

이중 다발 전방십자인대 재건술

차 의과학대학교 분당차병원 정형외과

김재화 · 김정렬

Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Jae-Hwa Kim, M.D., Jung Ryul Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, CHA Bundang Medical Center,
CHA University School of Medicine, Sungnam, Korea

The concept of double-bundle ACL reconstruction was introduced recently to restore the anatomical and biomechanical functions of the native ACL. According to anatomical and biomechanical studies, the separate reconstruction of anteromedial and posterolateral bundle expect to increase the overall postoperative stability and clinical results compared to single-bundle ACL reconstruction. But there is still a lack of available clinical outcome studies with sufficient follow-up to demonstrate the real advantages of double-bundle ACL reconstruction. The purpose of this article is to review the evidence to support double-bundle technique and to address controversies existing over the usefulness of this technique.

KEY WORDS: Anterior cruciate ligament, Reconstruction, Double-bundle technique

서 론

현재까지 전방십자인대 재건술의 표준 치료(Gold standard)는 관절 운동에 따라 길이 변화가 적은 전내측 다발(Anteromedial bundle: AMB)만을 재건하는 단일다발 재건술로 보고 되어 있다. 하지만 15~31%의 환자에서 술 후 지속적인 슬관절 동통과 불안정성을 호소하며 격한 스포츠 활동 시 경골의 회전에 대한 제어를 손상 전 수준으로 회복시키지 못한다는 보고가 있고,¹⁻⁶⁾ 여러 연구에서 단일 다발 재건술은 회전 안정성을 포함한 정상적인 슬관절 운동역학 회복이 불가능하므로 술 후 속발되는 퇴행성 변화가 높다고 보고한 바 있으며,⁷⁻¹⁰⁾ 최근 연구에서는 술 후 pivot shift 검사 양성인 경우가 12~30%로 보고되고 있다.^{11,12)} 이는 오랜 기간에 걸쳐

우수한 임상적 결과와 안정성 회복이 입증된 단일 다발 재건술이 향후 개선의 여지가 있음을 의미하며 특히 재건술 후 속발되는 퇴행성 변화를 막기 위해서 회전 안정성을 포함한 정상적인 슬관절 운동역학적 회복의 중요성이 강조되고 있다.¹³⁻¹⁵⁾ 1983년 Mott¹⁶⁾에 의해 처음 소개된 이래 전방십자인대 이중 다발 재건술은 지속적인 해부학적 및 생역학적 연구를 토대로 기존의 재건술 결과를 향상시키기 위해 발달되었고 다양한 술기로 시도되면서 진화를 거듭하고 있다. 그러나 이중 다발 재건술과 단일 다발 재건술에 대한 임상적 결과에 대해서 비교 논문들이 있음에도 불구하고, 이중 다발 재건술이 단일 다발 재건술에 비해 환자에게 만족스러운 결과를 주는지에 대해서 논란이 있다. 이에 저자는 근래에 시행되고 있는 전방십자인대 이중 다발 재건술에 대해서 최근 발표된 문헌들을 중심으로 정리하였다.

본 론

1. 이론적 배경

전방십자인대는 경골 부착부 위치에 따라 전내측 다발(Anteromedial bundle: AMB)과 후외측 다발(Posterolateral

* Address reprint request to

Jae-Hwa Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, CHA Bundang Medical Center, CHA University School of Medicine, Yatap-dong, Sungnam, Korea
Tel: 82-31-780-5289, Fax: 82-31-708-3578
E-mail: drjkim@dreamwiz.com

접수일: 2011년 5월 25일 게재심사일: 2011년 6월 15일

게재승인일: 2011년 7월 30일

bundle: PLB), 두 다발로서 기능상 구분되어 이루어졌으며,¹⁷⁻¹⁹⁾ 관절 각도에 따라 각 다발의 장력이 다르고 상호 관계를 유지하면서 움직인다. 즉, 굴곡 시 AMB 장력은 증가하고 PLB 장력은 감소하며 각 다발은 서로 교차하는 반면 신전 시에는 PLB 장력 증가, AMB 장력 감소, 그리고 각 다발은 서로 평행한 주행을 보인다.¹⁸⁾ Gabriel 등²⁰⁾은 전방 전위력에 대해 AMB는 60도 굴곡, PLB는 신전 할수록 in situ force가 커지며 외반 및 내회전력을 동시에 가한 후 측정된 15도와 30도에서의 in situ force는 AMB가 크지만 각도에 따른 차이가 거의 없는 반면, PLB는 30도에 비해 15도에서 유의하게 in situ force가 커 신전에 가까울수록 회전 안정성에 많은 기여를 하므로 관절의 운동역학을 회복하는데 PLB의 중요성을 강조하였다. Zantop 등²¹⁾은 PLB를 단독 제거한 경우에서 AMB를 단독 제거한 경우 또는 정상 슬관절의 경우보다 전방 불안정성 및 회전 불안정이 유의하게 증가한다고 보고하였으며, 따라서 전방십자인대 손상은 전방 및 내회전 불안정성을 야기한다고 보고하였다. Yagi 등²²⁾도 단일 또는 이중 다발 재건술 모두 전방십자인대의 정상 생역학을 회복하지 못하지만 이중 다발 재건술은 단일 다발에 비해 전방 전위에 대한 in situ force가 정상 인대에 가깝고 외반 및 내회전력에 대해 30도에서의 in situ force가 유의하게 높아 회전력에 대한 생역학적 결과가 우수함을 보고하였고 Mae 등²³⁾은 이중 다발 재건술을 실시한 환자의 생역학적 연구를 통해 전방 전위력에 대한 각 다발의 힘 분포가 정상 인대의 다발과 매우 유사함을 보여 주었으며 Morimoto 등²⁴⁾은 이중 다발 재건술이 대부분 낮은 굴곡 각도에서 정상적인 대퇴골 접촉면적과 접촉 압력에 가깝게 회복시키므로 장기 추시에서 언급되는 퇴행성 관절염 발생의 빈도를 감소시킬 수 있을 것으로 보고하였다.

그런 반면 Markolf 등²⁵⁾은 simulated pivot shift test를 이용한 생역학적 사체실험을 통해 단일 다발 재건술로도 정상 슬관절 운동성 회복이 충분하며 정상적인 pivot shift sign을 회복하기 위해 술기가 복잡하고 시간이 소요되는 이중 다발 재건술의 필요성에 의문을 제기하였고 Streich 등²⁶⁾이나 Tsuda 등²⁷⁾은 회전 안정성 회복에 대한 노력은 기존의

재건술에서 대퇴 터널의 위치를 보다 수평하게 만드는 것이 현실적이라고 주장하였다.

2. 수술 시기

이중 다발 재건술의 술기는 이식물의 선택, 터널 위치 및 형성 방법에 따라 다양한 방법이 고안되어 시행되고 있다.

가장 흔히 사용되는 이식물은 연부조직 이식건으로 자가 슬괵근과 전 또는 후 경골 동종건이 선호되며 그 외 슬괵건, 대퇴사두건 등이 단독 또는 혼합형태로 사용되기도 한다. van Eck 등²⁸⁾은 2009년 4월까지 발표된 논문을 분석한 결과 자가 슬괵근이 가장 선호되는 것으로 조사하였다(Table 1).

이중 다발 재건술에서 터널의 수는 대퇴부와 경골 각각에 두 개의 터널 형성이 일반적으로 선호된다. 그러나 경골 터널의 해부학적 위치나 형성 방법이 비교적 일치되는 것과는 달리 대퇴골 터널은 경골관통(Transtibial)방법,^{26,27,29)} 전내측 삽입구(Anteromedial portal)³⁰⁾ 또는 내측 보조 삽입구(Accessory inferior medial portal)를 이용한 방법^{31,32)}이 있으며 해부학적 부착부 내에 두 개의 터널을 일관되게 만드는 방법을 선택하는데 술자 간의 이견이 존재하고 있다. Giron 등³³⁾은 경골관통방법에 의한 대퇴골 터널 형성 위치가 해부학적 위치에 비해 높거나 낮으므로 개선이 필요하거나 다른 방법의 선택을 주장하였고 Zantop 등³²⁾은 해부학적 위치 내에 정확한 대퇴골 후외측 터널의 형성이 정상에 가까운 운동역학 회복이 관건이므로 내측 보조 삽입구를 이용한 방법의 사용을 주장하였다. 또한, 이중 다발 재건술시 가장 많은 논쟁 중 하나가 이식건 고정 시 슬관절 굴곡 각도와 초기 장력

Table 1. Graft Types Used for Double Bundle ACL Reconstruction

Hamstring tendon	68.9 %
Quadriceps tendon	2.7 %
Allograft	16.2 %
Multiple graft types	4.1 %
Not reported	8.1 %

Table 2. Fixation Methods Used for Double Bundle ACL Reconstruction

Fixation Method	Femoral Side	Tibial Side
EndoButton	63.5 %	1.4%
Post	1.4 %	6.8%
Cross pin	1.4 %	0%
Metal interference screw	4.1 %	10.8%
Bioabsorbable interference screw	12.2 %	44.6%
Stape	4.1 %	9.5%
Washer lock	0 %	1.4%
Other	8.1 %	14.9%
Not reported	5.4 %	10.8%

정도로써 각 이식건을 동일한 슬관절 굴곡 각도에서 동시에 고정해야 한다는 의견과 각 다발의 장력이 가장 높은 굴곡 각도에서 분리해서 각각 고정해야 한다는 의견 등 아직까지 일치된 의견은 없다. Pombo 등³⁰은 AMB는 45~60도 사이의 굴곡, 그리고 PLB는 0~15도 사이의 굴곡에서 고정을 주장하였고 Vercillos 등³⁵은 두 다발을 15도 슬관절 굴곡에서 동시 고정하거나 AMB는 45도, PLB는 15도 굴곡에서 각각 고정한 결과 모두에서 운동성은 회복되었고 AMB는 15~45도 사이의 굴곡, 그리고 PLB는 15도 굴곡에서 고정하는 것이 안전하다고 보고하였다.

이식건의 고정은 대퇴골에 있어서 피질외 고정방법인 Endobutton CL, 경골은 간섭나사, staple 또는 suture post 를 단독 혹은 혼합사용을 하지만 연부조직 이식건이 주로 사용되므로 간접 고정에 따른 문제점을 해결하기 위해 관절선 고정(Aperture fixation)을 주장하기도 한다.³⁶ van Eck 등²⁸은 2009년 4월까지 발표된 논문을 분석한 결과 대퇴골에는 Endobutton, 경골은 간섭나사가 가장 선호되는 것으로 보고하였다(Table 2).

전방십자인대 이중 다발 재건술을 가능케 한 기초적인 연구와 수술 술기의 발달은 전방십자인대 손상의 영역에서 부분 손상에 대한 적극적인 치료를 가능하게 하였다. 즉 사고에 대한 병력 청취를 통해 파악된 사고 기전과 다발의 손상 형태 사이에 상관관계가 있으며 이를 토대로 이학적 검사, 자기공명영상 및 관절경 하 시야에서의 소견을 종합하여 손상된 다발에 대한 선택적 재건을 시행할 수 있다.³⁷ 마지막으로 술 후 재활은 현재 연부조직 이식건을 이용한 단일 다발 재건술에서의 재활과 큰 차이 없이 시행되고 있으며 향후 임상적 결과가 누적되면 이중 다발 재건술에 맞는 프로그램이 제시될 것으로 보인다.

3. 임상적 결과

이중 다발 재건술 시행에 따른 임상적 결과는 안정성 회복

과 기능적 결과 측면에서 단일 다발 재건술과 비교하고 있다. Muneta 등³⁸과 Kondo 등²⁹은 이중 다발 재건술이 전방 및 회전 안정성 회복에서 단일 다발 재건술보다 효과적이나 합병증과 다른 임상적 평가에서는 차이가 없었고, Järvelä 등³⁰과 Yagi 등³¹은 슬관절 점수나 전방 안정성은 차이가 없고 회전 안정성에서만 유의하게 좋은 결과를 보고하였고, Siebold 등³⁹은 이중 다발 재건술이 IKDC의 객관적 평가 점수와 Pivot shift 검사에서 유의한 장점이 있지만 다른 임상적 평가에서는 차이가 없었고, Aglietti 등¹¹은 이중 다발 재건술이 전방 안정성 및 IKDC의 객관적 평가 점수와 시각통증등급(Visual analog scale)에 유의한 효과가 있으며, pivot shift 검사에서는 통계학적 유의한 차이는 없었으나 회전 안정성 회복을 위해 고려해 볼만한 술식이라고 보고하였다(Table 3).

정상 슬관절 생역학의 회복에 보다 효과적이라는 연구 결과에도 불구하고, 이중 다발 재건술에 대한 필요성에 대한 논란이 있다. Giron 등³³은 이중 다발 재건 수술시 대퇴골의 작은 해부학적 부착부로 인해 비해부학적 터널을 형성 할 수 있음을 보고하였으며, Purnell 등⁴⁰은 볼륨 렌더링 컴퓨터 단층촬영을 이용하여 대퇴골 족문(footprint)의 전방 경계가 resident's ridge와 일치하고, 후방면이 관절면의 3 mm 이내까지 펼쳐져 있다고 보고하며, 따라서 2개의 갈라지는 대퇴 터널을 준비하는 것이 기술적으로 제한된다고 보고하였다. Asagumo 등⁴¹은 이중 다발 재건술을 시행한 경우 단일 다발 재건술에 비해 신전 제한의 발생률이 높다고 보고하였다. Adachi 등⁴²과 Hamada 등⁴³은 안정성 및 고유감각, 주관적인 임상 평가에서 두 군에서 유의한 차이가 없다고 보고하였다. Meredith 등⁴⁴은 2007년까지 발표된 단일 다발과 이중 다발 재건술 결과를 비교한 문헌에 대한 Meta-analysis에서 KT-1000 관절계측계를 통한 전방안정성은 이중 다발 술식에서 통계학적으로 유의한 차이가 있으나 1 mm 이하의 차이를 보였고 IKDC평가에서 2 mm의 차이는 정상으로 간주하는 점으로 보아 임상적인 의미를 부여할 수 없으며 Pivot

Table 3. Postoperative Knee Stability After ACL Reconstruction in Previously Published Original Studies with Evidence Level of I or II

Authors	Patients	Anterior Laxity	Pivot-shift test
Yasuda (2006)	72	Positive trend	Positive trend
Aglietti (2007)	75	Positive trend	Positive trend
Muneta (2007)	68	Positive trend	Positive trend
Yagi (2007)	60	No difference	Positive trend
Järvelä (2007)	55	No difference	Positive trend
Kondo (2008)	328	Positive trend	Positive trend
Järvelä (2008)	77	Positive trend	Positive trend
Siebold (2008)	70	No difference	Positive trend
Streich (2008)	49	No difference	No difference
Aglietti (2009)	70	Positive trend	No difference

‡ Positive trend: positive in terms of stability

shift test를 통한 회전 불안정성은 이중 다발을 시행한 환자에서 정상 또는 정상에 가까운 확률이 높았지만 통계학적 유의성이 없음을 보고 하였다. 이에 대해 Irrgang 등⁴⁵⁾은 pivot shift 검사에서 정상 또는 거의 정상을 비정상과 이분법적으로 비교한 분석에 이의를 제기하고 pivot shift 검사에서 정상을 기준으로 분석하면 이중 다발 재건술이 회전 안정성 향상 측면에서 임상적으로 의미가 있음을 주장하였다.

Yasuda 등⁴⁶⁾은 2010년까지 발표한 10편의 전향적 비교 실험 논문과 1편의 Meta-analysis를 논문을 분석한 결과, 10편중 9편은 전방 및 회전 안정성 측면에서 이중 다발 재건술이 단일 다발 재건술에 비해 우수하다고 보고된 반면, Streich 등²⁶⁾이 발표한 논문과 Meredith 등²⁴⁾의 Meta-analysis에서는 두 재건술 방법간의 차이가 없었다고 보고하였다. 하지만 Meredith 등²⁴⁾이 발표한 논문에서는 해부학 및 비해부학적 이중 다발 재건술이 포함된 것이라고 보고하였다. 즉, 1980년대와 1990년대 시행한 이중 다발 재건술의 경우 PLB의 해부학적 재건이 아닌 AMB를 2개의 다발로 재건한 것으로 간주하였으며, IKDC평가에서 전방 안정성을 2 mm 미만을 정상으로 간주하는 기준은 정상 슬관절이라고 보기 힘들며, 이러한 작은 차이도 의미가 있다고 하였다. 즉, 미세한 이완도 연골판 손상, 연골 손상, 더 나아가 골관절염에도 영향을 미칠 가능성이 있으므로 전방십자인대 재건의 진정한 목표는 정상 슬관절의 운동역학을 회복하는 것이라고 주장하였다.

또한 이중 다발 재건술이 갖는 안정성 향상의 장점은 Loh⁴⁷⁾의 연구를 기반으로 대퇴 터널이 보다 수평으로 위치한 단일 다발 재건술의 결과와 비교되고 있는데 Streich 등²⁶⁾은 높은 수준의 스포츠 활동을 하는 남성에서 반건양건을 이용한 이중 다발 재건술이 우수한 임상적 결과를 보였지만 대퇴골 터널을 보다 수평으로 위치시킨 단일 다발 재건술에 비해 임상적 결과, 전방 및 회전 안정성에서 유의한 차이가 없다고 보고 하였으며 Tsuda 등²⁷⁾도 안정성은 물론 IKDC 객관적 평가를 이용한 최종 추시에서의 결과에 차이가 없고 Kanaya 등⁴⁸⁾은 기기를 이용하여 정량적인 경골 회전을 가한 다음 항법 장치로 전방 및 회전 안정성을 수술 시야에서 평가하여 같은 견해를 보고한 바 있다.

상기 문헌들을 살펴보면 이중 다발 재건술에 의한 안정성 향상으로 임상적 결과가 더욱 개선되는 것을 의미하지 않으며 특히 환자의 주관적 평가에서 차이가 없었음은 환자 만족도가 술 후 안정성 회복 외에도 다른 요인들이 존재할 수 있음을 뜻한다.³⁸⁾ 또한 현재 십자인대 재건술 후 안정성을 객관적으로 정량화할 수 있는 여러 수단들이 있지만 이중 다발 전방십자인대 재건술의 주 목적인 회전 안정성 회복 여부는 환자의 협조가 중요하며 결과의 판단에 주관적일 수 있는 Pivot shift 검사 외에 객관적으로 측정할 수 있는 방법이 없는 현실이다. 이를 위해 Yagi 등³¹⁾은 삼차원 전자파 센서(3-dimensional electromagnetic sensors)를 고안하여 측정을 시도

한 결과 이중 다발 재건술이 단일 다발 재건술에 비해 회전 안정성에 유의한 차이가 있다고 하였으며, Song 등⁴⁹⁾과 Ishibashi 등⁵⁰⁾이 이중 다발 재건 수술 중 전방 및 회전 안정성 향상에 대한 객관적 평가를 위해 항법장치를 이용한 측정이 시도하였으며 수술 시야에서의 안정성 평가와는 별개로 술 후 결과와는 연관성이 없었다고 보고하였다. Izawa 등⁵¹⁾은 개방형 자기공명 영상 기법(Open MRI system)⁵²⁾을 이용하여 정량적인 측정을 시행한 결과 이중 다발 재건술이 단일 다발 재건술에 비해 전방 및 회전 안정성에 유의한 차이가 있으나, Lysholm knee score, Tegner activity score 그리고 Pivot-shift 검사에서는 통계학적 유의성은 없었다고 보고하였다. 향후 실제적으로 임상에서의 적용을 위해 정확성, 일관성, 및 편의성을 갖춘 평가 방법의 개발에 많은 연구와 시도가 필요할 것으로 생각된다.

그리고 이중 다발 재건술의 임상적 결과에 대한 대부분의 평가가 안정성 향상에 치우친 경향이 있지만 그 외에도 술 후 격렬한 스포츠에 참여할 수 있는 능력이나 불안정성 감각에 대한 효과를 고려해야 하며 재건술이 골관절염의 위험도를 감소시키거나 방지하는 것에도 그 역할이 있는 만큼 추시 관찰에서 관절연골의 조기 변화를 파악하기 위한 자기공명영상 사용도 고려해야 한다.

그리고 이중 다발 재건술이 어느 경우에 장점이 있는지, 모든 환자에 적용 가능한가 같은 적응증에 대한 논란은 계속될 것으로 보이나 최근에 발표된 해부학적 연구 결과에서 전방십자인대 형태와 부착부의 크기가 개인 간의 큰 차이가 있으며 가능한 한 인대의 각 부착부를 재형성해야 하는 점에서 부착부 길이가 15 mm미만이면 단일 다발, 이상이면 이중 다발 재건술이 고려될 수 있다는 의견을 제시하기도 하였으며 이에 따른 이식건 고정 방법을 제안하였다.^{53,54)} 또한 Järvelä³⁰⁾는 적어도 pivoting이 요구되는 스포츠 환자에게서 표준이 되는 수단으로 적용할 수 있을 것으로 생각했으며 Kim 등⁵⁵⁾은 재건술 후 불안정성 재발의 위험도가 있는 전신적인 인대 이완을 가진 환자에게서 실시한 이중다발 재건술은 단일 다발에 비해 기능적 결과에서 차이는 없었지만 전방 이완이 적었음을 보고하였다. Musahl 등은 전방십자인대 손상시 동반되는 반월상 연골판 손상이 55~65%로 알려져 있으며,⁵⁶⁻⁵⁸⁾ 십자인대 손상으로 인한 불안정성의 효과와 연골판 손상의 복합 작용으로 관절의 퇴행성 변화를 야기하며,^{59,60)} 내측 반월상 연골판이 Lachman 검사에, 외측 반월상 연골판 손상이 pivot shift 검사에 영향을 미친다고 보고하였다.⁶¹⁾ 생역학적 사체실험을 통해 전방십자인대 단독 손상의 경우 이중 다발 및 단일 다발 재건술에서 lachman 검사 및 pivot shift 검사에 유의한 차이는 없었으나, 복합 손상이 동반된 경우 lachman 검사에서는 유의한 차이는 보이지 않았으나, 이중 다발 재건술이 회전 안정성 향상 측면에서 의미가 있음을 주장하였다. 따라서 고도의 Pivot shift를 가진 환자 또는 연골판 결손이 있는 전방십자인대 파열 환자에서는 이중 다발 재건술

을 고려해야 한다고 주장하였다.²³⁾

4. 합병증

터널 확장에 있어서 이중 다발 재건술은 단일 다발 재건술에 비해 대퇴골 터널은 차이가 없으나 경골 터널 확장이 유의하게 적었고 전방 및 회전 이완을 보인 환자에서 터널 확장이 현저함을 보고하였는데⁶²⁾ 이는 슬관절 운동 시 발생하는 부하가 각 다발로의 “load sharing”같은 생역학적 장점²³⁾과 적은 직경의 터널과 이식건으로 이식건의 치유, 재형성 및 성숙에서의 생체적 이점 등의 결과로 추정되나 연부조직 이식건을 이용한 재건술에서 관찰되는 터널 확장은 여전히 피할 수 없으며 아직까지 단기적 임상적 결과와의 연관성은 없는 것으로 보고되고 있다. 그 외 비 해부학적으로 형성된 터널에 따른 이식건 간의 충돌도 고려해야 될 사항이며 다수의 터널 형성에 따른 골절 위험이나 추후 재재건술이 어려운 문제 및 드물지만 골괴사도 잠재적인 합병증이라 할 수 있다.

요 약

전방십자인대 이중 다발 재건술은 단일 다발 재건술에 비해 이론적으로 해부학적, 생역학적 및 생체적 측면에서 장점이 있고 실제로 현재까지 보고된 문헌들에서 안정성 회복에 긍정적인 의견이 우세하지만 아직까지 차별화된 임상적 결과를 보여 주지 않고 있다. 그리고 세부적으로 재건 시 각 다발의 정확한 해부학적 위치 선정, 이식건의 고정 방법 및 고정 시 굴곡 각도와 초기 장력, 재활방법, 그리고 회전안정성을 객관적이고 정량화시킬 수 있는 측정 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하며 이러한 노력을 기반으로 얻어진 표준화된 술기를 체계적인 절차에 따라 환자에 적용하고 장기간의 추적 조사를 통해 결과를 얻을 수 있도록 잘 고안된 많은 수의 임상적 연구가 축적됨으로써 이중 다발 재건술의 장점들이 임상적 결과로서 입증될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Brophy RH, Voos JE and Shannon FJ. Changes in the length of virtual anterior cruciate ligament fibers during stability testing: A comparison of conventional single-bundle reconstruction and native anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 6: 2196-2203, 2008.
2. Heming JF, Rand J and Steiner ME. Anatomical limitations of transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 35: 1708-1715, 2007.
3. Pearle AD, Shannon FJ, Granchi C, Wickiewicz TL and Warren RF. Comparison of 3-dimensional obliquity and anisometric characteristics of anterior cruciate ligament graft positions using surgical navigation. *Am J Sports Med*, 36: 1534-1541, 2008.
4. Rue JP, Ghodadra N and Bach BR Jr. Femoral tunnel placement in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A cadaveric study relating transtibial lateralized femoral tunnel position to the anteromedial and posterolateral bundle femoral origins of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 36: 73-79, 2008.
5. Rue JP, Ghodadra N, Lewis PB and Bach BR Jr. Femoral and tibial tunnel position using a transtibial drilled anterior cruciate ligament reconstruction technique. *J Knee Surg*, 21: 246-249, 2008.
6. Simmons R, Howell SM and Hull ML. Effect of the angle of the femoral and tibial tunnels in the coronal plane and incremental excision of the posterior cruciate ligament on tension of an anterior cruciate ligament graft: An in vitro study. *J Bone Joint Surg Am*, 85: 1018-1029, 2003.
7. Jonsson H, Riklund-Ahlström K and Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis: 63 patients followed 5~9 years after surgery. *Acta Orthop Scand*, 75: 594-599, 2004.
8. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M and Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum*, 50: 3145-3152, 2004.
9. Ristanis S, Stergiou N, Siarava E, Ntoulia A, Mitsionis G and Georgoulis AD. Effect of femoral tunnel placement for reconstruction of the anterior cruciate ligament on tibial rotation. *J Bone Joint Surg Am*, 91(9):2151-2158, 2009.
10. Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P and Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 32(4): 975-983, 2004.
11. Aglietti P, Giron F, Losco M, Cuomo P, Ciardullo A and Mondanelli N. Comparison between single-and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, single-blinded clinical trial. *Am J Sports Med*, 38(1): 25-34, 2010.
12. Lewis PB, Parameswaran AD, Rue JP and Bach BR Jr. Systematic review of single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a baseline assessment for consideration of double-bundle techniques. *Am J Sports Med*. 36(10):2028-2036, 2008.
13. Andriacchi TP, Briant PL, Beville SL and Koo S. Rotational changes at the knee after ACL injury cause cartilage thinning. *Clin Orthop Relat Res*, 442: 39-44, 2006.
14. Logan MC, Williams A, Lavelle J, Gedroyc W and Freeman M. Tibiofemoral kinematics following successful anterior cruciate ligament reconstruction using dynamic multiple resonance imaging. *Am J Sports Med*, 32: 984-

- 992, 2004.
15. Tsai AG, Musahl V and Steckel H. Rotational knee laxity: reliability of a simple measurement device in vivo. *BMC Musculoskelet Disord*, 9: 35, 2008.
 16. Mott HW. Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*, 90-92, 1983.
 17. Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 172: 19-25, 1983.
 18. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D and Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 204-213, 2006.
 19. Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S and Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*, 15: 741-749, 1999.
 20. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M and Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res*, 22: 85-89, 2004.
 21. Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH and Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med*, 35: 223-227, 2007.
 22. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH and Woo SL. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 30: 660-666, 2002.
 23. Mae T, Shino K, Matsumoto N, Nakata K, Nakamura N and Iwahashi T. Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14: 505-509, 2006.
 24. Morimoto Y, Ferretti M, Ekdahl M, Smolinski P and Fu FH. Tibiofemoral joint contact area and pressure after single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 25: 62-69, 2009.
 25. Markolf KL, Park S, Jackson SR and McAllister DR. Simulated pivot-shift testing with single and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *J Bone Joint Surg Am*, 90: 1681-1689, 2008.
 26. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T and Schmitt H. Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft: a prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 16: 232-238, 2008.
 27. Tsuda E, Ishibashi Y, Fukuda A, Tsukada H and Toh S. Comparable results between lateralized single- and double-bundle ACL reconstructions. *Clin Orthop Relat Res*, Epub November 7, 2008.
 28. van Eck CF, Schreiber VM, Mejia HA, Samuelsson K, van Dijk CN, Karlsson J and Fu FH. "Anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of surgical techniques and reporting of surgical data. *Arthroscopy*, 26(9 Suppl): S2-12, 2010.
 29. Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y and Yagi T. Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med*, 36: 1675-1687, 2008.
 30. Järvelä T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15: 500-507, 2007.
 31. Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, Yoshiya S and Kurosaka M. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop Relat Res*, 454: 100-107, 2007.
 32. Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH and Petersen W. Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med*, 36: 678-685, 2008.
 33. Giron F, Cuomo P, Edwards A, Bull AM, Amis AA and Aglietti P. Double-bundle "anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of tunnel positioning with a transtibial technique. *Arthroscopy*, 23: 7-13, 2007.
 34. Pombo MW, Shen W and Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: where are we today? *Arthroscopy*, 24: 1168-1177, 2008.
 35. Vercillo F, Woo SL, Noorani SY and Dede O. Determination of a safe range of knee flexion angles for fixation of the graft in double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a human cadaveric study. *Am J Sports Med*, 35: 1513-1520, 2007.
 36. Brucker PU, Lorenz S and Imhoff AB. Aperture fixation in arthroscopic anterior cruciate ligament double-bundle reconstruction. *Arthroscopy*, 22: 1250. e1-6, 2006.
 37. Siebold R and Fu FH. Assessment and augmentation of symptomatic anteromedial or posterolateral bundle tears of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*, 24: 1289-1298, 2008.
 38. Muneta T, Koga H and Mochizuki T. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy*, 23: 618-628, 2007.
 39. Siebold R, Dehler C and Ellert T. Prospective randomized

- comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 24: 137-145, 2008.
40. Purnell ML, Larson AI and Clancy W. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *Am J Sports Med*, 36: 2083-2090, 2008.
 41. Asagumo H, Kimura M, Kobayashi Y, Taki M and Takagishi K. Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament using double-bundle hamstring tendons: Surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *Arthroscopy*, 23: 602-609, 2007.
 42. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Iwasa J, Kuriwaka M and Ito Y. Reconstruction of the anterior cruciate ligament. Single- versus double-bundle multistranded hamstring tendons. *J Bone Joint Surg Br*, 86: 515-520, 2004.
 43. Hamada M, Shino K and Horibe S. Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with EndoButton femoral fixation: A prospective study. *Arthroscopy*, 17: 801-807, 2001.
 44. Meredick RB, Vance KJ, Appleby D and Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. *Am J Sports Med*, 36: 1414-1421, 2008.
 45. Irrgang JJ, Bost JE and Fu FH. Letter to the Editor "Outcome of Single-Bundle Versus Double-Bundle Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament: A Meta-Analysis" *Am J Sports Med*, 37: 421, 2009.
 46. Yasuda K, Tanabe Y, Kondo E, Kitamura N and Tohyama H. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 26(9 Suppl): S21-34, 2010.
 47. Loh JC, Fukuda Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH and Woo SL. Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. *Arthroscopy*, 19: 297-304, 2003.
 48. Kanaya A, Ochi M, Deie M, Adachi N, Nishimori M and Nakamae A. Intraoperative evaluation of anteroposterior and rotational stabilities in anterior cruciate ligament reconstruction: lower femoral tunnel placed single-bundle versus double-bundle reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, Epub. Mar 5. 2009.
 49. Song EK, Oh LS, Gill TJ, Li G, Gadikota HR and Seon JK. Prospective Comparative Study of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using the Double-Bundle and Single-Bundle Techniques. *Am J Sports Med*, Epub June 9, 2009.
 50. Ishibashi Y, Tsuda E, Fukuda A, Tsukada H and Toh S. Navigation evaluation of the pivot-shift phenomenon during double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: is the posterolateral bundle more important? *Arthroscopy*, 25: 488-95, 2009.
 51. Izawa T, Okazaki K, Tashiro Y, Matsubara H, Miura H, Matsuda S, Hashizume M and Iwamoto Y. Comparison of Rotatory Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Between Single-Bundle and Double-Bundle Techniques. *Am J Sports Med*, Feb 24. 2011.
 52. Okazaki K, Miura H and Matsuda S. Assessment of anterolateral rotatory instability in the anterior cruciate ligament-deficient knee using an open magnetic resonance imaging system. *Am J Sports Med*, 35:1091-1097, 2007.
 53. Siebold R. Observations on bone tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 23(3): 291-298, 2007.
 54. Siebold R and Zantop T. Anatomic double-bundle ACL reconstruction: a call for indications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17: 211-212, 2009.
 55. Kim SJ, Chang JH, Kim TW, Jo SB and Oh KS. Anterior cruciate ligament reconstruction with use of a single or double-bundle technique in patients with generalized ligamentous laxity. *J Bone Joint Surg*, 91-A: 257-62, 2009.
 56. Cannon WD Jr and Vittori JM. The incidence of healing in arthroscopic meniscal repairs in anterior cruciate ligament-reconstructed knees versus stable knees. *Am J Sports Med*, 20(2): 176-181, 1992.
 57. DeHaven KE. Diagnosis of acute knee injuries with hemarthrosis. *Am J Sports Med*, 8(1): 9-14, 1980.
 58. Noyes FR, Bassett RW, Grood ES and Butler DL. Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee: incidence of anterior cruciate tears and other injuries. *J Bone Joint Surg Am*, 62(5): 687-695, 1980.
 59. Johnson RJ, Kettelkamp DB, Clark W and Leaverton P. Factors effecting late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am*, 56(4): 719-729, 1974.
 60. Neyret P, Donell ST and Dejour H. Results of partial meniscectomy related to the state of the anterior cruciate ligament: review at 20 to 35 years. *J Bone Joint Surg Br*, 75(1): 36-40, 1993.
 61. Musahl V, Citak M, O'Loughlin P, Choi D, Bedi A and Pearle A. The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*, [published online ahead of print] June 8, 2010.
 62. Järvelä T, Moisala AS, Paakkala T and Paakkala A. Tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized study. *Arthroscopy*, 24: 1349-1357, 2008.

초 록

전방십자인대 손상 시 정상 전방십자인대의 해부학적 및 생역학적 기능을 회복시키기 위한 노력으로서 이중 다발 전방십자인대 재건술에 대한 관심이 증가하고 있다. 해부학적 및 생역학적 연구에 따르면 전내측 및 후외측 다발을 각각 재건하는 이중 다발 전방십자인대 재건술은 단일 다발 재건술에 비해 수술 후 안정성 및 임상적 측면에서 보다 나은 결과를 향상을 기대하지만, 이를 입증할 만한 충분한 관찰 기간을 가진 임상적 연구들이 매우 부족한 실정이다. 따라서 저자는 전방십자인대 이중 다발 재건술에 관련되어 최근까지 발표된 많은 문헌을 통해 이중 다발 술식의 발전 토대를 제공한 과학적 증거들을 정리하고 술식의 유용성 여부를 둘러싼 논란에 대해 알아보려고 한다.

색인 단어: 전방십자인대, 재건술, 이중 다발 술식