

골-슬개건-골을 이용한 전방십자인대 재건술에서 이식물의 길이

가톨릭대학교 의과대학 정형외과

김 정 만

서 론

전방십자인대는 슬관절내에서 관절막에 부착이 없는 유일하게 완전한 관절내 구조물이다²⁰. 전방십자인대의 만성 결손의 재건술에서 슬개골건의 중1/3을 쓰는 것이 보편화 되어 있다²¹.

1980년대 후반기에 이르러 관절경을 이용한 재건술이 시행되기 시작하였고 처음에는 대퇴골측은 봉합사등으로 고정하였다. 간섭나사못(interference screw)의 사용은 Lambert가²² 처음 원리를 발표하였고 이식물(graft)의 고정 강도에 대한 나사못의 크기에 관한 보고가 나온²³ 후에 일반화되었으며, 처음에는 대퇴골 터널에 관해 후방 진입법이 사용되었고 마지막으로 관절내에서 근위부로 터널을 만드는 내시경적 방법이 사용되었다.

국내에서도 관절경을 이용한 전방십자인대의 재건술이 1990년대 초부터 활발해졌으며 초기에는 경골측터널과 대퇴골측 터널을 각각 다른 경로 즉 대퇴골측 터널을 대퇴골 과상부 외측에서 관절로 향하여 만드는 후방경로를 이용하는 후방경로법(rear entry technique)이 사용되다가 3-4년 후에는 1986, 7년경 개발된 단일터널법(unitunnel technique) 또는 단일절개법(single incision technique)이 시도되기 시작하였으며 후자를 내시경 술기(endoscopic technique)라고도 부른다^{24, 25, 26}.

전방십자인대의 재건술에서 슬개건(hamstring tendon)을 이용할 때는 미리 이식물의 길이를 일정하게 만들 수 있으나 골-슬개건-골을 쓸 경우에는 슬개골건의 길이가 개체마다 정해져 있으므로 만들어 놓은 터널내에서 이식물의 길이 변동이 지나치도 안되고 그 차이가 커서 맞지 않을 때(graft-tunnel mismatch) 문제가 생기는 것은 당연하다. 그러므로 터널의 위치가 적당한 장소에 설정되어야 함은 아무리 강조해도 부족함이 없다.

후방진입법과 내시경적 방법의 차이는 대퇴골측 터널에 있다. 후방도달법을 쓸 때는 간섭나사못을 대퇴골과상부 측 근위부로부터 슬관절내로 향하여 삽입하므로 경골측부터 삽입시킨 이식물을 근위부로 끌어 올릴 수 있어 터널 길이와 이식물 길이를 맞추는데 어려움이 없다. 따라서 이 이식물-터널 길이 부조화 문제는 내시경적 술기를 이용할 때 발생하는 것이다. 이 두 방법의 임상적 결과의 차이는 아직 확실치 않으며 Harner들에 의하면 최소 2년간의 추적시에 기능적 그리고 방사선적으로 큰 차이는 없다고 한다¹⁵.

실제 내시경적술기는 절개 수가 적고, 대퇴골측 터널은 관절내에서 가이드를 보면서 위치 선정을 정확히 할 수 있고, 이식물의 골편 끝의 위치를 터널의 입구에 정확히 맞출 수 있어 이식물의 마모를 감소시킬수 있는데 비해³⁸ 단점으로는 경골측 터널의 위치와 방향에 따라 대퇴골측 터널의 입구와 방향이 영향을 받아 초심자에게는 난이도가 높고 이 굴에서 다루고자하는 이식물-터널 부조화가 발생할 수 있다는 단점이 있다. 후방 도달법은 대퇴골측 터널 입구의 정확한 위치 선정에 다소 어려움이 있고 대퇴골측 터널의 관절면 입구에 이식 골편이 같은 수준으로 맞추기 힘들다. 그러므로 실제 골쪽 신전시에 납작한 이식 건이 원형의 넓은 터널입구에서 위치가 변하므로 이론적으로 볼 때 동적집이 변하고 마모가 올수 있다는 것이 단점이다. 그러나 기술적으로 비교적 쉽고 이식물-터널 길이 부조화는 일어나지 않는다.

이식물 고정의 문제는 고정법 자체보다는 경골 및 대퇴골측 터널의 관절내의 개구 위치가 중요하며 이것은 슬관절의 신전, 굴곡시에 길이 변화가 없거나 허용 범위 이내 이어야 한다는 명제 때문에 생긴 것이다.

이식물의 길이 변화

슬관절의 굴곡과 신전시에 이식물의 길이 변화가 없고 긴장도(tension)도 변화가 없는 상태를 '동적성으로(iso-

* 통신저자 : 김 정 만
가톨릭대학교 의과대학 정형외과

metrically) 위치된 것'이라고 말한다⁴⁰⁾. 경골과 대퇴골 터널의 위치가 모두 관여하지만 경골측이 잘못되었을 때보다는 대퇴골측이 잘 못되었을 때 더 큰 영향이 있다^{6,12,19,43)}. 그러나 실제 수술시에 대퇴골 터널의 위치는 제 위치에 놓기가 기술적으로 쉬우므로 경골측 터널을 너무 앞으로 놓으므로써 생기는 지붕충돌(roof impingement)이 흔히 문제가 된다^{31,22,24,29,40)}.

그러나 그렇다고 해서 의도적으로 경골측 부착부를 너무 후방으로 위치시킨다면 이식물의 적당한 변형률(strain)을 해칠수 있다^{3,4,40)}. 실제로는 어느 한점이 정확하게 등척점이 되는 곳은 없고 1.0mm 이하의, 오직 가장 근사치를 나타내는 점이 있을 뿐이다⁴¹⁾.

실제 임상적으로 수술시에는 이식물의 경골-대퇴골 거리 변화가 2mm 이내이면 된다³⁹⁾.

완전한 등척점이 없는 것은 원인은 모르나 슬관절의 동역학(kinematics)이 복잡하기 때문인데, 즉 슬관절의 굴곡시에는 시상면에서 경골-대퇴골의 되돌림(roll-back)이 일어나고 신전시에는 screw-home 현상이 일어나는등 슬관절은 단순한 hinge가 아니고 최소 두 개 이상의 면에서 일어나는 다축회전캠(multiaxial rotating cam)이기 때문인 것으로 풀이된다. 이점이 원래의 전방십자인대 부착부의 중심점이되며 완전 등척점은 아니나 가장 등척인 점으로서 정상 생리적거리(physiometry)를 보이는 슬관절운동 범위의 초기에 과도한 길이 연장(elongation)을 막는 점이라고 하였다³⁹⁾. 이것은 전방십자인대의 해부학적 위치가 가장 등척점에 가깝다는 말이 된다³⁹⁾.

슬관절의 굴곡-신전시 이식물의 인장력(tensile force)의 변화의 폭을 최소화하기 위해서는 경골측 및 대퇴골측 부착부위를 등척점에 "가장 가깝게 (near isometric)" 함으로써 가능하다⁴²⁾. 대퇴골측의 등척점에 가장 가까운 지점에 대해서는 의견이 분분하다. 즉 후방부라는 설^{19,32,40,46)}, 중간부라는 설^{6,16,39)}, 그리고 전방부에 있다는 설^{동이다^{5,42,44)}.}

이것은 이식물이 정상 전방십자인대의 모양과 아주 다르고, 단면이 원형이 아닌데다, 전방 십자인대는 대퇴골 부착부위의 약 5mm 하방부터 나선형으로 꼬이는데, 이의 정확한 의미는 아직 모른다고는 하나 이식물에서 이와 같은 구조물을 똑같이 흉내 낼 수 없기 때문에 등척점에 만들어 놓는 것만이 정상 전방십자인대와 비슷한 기능을 재현시킬 수 있는 길이기 때문이다³⁹⁾.

일반적으로 이식물이 대퇴골의 부착부에서 너무 전방부

에 위치하면 해부학적으로 위치했을 때보다 굴곡시 긴장도가 증가하며, 최대 신전시에는 감소한다는 것에는 이견이 없다^{8,12,16,19,40)}. 그러나 'over-the top(OTT)' 위치에 있을 때는 그 반대가 되어 정상보다 굴곡시 긴장도가 감소하며, 완전 신전시 증가한다^{3,18,36,40,41)}. Flemming등(1992)에 의하면 경골과 대퇴골의 부착부의 해부학적 부착부의 중심을 연결하는 터널-터널(T-T) 방식과 경골은 해부학적 부착부 중심에, 대퇴골은 OTT 위치에 놓고 보았을 때 이완 발생률은 유의한 차이가 없었다고 하여 OTT도 임상적으로 사용할 수 있음을 주장하였다³⁹⁾.

정상 전방십자인대의 방사선학적 연구 결과 경골측 등척점은 대퇴골측 부착점을 Acuflex사의 Isotack suture fixation screw로 시상면에서 over-the top 위치보다 7mm 전방부에 중심점을 잡되 11시(우측), 1시(좌측) 위치의 후외방(이저점이 원래 있던 전방십자인대의 해부학적 중심부에 가장 가깝다)에 고정된 상태이며 1 +/- 1mm 전체 길이 변화만을 허용하는 조건으로 본다면 시상면에서 후방십자인대의 전연에서 7mm 전방의 점이 해당된다³⁹⁾.

이식물-터널 길이 부조화의 처리 방법

이식물과 터널 길이의 불일치로 말미암아 간섭나사못을 사용하지 못하는 일은 종종 일어나고 있다. 이러한 원인은 골-슬개건-골의 길이와 관절내 이식물의 길이가 차이가 일어나는데서 발생한다. 이것에 대해 Shaffer등은 전방십자인대의 경골측 및 대퇴골측 부착부 사이의 거리와 슬개골건의 길이를 측정하였더니 전자는 26.3 +/- 3.0mm, 후자는 48.4 +/- 6.0mm였으며 터널의 길이를 감안하더라도 슬개골건의 길이가 50mm 이상이면 이식물-터널 부조화가 일어난다고 하였다.

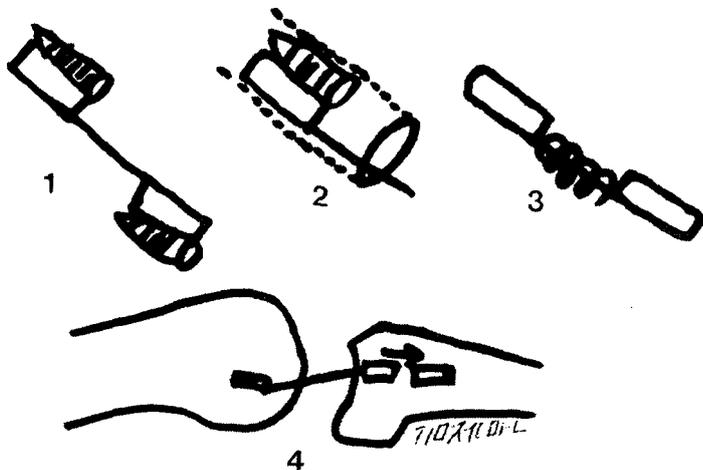
그러나 수술 중 길이 측정은 매우 어려워져 여러 가지 실수를 할 사유가 발생하는데, 즉 1) 거리측정할 때 잡은 점이 이식물을 위치시킨 점과 다를 수가 있고, 2) 측정 기구가 골의 표면에 완전 부착이 되지 않을 수도 있으며, 3) 가이드의 끝이 가이드핀 삽입구의 2-3mm에 정확히 위치하여야 하는데 이것이 잘 안될 때가 있으며, 4) 측정 기구의 나사를 꼭 조였을 때 눈금 판독에 오류를 일으킬 수 있고, 5) 경골 터널이 너무 넓게 만들어졌을 경우 최초 가이드핀으로 썼을 때와 차이가 날 수도 있다는 것이다. 이러한 이식물-터널 부조화를 극복하기 위한 처방이 몇가지가 소개되어 있는데 이를 소개하고 그 장단점을 논해보고자 한다⁴²⁾.

1. 다른 이식물(슬픽진동)을 사용하는 법 : 이 방법은 이미 골-슬개골-골을 만들어 놓은 후 부조화가 발생된 경우에는 사용할 수가 없고 그렇지 않은 경우라도 골과 골 치유가 되지 않고 조가 재합이 어렵다는 등 해결해야될 문제가 있다.
2. 간섭나사못이 아닌 다른 고정 방법을 병용하는 법 : 예를 들어 경골측 골편을 골(trough)을 만들어 넣고 스테이플을 사용하는 방법이다. 이것은 흔히 사용할 수 있는 대치 기술이다. 이것은 한번의 부하를 검사하는 방법으로는 고정 강도가 간섭나사못과 비견할 수도 있으나 주기적(cyclic) 부하-실패검사(load failure test)상에서는 의문이 남으며 재합에 신중을 기해야 한다.
3. 원위부에 나사를 삽입할 때 짧은 나사로 이식물 골편 길이의 일부만 고정하는 법 : 이것은 그 고정 강도를 보장할 수 없다.
4. 원위 골편을 180도 돌려서 터널의 원위부쪽에 나사가 있도록 고정함으로써 나사와 골편의 접촉을 조금 더 길게 하는 법(Fig. 1)
5. 이식물의 근위방향으로의 후퇴(proximal graft recession) : 이것은 손쉽게 시행할 수 있는데 대퇴골측으로 터널을 길게 연장해 이식물을 더 멀어놓고 고정하는 방법이다^{2,30)}(Fig. 2). 이것의 단점은 이식물이 얇은 막과 같으므로 원래 계획하여 정해놓은 등

척점보다 터널 입구에서 이식물이 놓이는 면이 후방에 위치한다는 점이다.

그러나 오히려 후방에 위치하는 것이 좋으므로 이 방법이 필요하면 일부러 터널을 더 후방으로 만들라는 주장도 있다⁴⁾. 그러나 골곡과 신전시에 터널 입구에서 이식물의 위치가 움직이는 것은 역시 단점이다. 이것을 막기위해 경골측에서 이식물을 수확할 때 슬개골전외, 경골측 부착부보다 근위부의 골을 더 붙인 채로 패어(nubbin) 이물 이식건의 보호와 터널내의 무측 공간의 충전효과에 이용하는 것도 시도되었으나 이것도 슬관절의 굴곡-신전을 반복하면 골절이 발생하고 유리체로 될 가능성도 있다⁴⁾. 결국 이 근위 후퇴법은 이식물의 변형률(strain)을 변화 시킬 뿐 아니라 대퇴골측 터널 입구에서 이식물의 감입 마모(impingement wear)를 일으키고 간섭나사못을 이식물과 평행하게 위치 시키기 어렵게 되며 후방도달법과 같은 효과가 온다는 것이다.

6. 이식물을 꼬아서 길이를 짧게 한후 간섭나사못으로 고정하는 법 : 이방법의 장점은실현상 이식물의 강도를 높이고, 긴장도를 줄일 수 있다는 것이나 장기 추시한 결과는 보고되지 않았다(Fig. 3).
7. 경골측 터널을 원래보다 더 수직으로 만드는 방법: 이 방법을 쓰면 터널의 길이는 길어지나 처음부터 이렇게 했을 경우 단일 절개법으로 경골측 터널을 통한 대퇴골측 터널을 만들기 어렵다(Fig. 4).



◀ Fig. 1. Distal graft rotation.
 2. Proximal graft recession.
 3. Graft shortening through twisting.
 4. Vertical tibial tunnel.

대퇴골측 터널 만들기

대퇴골측 터널은 정상 전방십자인대의 위치와 같은 곳에 만드는 것을 목표로 한다. 단일 절개법으로는 간접나사못을 써서 대퇴골측을 고정하는데 이는 터널속에서만 가능하다. 사실 "over-the top" 위치에서는 슬관절 신전시에 이식물의 길이가 14%나 증가하며 전방십자인대의 가장후상방에 틀 경우에도 신전시에 7-9%의 길이 증가가 있기 때문에 바람직하지 않다³⁸. 그러므로 Morgan등(1985)에 의하면 "over-the top" 위치보다 7mm 전방부에 터널의 중심을 잡고자 할 때 10mm 지름의 터널을 만들려면 중심에서 후방으로 5mm 반지름이 있으므로 터널의 후방벽을 2mm가 되게 하면 되므로 이와 같은 가이드를 쓰면 된다³⁹ (Fig. 5).

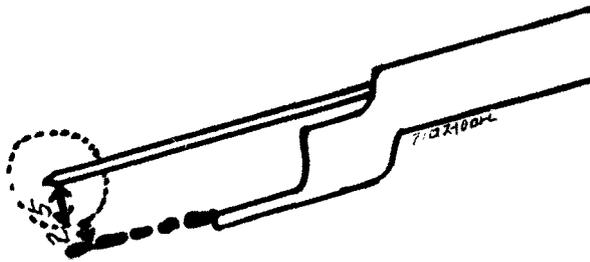


Fig. 5. Ten mm diameter tunnel; Five mm radius with 2 mm thick posterior wall.

경골측 터널 만들기

이식물 실패의 가장 흔한 원인은 상부 대퇴골 절흔 충돌 (superior femoral notch impingement)이다⁴⁰. 이식물이 너무 전방에 위치할 경우 이식물의 섬유결절을 만드는 이유가 되기도 한다⁴⁰. 이것은 대퇴골측보다는 경골측에서 터널의 위치를 잘 못 잡아 일어나기가 더 쉽다⁴⁰. 전방십자인대의 경골부착부는 앞뒤로 길쭉하게 내측과간돌기 (medial intercondylar tubercle)의 전외측에 위치하며 그 가치를 외측측부인대의 전각과 또는 드물게는 후각에도 보낸다⁴¹. Jackson과 Casser에⁴² 의하면 경골측 터널 중심의 위치 선정의 해부학적 지표는 네가지가 있다. 즉 1) 외측반월상연골의 전각부, 2) 내측경골극 (medial tibial spine), 3) 후방십자인대, 4) 전방십자인대의 그루터기 (stump)가 그것이다. 그들에 의하면 경골 터널의 전후방에서의 중심은 외측반월상연골의 전각부의 내연의 연장선 상에 있으며, 이점은 또 바로 후방십자인대의 전연 (ante-

rior margin)에서 6-7mm에 위치한 곳이고, 또 이곳이 바로 내측경골극의 중간부의 바로 안쪽이며 전방십자인대 그루터기의 후1/2에 해당하기도 한다고 하였다. 후방십자인대를 기준 구조물로 한 Morgan등에 의하면 후방십자인대의 전연에서 평균 7mm (범위 7-8mm)가 시상면에서의 전방십자인대의 중심점이라고 하였다⁴³ (Fig. 6). 내외측에서의 중심은 내측경골극의 내측 중심의 기지부가 되며 이는 바로 전방십자인대의 내외측의 중심부에 해당한다. 만일 너무 내측으로 치우친다면 경골내측과의 관절 연골을 상할 뿐 아니라 후방십자인대를 약간 닿는 정도의 이상적 위치가 아닌 후방십자인대를 휘감는 상태가 되기 쉬우므로 조심해야 한다. 또 너무 외측으로 하면 외측반월상연골의 전각부를 손상시키고 대퇴외측과의 내측벽에 충돌을 일으키기 때문에 조심하여야 하며 상기 여러 표식물을 두루 이용하여 적절한 위치를 선정하여야 한다.

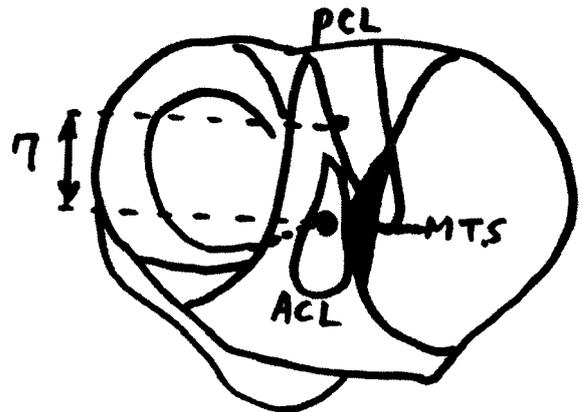


Fig. 6. Morgan's study: The center of ACL is located 7 mm anterior from anterior margin of the PCL.

대퇴골 터널의 위치는 경골측 터널의 위치에 따라 영향을 받고 깊이는 삽입하고자 하는 이식물의 풀편 길이에 영향을 받으나 경골은 먼저 만드는 터널이고 그 뚫는 각도에 따라 길이가 가변적이므로 중요하다. 결국 이것이 이식물-터널 부조화를 막느냐 못막느냐의 첫 번째 결정 요인이 된다. 즉 경골과의 관절내 터널입구 중심점이 선정되었으므로 관절의 경골 내측부위의 어느 점에서 터널을 만들어 올라가느냐 하는 것이다. 터널의 길이를 길게 하려면 좀 더 원위부에서 시작하여야 할 것이고 그렇게 되면 터널이 매우 수직적이 되어 단일 터널 술기를 적용하려면 대퇴골의 터널을 뚫기가 어렵다. 즉 슬관절을 굴곡한 위치에서 근위

부로 진입할 경우 대퇴골의 터널이 너무 전방에 위치하게 되고, 그것을 만회하기 위해 슬관절을 신전시킨 위치에서 근위부로 진입하려고 하면 대퇴골의 후방 골피를 파손시키기 쉽다. 가장 좋은 것은 이식물의 길이를 먼저 측정하여 놓고 그에 맞는 경골측 길이를 산정한 다음 가이드를 써서 경골측 터널의 위치를 선정하는 것이다.

그러나 실제에 있어서는 경골측 터널을 만들기 전에 관절내 길이를 재려면 특수한 기구가 필요하다. 완전 신전위의 외측방시선상에서 intercondylar roof 후방에서 평행한 선을 그어 경골고원(tibial plateau) 선과 이루는 각을 측정하면 이것이 가이드의 고정 각도가 된다. 이것은 흔히 경골측 터널의 길이가 45-55mm가 되고, 경골고원과는 50-60도가 되며 대퇴골의 종축과는 30-40도가 된다²⁶⁾. Morgan은 거위발건(pes anserinus tendon)의 부착부 1cm 근위부, 경골극(tibial tubercle)의 내면에서 후내방으로 1.5cm 떨어진 지점에서 시작하면 시상면에서의 터널-고원각이 68 +/- 3도가 되고 경골 터널의 길이가 항상 58 +/- 3mm가 된다고 하였다²⁸⁾.

실제 수술시 이식물 길이 변화의 의미

정상 전방십자인대는 굴곡과 신전에 길이가 고정되어 있지 않다. Wang과 Walker는 방사선학적 조사 결과 신전에서 90도 굴곡시까지 7%가 증가하며 그후는 변화가 없다고 하였다²⁹⁾.

수동적 운동시 받는 변형율은 5.5%라는 strain transducer를 이용한 연구가 있으며³⁰⁾ 다른 여러 문헌들을 종합해 보면 견딜 수 있는 변형율의 상한치는 5-6%이며 그 이상이 되면 파열이 일어나기 시작한다고 본다³⁰⁾. 다시 말하면 수동적 운동시 길이 변화가 2.5mm 보다는 작아야 안전하다는 것이다^{11,22)}.

이것을 실제 수술시에 어떻게 적용할 것인가?

이미 말한 바와같이 대퇴골의 기시부가 전방으로 전위된다면 슬관절 굴곡시에 길이가 길어지고 후방으로 전위될 경우에는 신전에 길어진다. 또 경골 부착부의 전방전위는 역시 굴곡시에 5mm까지 길이가 늘어날 수 있고 후방으로 전위되면 신전에 9mm까지 길이가 늘어난다²⁶⁾.

그런데 보행시 완전 신전이 되어야 하므로 신전의 길이를 수술시에 확보해야 한다. 즉 완전 신전 위치에서 간섭나사못을 고정하여야 한다는 말이 된다. 그러므로 이렇게 신전에서 고정하여 놓았을 때 굴곡시에 이식물이 끌려들어가지 않고 늘어지는 것은 허용되나 굴곡시 끌려들어간다면 보행을 하면서 완전 신전위가 되면 너무 긴장되어

즉시 파열이 시작된다고 본다. 따라서 신전에서 최대 길이가 되도록 하여야 한다. 즉 대퇴골 부착부가 정상이거나 약간 후방으로 치우치는 것은 허용되나, 전방 전위는 허용되지 않으며, 경골 부착 부위도 등척점 위치이거나 약간 후방으로 치우치는 것은 허용되나 전방으로 전위되는 것은 실패의 원인이 된다.

실제 임상에서 시술하다 보면 이미 대퇴골측 간섭나사못은 고정해 놓은 상태에서 완전 신전하여 경골측 골편을 연결한 실을 잡고 팽팽히 잡아 당긴 때 경골 터널 속에서 골편이 잘 보이고 이것이 슬관절의 수동적 굴곡시에 근위부로 끌려들어가지 않으면 그 대로 신전 위치에서 고정하면 된다. 그러나 굴곡시에 끌려들어가면 굴곡시에 대퇴골-경골 부착부 길이가 늘어나 더 긴 이식물 길이가 요한다는 뜻이 되므로 만약 신전에서 고정하면 굴곡시에 파열이 일어날 것이요, 이를 막기 위해 굴곡시의 위치로 고정하면 신전에서 전방전위가 일어나 Lachman 검사가 양성이고 그 정도가 심하면 jerk 검사도 양성이 되므로 재건술의 의미가 없어진다. 이런 현상이 아주 심할 때는 터널을 풀이식으로 충전하고 다시 한 개 또는 두 개 모두의 터널을 만드는 수밖에 없고 이것이 불가능하면 슬관절 사용을 고려해 볼수도 있으나 이는 역시 근본적 해결이 아니므로 조만간 파열이 났음을 것이 예상된다. 그 정도가 경하면 Lachman검사에서 2mm정도 이하의 양성이 되는 정도로 약간의 불안정성을 감수하고 굴곡위치에서 고정할 수도 있다.

요 약

전방십자인대의 골-슬개관-골을 이용한 내시경적 재건술의 시행은 이식물-터널 부조화가 일어날 수 있으며, 경골측 터널을 시작하는 부위의 올바른 선정과 각도가 중요하며 대퇴골측 및 경골측 터널의 관절내 부착부가 등척점에 가까워야 하고, 길이 변화가 2mm 이내 이어야 하며, 등척점과 다룰 때는 두 점이 모두 과도한 전방 전위가 되지 않도록 하여야 하고, 길이의 부조화가 일어날 때 흔히 이식물이 터널보다 길어지는 것이 상례인데 이를 극복하는 방법을 고찰하였다.

REFERENCES

1. Acker J and Draws D : Analysis of isometric placement of grafts ACL procedures. *Am J Knee Surg*, 2:65, 1989.
2. Aglietti, P, Buzzi R, D'Andria S and Zaccherotti G : Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction

- with patellar tendon. *Arthroscopy*, 8:510-516, 1992.
3. Arms SW, Pope MH, Johnson RJ, Fischer RA and Arvidsson I : The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med*, 12:8-18, 1984.
 4. Beck CI, Jr, Paulos LE and Rosenberg TD : Anterior cruciate ligament reconstruction with the endoscopic technique. *Op Techniques Orthop*, 2:86-98, 1992.
 5. Blankevoort L, Huiskes R : ACL isometry is not the criterion for ACL reconstruction. *Trans Orthop Res Soc*, 16: 203, 1991.
 6. Bradley J, Fitz Patrick D, Daniel D, ShereLife T and O'Connor J : Orientation of the cruciate ligament in the sagittal plane. *J Bone Joint Surg*, 70-B:94-99, 1988.
 7. Brown H and Indelicato P : Complications of ACL reconstruction. *Op Techniques Orthop*, 2:125-135, 1992.
 8. Bylski-Austrow D, Grood E, Hefzy M, Holden J, Butler D : Anterior cruciate ligament replacements: a mechanical study of femoral attachment location, flexion angle at tensioning, and initial tension. *J Orthop Res*, 8:522-531, 1990.
 9. Dodds JA and Arnoczky SP : Anatomy of the anterior cruciate ligament: A blueprint for repair and reconstruction. *Arthroscopy*, 10:132-139, 1994.
 10. Flemming B, Beynon J, Howe J, McLeod W, Pope M : Effect of tension and placement of a prosthetic anterior cruciate ligament on the anteroposterior laxity of the knee. *J Orthop Res*, 10:177-186, 1992.
 11. Girgis FG, Marshall JL, AlMonajem ARS : The cruciate ligaments of the knee joint: anatomical, functional, and experimental analysis. *Clin Orthop*, 106:216-231, 1975.
 12. Goble EM, Downey DJ and Wilcox TR : Positioning of the tibial tunnel for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 6:688-695, 1995.
 13. Good L and Gillquist J : The value of intraoperative isometry measurements in anterior cruciate ligament reconstruction: An in vivo correlation between substitute tension and length change. *Arthroscopy*, 9:525-532, 1993.
 14. Good L, Odensten M, Gillquist J : Precision in reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Acta Orthop Scand*, 58:658-661, 1987.
 15. Harner CD, Marks PH, Fu FH, Irrgang JJ, Silby MB and Mengato R : Anterior cruciate ligament reconstruction: Endoscopic versus two incision technique. *Arthroscopy*, 10:502-512, 1994.
 16. Hefzy M, Grood ES : Sensitivity of insertion locations on length patterns of anterior cruciate ligament fibers. *J Biomech Eng*, 108:73-82, 1986.
 17. Hefzy MS, Grood ES, Noyes FR : Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. Part II. Anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 17:208-216, 1989.
 18. Hendler RC : A uni-tunnel technique for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Techniques in Orthop*, 2:52-59, 1988.
 19. Hoogland T, Hillen B : Intra-articular reconstruction of the anterior cruciate ligament. An experimental study of length changes in different ligament reconstructions. *Clin Orthop*, 197-202, 1984.
 20. Howell SM : Arthroscopic roofplasty: a method for correcting an extension deficit caused by roof impingement of an anterior cruciate ligament. *Arthroscopy* 8:375-379, 1992.
 21. Howell SM, Berus GS, Farley TE : Signal intensity measurements of unimpinged and impinged anterior cruciate ligament grafts. *Radiology*, 179:634-643, 1991.
 22. Howell SM, Clark JA : Tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstructions and graft impingement. *Clin Orthop*, 283:187-195, 1992.
 23. Howell SM, Clark JA, Blasler RD : Serial magnetic resonance imaging of hamstring ACL autografts during the first year of implantation. *Am J Sports Med*, 19:42-47, 1991.
 24. Howell SM, Clark JA, Farley TE : A rationale for predicting anterior cruciate graft impingement by the intercondylar roof: A MRI study. *Am J Sports Med*, 19:276-281, 1991.
 25. Howell SM, Clark JA, Farley TE : Serial magnetic resonance study assessing the effects of impingement on the MRI image of the patellar tendon graft. *Arthroscopy*, 8: 350-358, 1992.
 26. Jackson DW and Gasser SI : Tibial tunnel placement in ACL reconstruction. *Arthroscopy*, 10:124-131, 1994.
 27. Kennedy JC, Weinberg HW and Wilson AS : The anatomy and function of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 56-A:223-235, 1974.
 28. Kurosaka M, Yoshiya S, Andrish JT : A biomechanical comparison of different surgical techniques of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 15:225-229, 1987.
 29. Lambert KL : Vascular patellar tendon graft with rigid internal fixation for anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop*, 172:85-89, 1983.
 30. Marzo JM, Bowen MK, Warren RF, Wickiewicz TL and Altchek, DW : Intraarticular fibrous nodule as a cause of loss of extension following anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 8:10-18, 1992.
 31. Meade TD and Dickson TB : Technical pitfalls of single incision arthroscopic-assisted ACL reconstruction. *Am J Arthrosc*, 2:15-19, 1992. reconstruction. *Am J Arthrosc*, 2:15-19, 1992.

32. **Melhorn M, Henning C** : The relationship of the femoral attachment site to the isometric tracking of the anterior cruciate ligament site to the isometric tracking of the anterior cruciate ligament graft. *Am J Sports Med*, 15:539-542, 1987
33. **Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM** : Definitive landmark for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 3:275-288, 1995
34. **Morgan CD, Kalman VR and Grawl DM** : Isometry testing for anterior cruciate ligament reconstruction revisited. *Arthroscopy*, 11:647-659, 1995.
35. **Noyes FR, Keller CS, Grood ES and Butler DL** : Advances in the understanding of the knee ligament injury, repair and rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc*, 16:427-443, 1984.
36. **Odensten M, Gillquist J** : Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg*, 67-A:257-262, 1985.
37. **Odensten M, Gillquist J** : A modified technique for anterior cruciate ligament(ACL) surgery using a new drill guide for isometric positioning of the ACL. *Clin Orthop*, 213:154-158, 1986.
38. **O'Donnel JB and Scerpelli TA** : Endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction: Modified technique and radiographic review. *Arthroscopy*, 11:577-584, 1995.
39. **Paulos LE, Chert J, Rosenberg TD, Beck CL** : Anterior cruciate ligament reconstruction with autografts. *Clin Sports Med*, 10:469-485, 1991.
40. **Penner DA, Daniel DM, Wood P, Mishra D** : An in vitro study of anterior cruciate graft placement and isometry. *Am J Sports Med*, 16:238-243, 1988.
41. **Sapega AA, Moyer RA, Schneck C, Komalahiranys N** : Testing for isometry during reconstruction of the anterior cruciate ligament. Anatomical and biochemical considerations. *J Bone Joint Surg*, 72-A:259-267, 1990.
42. **Schaffer B, Gow W, Tibone JE** : Graft tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction: A new technique of intraarticular measurement and modified graft harvesting. *Arthroscopy*, 9:633-646, 1993.
43. **Sidles J, Jarson R, Garbini J, Downey D, Matsen F** : Ligament length relationships in the moving knee. *J Orthop Res*, 6:593-610, 1988.
44. **Trent P, Walker P, Wolf B** : Ligament length patterns, strength, and rotational axes of the knee joint. *Clin Orthop*, 117:263-270, 1976.
45. **Wang CJ and Walker PS** : The effects of flexion and rotation on the length patterns of the ligaments of the knee. *J Biomech*, 6:587-596, 1973.
46. **Yaru NC, Daniel DM, Pennar D** : The effects of tibial attachment site on graft impingement in an anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 20:217-220, 1992.

Graft Length of the Bone-patellar Tendon-bone for Reconstruction of ACL

Jung Man Kim, M.D., Ph.D.

*Department of Orthopedic Surgery, Kang-Nam St. Mary's Hospital
The Catholic University of Korea, College of Medicine*

Various surgical techniques has been advocated for reconstruction of anterior cruciate ligament using the bone-patella tendon-bone graft. Recently endoscopic technique provides good clinical results, with minimal skin incision, accurate positioning of the graft to the femoral tunnel, and decreasing wear rate of the graft. But the graft-tunnel mismatch remains problematic in endoscopic technique.

The purpose of this paper is to described causes of the graft-tunnel mismatch and to provide important steps to prevent or minimize the graft-tunnel mismatch following anterior cruciate ligament while using the endoscopic technique. Our guideline for prevention of the graft-tunnel mismatch are as follows: (1) The tunnel should be positioned closely to isometric point as much as possible. (2) Anterior placement of the tunnel should be avoided. (3) The change of graft length should be within 2mm between flexion and extension position.

Key Words : Knee, Anterior cruciate ligament, Reconstruction, Complication
