도 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이식건을 통한 질병 전파가 가능하며, 면역반응이 발생할 수 있어 주의를 필요로 한다. 또한 이식건의 비용이 비싸고, 이식후 치유가 늦고, 이식후 이완의 가능성 및 후기 실패의 단점이 있으며 슬후 추시상 tunne와 확대

및 낭종이 발생할 수 있다.

## 2. 이식건의 고정

### 1) 견고한 이식건 고정의 필요성

최근 Simonian<sup>14)</sup>은 슬괘건과 슬개건을 이용한 전방 십자인대 재건술 후 cyclic tensile loading test 동안에 슬괘건과 슬개건의 tendinous portion에서의 긴장력 및 점진적인 손상반응은 두 조직간에 차이가 없었으며 이식건과 고정물 사이에서 점진적 손상이 주로 발생하여 이식건의 종류보다는 이식건의 고정 방법이 중요하다고 하였다. 또한 Tomita<sup>15)</sup>은 동물실험에서 슬괘건과 골-슬개건-골을 모두 post tie 방법으로 고정한 뒤 12주 후 이식건과 골 사이 osteointegration에 대한 조직학적 비교에서 두 이식건 사이에 차이가 없어 이식건의 종류에 따른 비교보다는 고정 방법에 대한 비교가 더 중요하다고 하였다. 견고한 이식건의 고정은 고정 부위에서 이식건의 이완과 파열을 예방하여 조기 관절 운동과 신경 근육의 기능회복 및 체중 부하를 가능하게 하기 때문에 슬관절의 기능 회복과 조기 재활요법을 가능하게 하며 골에 대한 이식건의 생물학적 치유를 촉진한다. 따라서 견고한 고정은 전방 십자인대 재건술의

결과에 영향을 주는 매우 중요한 인자이다.

### 2) 이식건의 고정방법

이식건의 대퇴골 고정방법은 bone plug fixation 과 soft tissue fixation으로 구분되며 bone plug fixation에는 Endobutton, Mitek anchor, interference fixation, press-fit femoral bone plug 등이 사용되며 soft tissue fixation에는 LA screw, Transfixation device, Endobutton, Mitek anchor, interference fixation, Cortical bone screw 등이 사용된다. 이식건의 경골 고정방법은 staple, screw used as a post, interference fixation, biodegradable interference screw 등의 bone plug fixation과 staple washer-plate, intraFix, interference screw 등의 soft tissue fixation이 사용된다.

Fu 등<sup>16)</sup>은 고정 방법을 interference screw, staple, washer, cross pin과 같은 직접고정방법(Direct fixation method)과 polyester tape-titanium button, suture-post와 같은 간접고정방법(Indirect fixation method)으로 구분하고 각각 고정방법의 ultimate tensile load는 200에서 1000N 정도라고 보고하였다 (Table 1). 또한 골-슬개건-골 이식건의 고정 방법으로 가장 많이 사용되는 interference screw는 screw 직경,

Table 1. Ultimate Tensile Load of Various Fixation Devices

Type of fixation device	Ultimate tensile
<b>Indirect</b>	
Single polyester tape loop	375 ± 8
Double polyester tape loop	612 - 651
Single loop 5 Ethibond	238 ± 3
Double loop 5 Ethibond	463 ± 18
<b>Direct soft tissue</b>	
Metal interference screw (7mm)	242 ± 90
Bioabsorbable screw (7mm)	341 ± 163
Bone mulch screw	1126 ± 80
Tandem soft tissue washers	768
Cross-pin technique (animal)	725 - 1600
Suture-post (animal)	374
<b>Direct bone</b>	
Metal interference screw (7mm)	640 ± 201
Metal interference screw (9mm)	276-436
Metal interference screw (11mm)	302
Metal interference screw (13mm)	328
Metal interference screw (15mm)	328
Bioabsorbable screw (7mm)	330-418
Bioabsorbable screw (9mm)	565
Staples	588

Experiments were performed on human cadaveric knees unless specified.

divergence, 고정 방향 등에 의해 고정력에 차이가 생기거나 screw divergency가 고정력에 가장 많은 영향을 미친다고 하였다.

Pierzak 등<sup>33)</sup> 은 골-슬개건-골 이식전 골편과 screw가 평행할 때가 divergent 할 때 보다 고정력이 강하다고 하였으며 Matthews 등<sup>34)</sup> 은 screw divergency가 15°이상이면 최대 인장력은 50% 감소하며, 근래에 골-슬개건-골 및 슬피건의 고정에 많이 사용되고 있는 bioabsorbable interference screw 는 screw design, material property 등을 개선하여 titanium interference screw를 대신할 수 있다고 하였다<sup>35)</sup>.

Mologne 등<sup>36)</sup> 은 여러 가지 고정 방법에 따른 ultimate strength(N), stiffness(N/mm), slippage under cyclic load, extension at failure 등을 여러 문헌을 참조하여 보고하였다(Table 1). Cross pin 고정 방법이 고정강도 1002 N~1600 N으로 가장 강력한 고정 방법이라고 하였다.

저자들은 현재 전방십자인대 재건술에 사용되고 있는 여러 가지 고정 방법에 따른 이식건의 대퇴골 및 경골 고정 후 초기 안정성에 대하여 실제 술 후 재활기간동안 슬관절에 부하되는 약 30-150N의 주기성의 낮은 부하를 주고 난 후 각각의 생역학적 특성을 비교 분석하였다.

고정방법에 따른 최대의 장력은 주기성 부하를 시작하기 전 후를 비교하였을 때 LA 나사군은 평균 1003.4±145N에서 601.0±154N으로, 티타늄 간섭나사군은 평균 1067.01±148N에서 601±134N으로, BPTB-Bioscrew군은 평균 987±168N에서 588.7±124N으로, Hamstring-Bioscrew군은 평균 565.5±140N에서

360±56N으로, Semifix군은 평균 1431.6±135N에서 710±114N으로 Endobutton군은 평균 603.6±54N에서 459.0±46N으로 고정력이 약 40~50% 감소하였으며, Endobutton군, Hamstring-Bioscrew군 등의 고정방법은 인장력에 있어 다른 군에 비해 불충분한 초기 안정성을 제공하는 것으로 생각되었다. 경골측 고정 경우 이전의 단순 인장 부하검사의 결과들은 기존의 경골측 고정방법에 따른 고정력이 초기 부하를 견뎌내는데 충분하다고 보고하고 있으나, 주기성 부하를 주기 전 후 최대인장력을 비교해 본 결과, BPTB-티타늄 간섭나사군은 평균 625.1±116.7N에서 358.9±93.1N으로, BPTB-생체 흡수성 간섭나사군은 평균 557.1±76.9N에서 275.1±53.7N으로, Hamstring-티타늄 간섭나사군은 평균 741.2±84.5N에서 421.3±87.7N으로, Hamstring-생체흡수성 간섭나사군은 평균 638.2±87.7N에서 347.3±93.0N으로, Hamstring-격쇠못군(turn buckle technique)은 평균 690.0±92.1N에서 302.2±65.3N으로, Hamstring-Tie over screw post 군은 평균 268.8±26.3N에서 242.4±22.4N으로 감소되는 등 대부분의 고정방법들이 불충분한 초기 안정성을 제공하는 것으로 생각된다.

이식건 고정방법에 따른 ultimate tensile load, pull out strength 뿐만 아니라 이식건 고정 장치와 관절면과의 위치에 따른 이식건의 골터널 내에서의 움직임(longitudinal & sagittal graft tunnel motion) 또한 전방십자인대 재건술 후 슬관절 안정성에 중요하다. Aglietti 등<sup>37)</sup> 은 이식건의 고정을 해부학적인 고정(anatomical fixation)과 비해부학적인 고정(non-anatomical fixa-

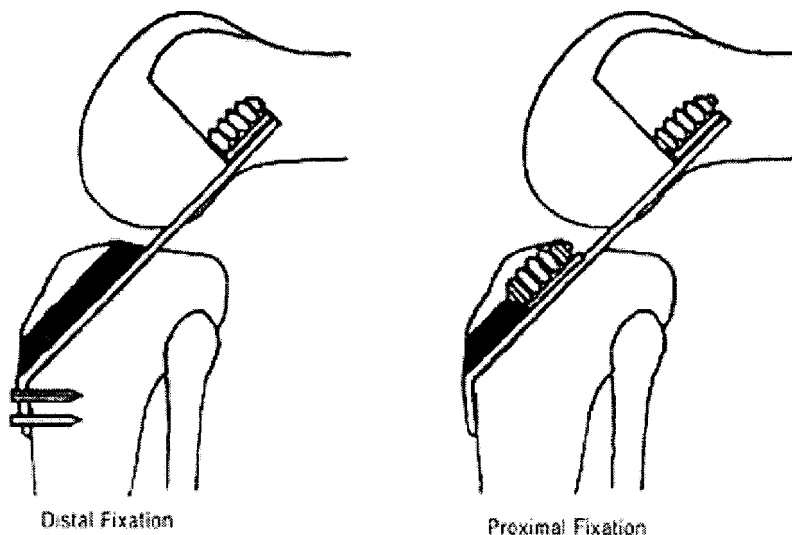


Fig. 1. Proximal fixation of graft provide more stable than distal fixation. The best site of graft fixation is anatomical site and this positioning can provide acute stability similar to that in the intact knee.

tion)으로 구분하고 관절면 근처에서 이식건을 고정하는 해부학적인 고정에 비해 비해부학적인 고정에서 골터널 확장이 많다고 보고하였으며, Ishibashi 등<sup>8)</sup> 은 관절면에 가까운 이식건의 고정(proximal fixation)이 먼 경우(distal fixation)보다 전방 불안정성이 덜하다고 보고하였다 (Fig. 1). Brand 등<sup>4)</sup> 은 spike crusher, transfixation device, staple or suture, tape fixation과 같은 non-anatomic fixation, 이식건과 골터널 사이의 전단력으로 인해 tendon-bone healing이 방해받으며 anatomic or aperture fixation은 이식건과 골터널 사이의 접촉을 좋게 하여 tendon-bone healing을 촉진한다고 보고하였다.

전방십자인대 재건술의 이식건 고정방법은 지금까지 많은 발전이 이루어졌으나, 아직까지도 술 후 조기 재활운동을 제한하는 요소 중의 하나이다. 이식건 및 고정장치에 가해지는 물리적인 힘을 견딜 수 있을 뿐만 아니라 이식건과 골사이의 osteointegration을 촉진할 수 있는 것이 이상적인 이식건의 고정 방법이라 하겠다.

## REFERENCES

- 1) Agliatti P, Zauberotti G, Simeone AJV et al: Anatomic versus nonanatomic tibial fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patella tendon-bone graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 6:S43-48, 1998.
- 2) Albert van Kampen, Ate B. Wymenga, Huub JL. van der Heide, Han J.A.M. Bakens: The effect of different graft tensioning in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study. *Arthroscopy*, 14(8): 845-850, 1998.
- 3) Amis AA and Jakob RP: Anterior cruciate ligament graft positioning, tensioning and twisting. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 6:S2-S12, 1998.
- 4) Brand J, Weilor A, Caborn DNM et al: Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. *Am J Sport Med*, 28:761-744, 2000.
- 5) Fleming BC, Abate JA, Peura GD, Beynnon BD: The relationship between graft tensioning and the anterior-posterior laxity in the anterior cruciate ligament reconstructed goat knee. *J Orthop Research*, 19:841-844, 2001.
- 6) Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, Ma CB: Current Trends in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med*, 27(6):821, 1999.
- 7) Graf BK, Vanderby R, Ulm MJ, Rogalski RP and Thielke RJ: Effect of preconditioning on the viscoelastic response of primate patellar tendon. *Arthroscopy*, 10(1): 90-96, 1994.
- 8) Ishibashi Y, Rudy TW, Livesag GA et al: The effect of anterior cruciate ligament graft fixation site at the tibia on knee stability: Evaluation using a robotic testing system. *Arthroscopy*, 13:177-182, 1997.
- 9) John LL and Dyk GY: Comparison of failure strength. *Arthroscopy*, 12:452-456, 1996.
- 10) Lab K, Perka C, Schneider F: The biological and biomechanical effect of different graft tensioning in anterior cruciate ligament reconstruction; an experimental study. *Arch Ortho Trauma Surg*, 122:193-199, 2002.
- 11) Matthews LS, Parks BG and Sablgh RC: Determination of fixation strength of Lange-diameter interference screw. *Arthroscopy*, 14:70-74, 1998.
- 12) Mologne TS and Friedman MJ: Arthroscopic anterior cruciate reconstruction with hamstring tendons; indication, surgical technique, complications and their treatment. 3rd eds: *Surgery of the Knee*. New York, Churchill livingston press, 2001, p 683
- 13) Pierzk, Baltz M and fulkerson J: The effect of kurosaka screw divergence on the holding strength of bone-tendon-bone grafts. *Am J Sport Med*, 23:332-335, 1995
- 14) Simonian PT, Levine RE, Wright RM and Wickewicz TL, Warren RF: Response of Hamstring and Patellar Tendon Grafts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction During Cyclic Tensile Loading.
- 15) Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Tamazaki S and Tohyama H: Comparisons of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-bone graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 17(5): 461-476, 2001.
- 16) Woo SL-Y, Fox RJ, Sakane M, et al: Force and force distribution in the anterior cruciate ligament and its clinical implications. *Sportthopaedice-Sporttraumatologie* 13:37-48, 1997.
- 17) Yasuda K, Isujino J, Tanabe Y et al: Effect of initial graft tension clinical outcome after anterior cruciate ligament reconstruction: Autogenous doubled Hamstring tendon connected in series with polyester tape. *Am J Sports Med*, 25:99-106, 1997.
- 18) Yoshiya S, Andrish JT, Manley M et al: Graft tension in anterior cruciate ligament reconstruction: An in viv study in dogs. *Am J Sport Med*, 15:464-470, 1987.
- 19) Yoshiya S, Kurosaka M, Ouchi K, Kuroda R, Mizuno K: Graft tension and knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop and Related Research* 394:154-160, 2002.