

단일 및 이중 다발을 이용한 전방십자인대 재건술 후 골 터널 확장 비교

Comparison of Tunnel Enlargement between Single and Double Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

이주홍 • 왕성일 • 박종혁 • 배현경

전북대학교 의학전문대학원 정형외과학교실, 임상의학연구소

목적: 이중 다발 전방십자인대 재건술 후 골 터널 확장 정도를 단일 다발 재건술과 비교하고 임상적 결과와의 연관성을 알아보았다.

대상 및 방법: 2004년 1월부터 2008년 5월까지 시행한 224예의 전방 십자인대 재건술 환자 중에서 1년 이상 방사선학적 추시가 가능했던 단일 다발 재건술 38예와 이중 다발 재건술 30예를 대상으로 하였다. 안정성은 Lachman 검사, Pivot shift 검사, KT-1000 관절계를 이용하여 건측과의 이완 정도를 측정하였으며, 기능적 결과는 Lysholm 점수와 International Knee Documentation Committee (IKDC) 평가표를 이용하였다. 전후면 및 측면 방사선 사진 상 경화상 변연부의 가장 넓은 부위에서 터널 장축과 수직인 위치에서 확장 정도를 측정하였다.

결과: 대퇴 터널의 확장은 두 군간의 통계학적인 유의한 차이가 없었으나, 경골 터널은 이중 다발 재건술 군에서 유의하게 확장 정도가 적었다($p=0.001$, ICC: 0.94). 임상적 결과와 안정성 회복 정도는 두 군간의 유의한 차이는 없었으나 이중 다발 재건술 군에서 KT-1000검사는 1.1 mm, Pivot shift 검사는 93%에서 음성을 보여 단일 다발 재건술 군에 비해 다소 향상된 경향을 보였다. 골 터널의 확장 정도와 임상적 결과에 있어서 유의한 상관 관계는 없었다.

결론: 이중 다발 전방십자인대 재건술은 단일 다발 재건술에 비해 경골부 터널의 확장 정도는 적었지만 골 터널 확장에 따른 임상적 결과와의 유의한 상관 관계는 없었다.

색인단어: 전방십자인대, 재건술, 단일 다발, 이중 다발, 골 터널 확장

서 론

전방십자인대 재건술 후 발생하는 골 터널 확장은 많은 연구를 통해 이식건 종류에 관계없이 발생하는 흔한 현상으로 보고되어 왔다.¹⁻⁷⁾ Daniel 등⁸⁾은 골 터널의 확장이 이식 실패의 초기 징후일 것으로 추정하고 재건술 후 발생하는 골관절염을 설명하는데 도움이 될 것으로 보고 한 바 있으나 대부분의 저자들은¹⁻⁷⁾ 골 터널의 확장과 임상적 결과 사이에 관련성을 밝히지 못하고 있다. 골 터널 확장의 원인은 불분명하지만 이식건의 물리적 자극에 의한

기계적 요인과 면역 반응, 활액 등에 의한 생체적인 작용으로 나타나는 것으로 설명되고 있으나,^{9,10)} 이식건의 고정 위치나 방법,⁶⁾ 그리고 터널을 만드는 위치에 따른 원인³⁾도 보고되고 있다. 최근 이식건을 각각의 해부학적 부착부에 위치시키는 이중 다발 재건술은 안정성, 특히 회전 안정성에 있어서 과거의 단일 다발 재건술에 비하여 향상된 결과들이 존재하나¹¹⁻¹³⁾ 해부학적 부착부에 위치한 단일 다발 재건술 또한 이중 다발 재건술과 유의한 차이가 없다고 발표되고 있다.^{14,15)}

본 연구는 이중 다발 전방십자인대 재건술이 안정성 향상과 함께 골 터널 확장을 감소시킬 수 있다는 가설 하에 골 터널 확장 정도를 단일 다발 재건술과 비교하고 임상적 결과와의 연관성을 알아보았다.

접수일 2010년 6월 9일 게재확정일 2011년 3월 2일

교신저자 박종혁

전북 전주시 덕진구 금암동 634-18, 전북대학교 의학전문대학원 정형외과학교실, 임상의학연구소

TEL 063-250-1760, FAX 063-271-6538

E-mail jhlee55@chonbuk.ac.kr

대상 및 방법

1. 환자

2004년 1월부터 2008년 5월까지 시행한 224예의 전방십자인대 수술 중에서 1) 재재건술이나 봉합술을 실시한 경우, 2) 제3도 이상의 관절 연골 결손 3) 비정상적인 역학적 축을 갖거나 반대측에 인대 손상이 있는 경우 4) 다발성 인대 손상을 제외하고, 최소 1년 이상 추시가 가능하며 방사선 소견이 명확한 68예의 환자를 대상으로 후향적 연구를 하였다. 자가 슬립근을 이용한 단일 다발 재건술은 38예, 경골과 대퇴골에 각각 2개의 터널을 만들고 자가 반건양건을 이용하여 이중 다발 재건술을 실시한 경우가 30예였다. 평균 추시 기간은 단일 다발 재건술 28.3 개월(범위: 12-58), 이중 다발 재건술은 18.7개월(범위: 12-33)이었다. 성별, 연령, 손상 원인 및 동반 손상 등은 Table 1과 같았다.

2. 수술 술기

모든 예에서 마취 하 이학적 검사와 관절경을 통해 전방십자인대 파열을 확인하였고, 한명의 술자에 의하여 모든 수술이 이루어졌다. 단일 다발 재건술은 자가 슬립근을 이용하였고 단일 절개를 통한 경골골 술기를 이용하여 우측 슬관절의 경우 대퇴골 터널을 10:30-11:00 (좌측은 1:00-1:30) 위치에 만들었으며, 이식건의 대퇴부 고정은 RIGID fix system™ (Mitek, Norwood, MA)과 Endobutton CL (Smith & Nephew, Andover, MA), 경골부는 슬관절 20° 굴곡 위에서 Intrafix™로 고정하였다.

이중 다발 재건술은 평균 26-30 cm의 반건양건을 채취한 다음 14-16 cm은 전내측 다발, 12-14 cm은 후외측 다발을 위하여 사용하고 각 이식건의 직경은 0.5 mm 간격으로 측정하였다. 경골과 대퇴부의 전방십자인대 부착부에서 잔여 조직을 제거하고 경골 및 대퇴골 터널은 Yasuda 술기¹⁶⁾를 이용하여 해부학적 위치에 각각의 터널을 이식건 직경보다 0.5 mm 작게 천공한 다음 확공기

를 사용하여 건의 직경에 일치되게 만들었다. 경골 터널을 통하여 후외측 다발과 전내측 다발을 순차적으로 대퇴부로 통과시킨 후 Endobutton CL를 이용한 현수 고정을 하였으며, 경골은 슬관절을 거의 신전위에서 post-tie 방법으로 고정하였다.

3. 재활

수술 후 첫 2주간은 슬관절을 완전 신전 상태에서 장하지 석고 고정을 하였다. 하지 직거상 운동, 대퇴 사두근 강화 운동 및 슬개골 전위 운동을 수술 후 1일째부터 시행하였다. 이후 석고 부목 증상이 호전됨에 따라 술 후 6개월 이후 수영이나 조깅 등 가벼운 운동을 시작하였고, 대퇴사두근의 근력 회복 정도가 정상에 가깝고, 가벼운 운동에 무리가 없다면 10-12개월 이후 축구 등 접촉성 운동을 허용하였다.

4. 임상적 검사

술 전과 최종 추시에서 슬관절 안정성은 Lachman 검사, pivot shift 검사, 및 KT-1000 관절계를 이용하여 평가하였고 기능적 결과는 Lysholm 점수와 객관적 International Knee Documentation Committee (objective IKDC) 평가방법을 이용하여 측정하였다. 술 전과 최종 추시에서의 임상적 결과를 두 군에서 평가하였고, 골 터널 확장 정도와 임상적 결과와의 연관성은 각 재건술에서의 골 터널 확장을 KT-1000 관절계를 이용한 이완 정도와 Lysholm 평가 점수를 기준으로 알아보았다.

5. 골 터널의 측정

수술 직후, 술 후 3개월, 6개월, 12개월 및 최종 추시에서의 전후방 및 측면 방사선 사진을 통해 관절면의 상방에서 터널 주행 방향을 따라 경화상 가장자리의 가장 넓은 부위에서 골 터널 장축과 수직인 부분을 측정하였고(Fig. 1), 2명의 정형외과 의사에 의한 계측치를 interclass correlation coefficient로 관측자간 변이를

Table 1. Demographic Data of Patients

		DB (n=30)	SB (n=38)
Number of cases (total)		30 (50)	38 (74)
Elapsed time to surgery (ms)		25.8 (1-144)	22.2 (1-132)
Acute (<3 ms)/Chronic		17/13	21/17
Age (range)		33.75 (18-56)	20.0 (15-48)
Follow-up (months)		18.7 (12-33)	28.3 (12-58)
Sport injury (%)		20 (67%)	27 (71%)
Associated injury	Meniscus tear	15 (50%)	30 (78.9%)
	(MM/LM/Both)	(8/4/3)	(10/8/12)
Concomitant surgery	Meniscus repair	11	21
	Meniscectomy	4	9

DB, double bundle; SB, single bundle; MM, medial meniscus; LM, lateral meniscus.

분석하였다. 전후면, 측면 사진에서 얻어진 값들의 평균을 얻었으며, 최종 추시의 측정된 확장 값에서 수술 중 최종 사용된 확공기의 직경 값을 빼고 이를 최종 사용된 확공기의 직경 값으로 나누어 확장 정도를 평가하였다.

5. 통계 분석

통계적인 분석은 SPSS version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 두 군 간의 술 전, 후의 임상적 결과는 Unpaired t-test, 두 그룹 사이의 객관적 IKDC 점수 비교를 위해 Chi-square test를 사용하였으며, 골 터널의 확장 정도가 임상적 결과와 상관 관계가 있는지를 알아보기 위하여 Pearson correlation coefficient를 사용하였다. 통계학적인 유의 수준은 0.05 이하로 하였다.

결 과

1. 골 터널 확장

대퇴 터널에 있어 이중다발 재건술의 전내측 다발은 술 후 평균 7.1 mm에서 최종 추시 9.0 mm로 26%, 후외측 다발은 술 후 평균 6.1 mm에서 최종 추시 8.3 mm로 36%의 확장 정도를 보였고 단일

다발 재건술은 술 후 평균 9.1 mm에서 최종 추시 12.4 mm로 37%의 확장을 보여 대퇴 터널 확장에 있어서는 두 군 간의 유의한 차이는 없었다. 경골 터널은 이중 다발 재건술의 전내측 터널의 경우 술 후 8.3 mm에서 9.4 mm로 18%, 후외측 터널은 술 후 7.6 mm에서 최종 추시 8.9 mm로 20%의 확장 정도를 보였고 단일 다발 재건술의 경우는 술 후 9.2 mm에서 13.0 mm로 42%의 확장을 보여 이중 다발 재건술에 비해 통계적으로 유의하게 증가된 골 터널 확장을 보였다($p=0.001$). 관찰자 간의 Interclass correlation coefficient 값은 0.94로 우수하였다(Table 2).

2. 임상 결과

Lysholm 평가 점수는 단일 다발 재건술에서 술 전 평균 63.7 ± 12.2 에서 최종 추시 평균 93.2 ± 5.2 , 이중 다발 재건술은 술 전 64.2 ± 14.9 에서 최종 추시 92.1 ± 5.8 로 두 군 모두 유의하게 향상되었다. 객관적 IKDC 평가에 있어서 A/B/C/D 등급은 단일 다발 재건술에서 술 전 0/5/26/7예에서 최종 추시 23/14/1/0예, 이중 다발 재건술은 술 전 0/3/23/4예에서 최종 추시 24/6/0/0예로 평가되었다.

KT-1000 관절계를 이용한 전방 안정성에서 단일 다발 재건술은 술 전 6.6 ± 1.1 mm에서 최종 추시 1.8 ± 0.8 mm, 이중 다발 재건술은 술 전 6.5 ± 1.3 mm에서 최종 추시 1.1 ± 1.1 mm로 향상되었

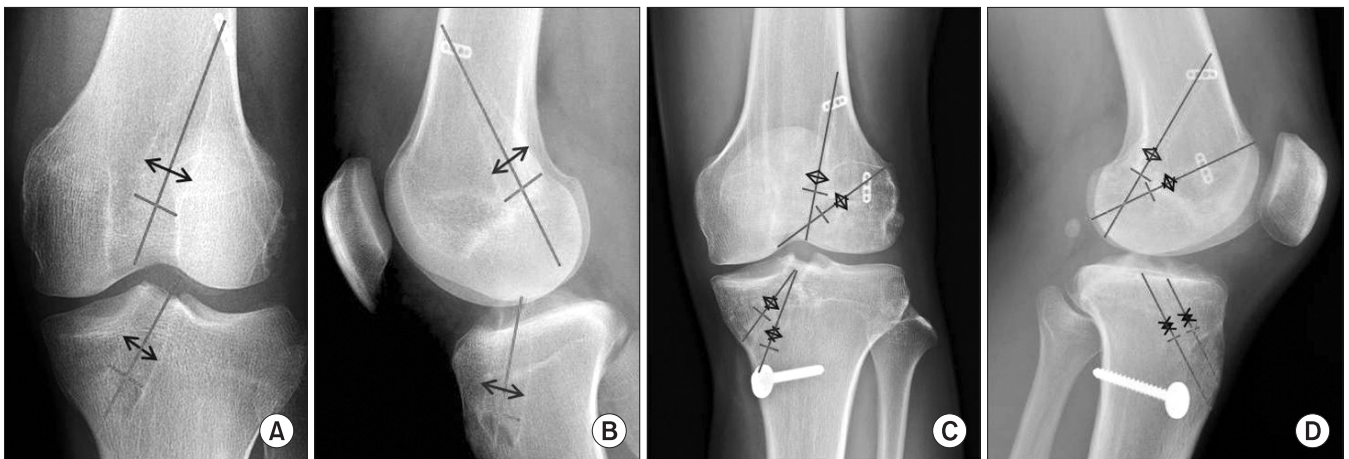


Figure 1. The measurement of the tunnel enlargement. (A, B) Anteroposterior and lateral views of the single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction group. (C, D) Anteroposterior and lateral views of the double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction group.

Table 2. Widening Femoral and Tibial Tunnels

	Femur			Tibia		
	Initial size [†]	Last FU	Enlargement (%)	Initial size [†]	Last FU	Enlargement ^{†‡} (%)
AMB (mm)	7.1±0.4*	9.0±0.6	1.9±0.6 (26)	8.3±0.8*	9.4±0.8	1.3±0.9 (18)
PLB (mm)	6.1±0.5	8.3±0.5	2.1±0.7 (36)	7.6±0.7	8.9±0.9	1.4±1.0 (20)
SB (mm)	9.1±0.5	12.4±1.8	3.3±1.8 (37)	9.2±0.9	13±2.2	3.8±2.1 (42)

Interclass correlation coefficient: 0.94 (0.84-0.98). *Mean value±SD; [†]Tunnel diameter on postoperative roentgenogram is the final size of the dilator used; [‡] $p=0.001$ (Unpaired T-test). AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle; SB, single bundle.

단일 및 이중 다발을 이용한 전방십자인대 재건술 후 골 터널 확장 비교

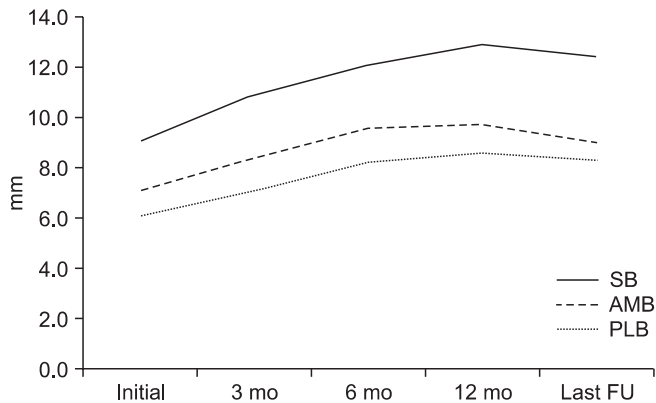


Figure 2. Serial Changes of tunnel enlargement according to timeline on femur. SB, single bundle; AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle.

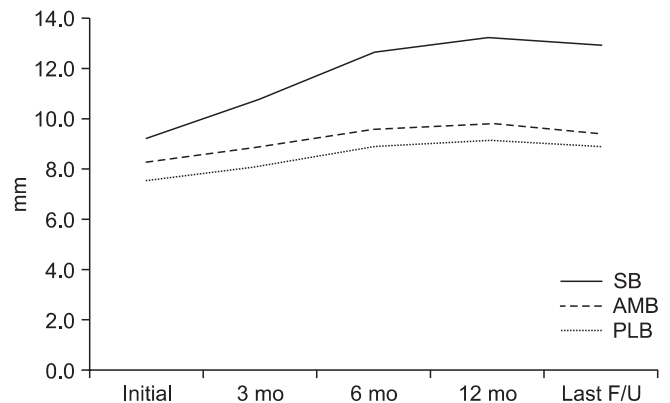


Figure 3. Serial Changes of tunnel enlargement according to timeline on tibia. SB, single bundle; AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle.

Table 3. Correlation of Lysholm Scores and Amount of Femoral Tunnel Widening

			Correlation coefficient	p-value
Femur	DB	AMB	-0.04	N/S
		PLB	-0.14	N/S
	SB		0.04	N/S
Tibia	DB	AMB	-0.18	N/S
		PLB	0.58	N/S
	SB		0.17	N/S

DB, double bundle; SB, single bundle; AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle.

Table 4. Correlation of KT-1000 Measurement and Amount of Femoral Tunnel Widening

			Correlation coefficient	p-value
Femur	DB	AMB	0.057	N/S
		PLB	-0.007	N/S
	SB		0.064	N/S
Tibia	DB	AMB	0.057	N/S
		PLB	-0.007	N/S
	SB		0.064	N/S

DB, double bundle; SB, single bundle; AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle.

으나, 두 군간 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 pivot-shift 검사를 통한 회전 안정성 평가(0/I/II/III)는 단일 다발 재건술에서 술 전 4/5/18/11예에서 최종 추시 32/6/0/0예, 이중 다발 재건술에서 술 전 1/6/18/5예에서 최종 추시 28/2/0/0예로 두 군 모두 호전된 결과를 보였고 유의한 차이는 없었으나 이중 다발 재건술은 단일 다발에 비해 보다 많은 93%에서 음성을 보였다.

3. 추시 기간에 따른 골 터널 확장

추시 기간에 따른 확장 정도를 비교해 보면 두 군에서 술 후 첫 6개월까지 확장이 가장 컸으며, 12개월 이후 골 확장이 없거나 오히려 감소하는 추세를 보였다(Fig. 2, 3).

4. 골 터널의 확장 정도와 임상적 결과 비교

Pearson 상관 계수 분석을 이용하여 골 터널의 확장 정도와 Lysholm 점수, 그리고 KT-1000 관절계를 이용한 전방 안정성과의 상관관계는 이중 다발 재건군의 전내측, 후외측 다발 및 단일 다발 재건군의 모든 터널에서 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3, 4).

5. 합병증

단일 다발 재건군에서 2예, 이중 재건군에서 1예가 재손상으로 재재건술을 실시하였으며 골 터널 확장으로 인한 술기상의 어려움은 없었다.

고찰

전통적 방법에 의한 전방십자인대 재건술에서의 골 터널 확장은 경골부는 20.9%에서 73.9%, 대퇴부는 30.1%에서 100.4%까지 다양하게 보고되고 있으며 다원적인 생물학적 및 기계적인 원인으로 대별된다.^{1,3,7)} 생체적 요인은 재건술 후 골용해 cytokines (interleukin 1, interleukin 6, bone morphogenetic protein, tumor necrosis factor, nitric oxide)의 수치가 골 흡수에 영향을 미치게 되며,^{1,3,7-9)} 기계적인 요인은 관절면에 대한 부적절한 이식건의 위치, 무리한 재할, 이식건의 상대적인 고정 위치, 골 터널에서 인대의 bungee cord effect나 windshield wiper effect^{3,17)} 같은 미세운동, 또는 터널 입구에서 redirecting forces가 중요한 역할을 한다.¹⁸⁾

L'Insalata 등⁴⁾은 자가 슬픽근과 슬개건을 이용한 전방십자인대 재건술 후 경골부 터널 크기의 증가를 보고하면서 windshield

wiper 효과를 설명하였고, Schulte 등⁶⁾은 경골 터널 내 슬개건의 고정기 원위부로 갈수록 터널 크기의 증가 발생을 보고하면서 이는 기계적인 요인이라 주장하였으나 일반적으로 연부조직 이식건을 사용하는 경우 터널 확장 정도가 크다고 보고하고 있다. 저자들의 연구에서 대퇴골 터널은 단일 다발 재건술에 비해 이중 다발 재건술 후 두 터널에서의 골 터널 확장이 통계학적인 차이를 보이지 않았으나 경골부의 각 터널에서는 유의한 골 터널 감소를 보였고, 이는 대퇴골 및 경골에 동일한 고정 방법을 시행한 연구에서 경골부 터널의 경우 이중 다발 재건술에서 유의한 골 터널 감소를 보여준 결과와 유사하였다.¹⁹⁾ 또한 이식건 고정에 있어서 관절면에 가깝게 고정할수록 골 터널 확장이 적다고 하니²⁰⁾ 이식건 고정 시 직경이 큰 나사를 삽입하면 골 터널에서 이식건을 압박하여 터널을 확장시킬 수 있으며¹⁾ 삽입 도중 이식건에 손상을 준다는 우려도 있다. 또한 이중 다발 재건술에서 인대 부착부의 전후방 길이가 적은 상태에서 큰 직경의 두 개의 터널을 만들면 경골 터널 관절면에서 골 교류가 불가피하게 발생할 수 있고 이로 인해 발생하게 되는 골 결손은 재수술에 있어서 이식건의 고정과 인대의 안정성에 심각한 문제를 가져올 수 있으므로,²¹⁾ 두 터널 사이에 2-3 mm의 골 간격 유지를 해야 한다.¹³⁾ 본 연구에서는 반건양건을 이용하였고 이식건 직경이 전내측 다발의 경우 최종 확공 시 6-7 mm, 후외측 다발의 경우 5.5-6 mm인 4개의 작은 이식건을 위한 터널을 대퇴골과 경골의 해부학적 부착부 내에 형성하고 골 터널과 이식건의 접촉면을 증가시킴으로써 골 터널과 이식건 사이의 치유에 도움이 될 것으로 기대하였다. 이는 입증된 생역학적 장점과 함께 생물학적 이점으로서 대퇴부 고정에 비해 고정력이 약한 경골부임에도 불구하고 터널 확장 정도가 적은 이유로서 추정할 수 있다.

추시 기간에 따른 골 터널 확장 정도에서 Clatworthy 등²⁾은 슬개건 이식 후 4개월까지는 확장되었으나 그 이후에는 더 이상 진행되지 않는다고 하였으며, 다른 연구에서도 술 후 첫 3개월에 많은 확장이 관찰되고 그 후부터는 점차 감소하여 18개월 이후에는 더 이상 변화가 없거나 오히려 터널 폭 감소를 보고하였다.^{5,22)} 저자들의 연구에서도 6개월까지 대부분의 확장이 발생하고 12개월 이후에는 확장이 멈추거나 감소하는 비슷한 추세를 보였다.

전방십자인대는 두 다발이 슬관절의 굴곡 정도에 따라 서로 긴장도가 변하는데^{23,24)} 이러한 복잡성은 단일 다발 재건술에서 정상적인 전방십자인대를 재현하기 어려운 반면,^{25,26)} 이중 다발 재건술 후 운동역학은 단일 다발에 비해 좀 더 정상에 가깝게 재현된다는²⁷⁾ 생역학 및 운동학적 장점들을 바탕으로 다양한 수술 방법들이 소개되고 있으며²⁸⁻³⁰⁾ 안정성 측면에서 보다 긍정적인 결과를 보여주고 있다.^{12,13)} 본 연구의 안정성 평가에서 Lachman 검사와 KT-1000 관절계를 이용한 전방 안정성, 그리고 pivot-shift 검사에서 이중 다발 재건군이 단일 다발 재건술에 비해 다소 향상된 결과에도 불구하고 유의한 차이를 보이지 않아 많은 환자를

대상으로 체계적이고 전향적인 연구를 장기적인 추시 관찰을 통한 비교가 필요하며 이를 바탕으로 안정성 향상이 어떻게 임상적 결과의 향상에 기여하는지 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

골 터널의 확장과 임상적 결과의 관련성에 있어서 논란이 있지만 최근 Järvelä 등¹⁹⁾은 안정성과 골 터널 확장의 연관성을 보고하였으며 본 연구는 두 군의 골 터널 확장에 있어서 KT-1000 관절계 검사 및 Lysholm 점수와의 상관관계를 보이지 않았다.

본 연구는 비교적 짧은 추시 기간, 동일하지 않은 고정방법, 그리고 생리적인 요인들을 배제하였다는 한계를 가지며, 골 터널 확장의 정확한 계측과 이중 다발 재건술시 발생할 수 있는 골 터널 교류를 위해 자기공명영상이나 컴퓨터 단층 촬영이 유리하나 본 연구는 일반 방사선 검사를 통한 계측을 하였다.

결론

이중 다발 전방십자인대 재건술은 임상적 결과와 안정성에 있어서 단일 다발 재건술에 비해 유의한 차이는 없었으나 다소 향상된 안정성과 더불어 경골부의 골 터널 확장은 감소하였다. 또한 골 터널 확장 정도가 임상적 결과에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 생각되었다.

참고문헌

1. 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.
2. Clatworthy MG, Annear P, Bulow JU, Bartlett RJ. Tunnel widening in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective evaluation of hamstring and patella tendon grafts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1999;7:138-45.
3. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6:231-40.
4. L'Insalata JC, Klatt B, Fu FH, Harner CD. Tunnel expansion following anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring and patellar tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1997;5:234-8.
5. Peyrache MD, Djian P, Christel P, Witvoet J. Tibial tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction by autogenous bone-patellar tendon-bone graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4:2-8.
6. Schulte K, Majewski M, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD. Radiographic tunnel changes following ACL reconstruction: auto-

- graft versus allograft. *Arthroscopy*. 1995;11:372-3.
7. Webster KE, Feller JA, Hameister KA. Bone tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised comparison of hamstring and patellar tendon grafts with 2-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2001;9:86-91.
8. Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR. Fate of the ACL-injured patient. A prospective outcome study. *Am J Sports Med*. 1994;22:632-44.
9. Fules PJ, Madhav RT, Goddard RK, Newman-Sanders A, Mowbray MA. Evaluation of tibial bone tunnel enlargement using MRI scan cross-sectional area measurement after autologous hamstring tendon ACL replacement. *Knee*. 2003;10:87-91.
10. Buck DC, Simonian PT, Larson RV, Borrow J, Nathanson DA. Timeline of tibial tunnel expansion after single-incision hamstring anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2004;20:34-6.
11. Järvelä T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15:500-7.
12. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, et al. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy*. 2007;23:618-28.
13. Siebold R, Dehler C, Ellert T. Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2008;24:137-45.
14. van Eck CF, Lesniak BP, Schreiber VM, Fu FH. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction flowchart. *Arthroscopy*. 2010;26:258-68.
15. Park SE. A prospective randomized study of 4-strand hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques (SS-39). *Arthroscopy*. 2010;26(6 Suppl):e19-20.
16. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, et al. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy*. 2004;20:1015-25.
17. Nebelung W, Becker R, Merkel M, Röpke M. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using Endobutton fixation on the femoral side. *Arthroscopy*. 1998;14:810-5.
18. Jagodzinski M, Foerstemann T, Mall G, Krettek C, Bosch U, Paessler HH. Analysis of forces of ACL reconstructions at the tunnel entrance: is tunnel enlargement a biomechanical problem? *J Biomech*. 2005;38:23-31.
19. Järvelä T, Moisala AS, Paakkala T, Paakkala A. Tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized study. *Arthroscopy*. 2008;24:1349-57.
20. Giron F, Aglietti P, Cuomo P, Mondanelli N, Ciardullo A. Anterior cruciate ligament reconstruction with double-looped semitendinosus and gracilis tendon graft directly fixed to cortical bone: 5-year results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005;13:81-91.
21. Siebold R. Observations on bone tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2007;23:291-8.
22. Ahn JH, Ha KI, Chung YS, Kim JH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Korean Orthop Assoc*. 2001;36:239-44.
23. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;106:216-31.
24. Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73:260-7.
25. Woo SL, Kanamori A, Zeminski J, Yagi M, Papageorgiou C, Fu FH. The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84:907-14.
26. Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P, Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004;32:975-83.
27. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo SL. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2002;30:660-6.
28. Takeuchi R, Saito T, Mituhashi S, Suzuki E, Yamada I, Koshino T. Double-bundle anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using bone-hamstring-bone composite graft. *Arthroscopy*. 2002;18:550-5.
29. Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S, Vascellari A, Iacono F, Presti ML. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthroscopy*. 2003;19:540-6.

30. Muneta T, Sekiya I, Yagishita K, Ogiuchi T, Yamamoto H, Shinomiya K. Two-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament using semitendinosus tendon with endobuttons: operative technique and preliminary results. *Arthroscopy*. 1999;15:618-24.

Comparison of Tunnel Enlargement between Single and Double Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Ju-Hong Lee, M.D., Seong-Il Wang, M.D., Jong-Hyuk Park, M.D., and Hyeon-Kyeong Bae, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, Medical School, Research Institute of Clinical Medicine,
Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea*

Purpose: The aim of this study was to compare the tunnel enlargement in patients who had undergone a double-bundle (DB) or single-bundle (SB) anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, and to determine the correlation between the extent of bone tunnel enlargement and the clinical results.

Materials and Methods: Among 224 primary ACL reconstructions performed from January 2004 to May 2008 we examined in this study 38 patients who underwent a SB-ACL reconstruction and 30 patients underwent a DB-ACL reconstruction. They were followed up over 1 year. The evaluation methods were the Lachman test, pivot-shift test and KT-1000 measurement for knee stability and the Lysholm score and International Knee Documentation Committee (IKDC) ratings for the functional results. Tunnel enlargement was measured at the sclerotic ridge of the most widest area on the anteroposterior and lateral radiographs in longitudinal and vertical axis of the tunnel.

Results: The tunnel enlargement on the femoral side was similar in the DB-ACL group and the SB-ACL group. On the other hand, on the tibial side, the tunnel enlargement was less in the DB-ACL group than in the SB-ACL group ($p=0.001$, ICC: 0.94). The two groups showed different functional results and extent of stability recovery. The KT-1000 arthrometer revealed 1.1 mm and 93% of negative in the pivot-shift test for the DB-ACL group, which induced an improved tendency compared to the SB-ACL group. No correlation was found between the tunnel enlargement and clinical results.

Conclusion: A DB-ACL reconstruction results in less tunnel enlargement on the tibial side than a SB-ACL reconstruction. There was no correlation between the tunnel enlargement and clinical results.

Key words: anterior cruciate ligament, reconstruction, single-bundle, double-bundle, tunnel enlargement

Received June 9, 2010 **Accepted** March 2, 2011

Correspondence to: Jong-Hyuk Park, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Medical School, Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University Hospital, 634-18, Keumam-dong, Duckjin-gu, Jeonju 561-712, Korea

TEL: +82-63-250-1760 **FAX:** +82-63-271-6538 **E-mail:** jhlee55@chonbuk.ac.kr