

전방십자인대 재건술에서 네비게이션 장치를 이용한 방법과 고식적인 방법에서 생체 내 등장성 비교

송은규 · 선종근 · 박상진 · 조용진 · 박찬희

전남대학교 의과대학 정형외과학교실, 화순전남대학교병원 관절센터

In Vivo Comparison of Isometricity between Navigational and Conventional Technique in an ACL Reconstruction

Eun Kyoo Song, M.D., Ph.D., Jong Keun Seon, M.D., Sang Jin Park, M.D.,
Yong Jin Cho, M.D., and Chan Hee Park, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Center for Joint Disease,
Chonnam National University Hwasun Hospital, Jeonnam, Korea

Purpose: To compare isometricity between the navigational and conventional technique during an anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction before fixating the graft.

Materials and Methods: Twenty-three patients with an ACL insufficiency were enrolled in this study. After finishing the tibial tunnel preparation using a navigational technique, a femoral tunnel site was marked using either the navigational (Orthopilot®) or conventional (Arthrex® 5 mm off-set guide) technique. After passing the suture material attached to the guide pin through each femoral site, isometric tests were then performed using a specially designed device during full range of motion of the knee.

Results: An mean isometricity after the navigational and the conventional technique was 3.0 mm and 4.6 mm respectively. The isometricity after the navigational technique was significantly better than that after the conventional technique ($p=0.000$). The navigational isometric point was usually 0 to 5 mm anterior or antero-lateral to that at the point of the conventional technique. The mean distance between the tunnels by two techniques was 1.35 mm. There was a strong positive correlation between the difference in isometricity and the positional relationship of the femoral tunnel ($r^2=0.778$, $p=0.000$).

Conclusion: An ACL reconstruction using the navigational technique provides better isometricity than that obtained using the conventional technique.

Key Words: Navigation, ACL reconstruction, Isometricity

서 론

전방십자인대 재건술시 성공적인 수술 결과를 얻기 위해서는 환자 선택, 수술 방법, 술 후 재활 및 동반 인대 손상의 정도 등이 고려되어야 하며, 수술 방법에는 경골 측 및 대퇴골측 터널의 위치, 이식건의 선택, 이식건의 장력 및 이식건의 고정 방법 등이 중요한 것으로 알려져 있다^{4,12,13}. 이 중 경골측 및 대퇴골측 터널의 위치는 성

공적인 전방십자인대 재건술을 위해 가장 중요한 부분이 라고 할 수 있다. 부적절한 위치의 골 터널은 이식건에 비정상적인 장력을 유발하고, 운동 영역 감소나 술 후 불안정성 재발이 가능하며, 결국 이식건의 파열(Graft failure)을 유발할 수 있다^{1,2,5,14,17,29}.

전방십자인대 재건술에서 이식건이 등장점에 위치함으로써 수술 후 슬관절 운동 시에 이식건에 가해지는 부

통신저자 : 박 상 진

전남 화순군 화순읍 일심리 160
화순전남대학교병원 정형외과
TEL: 061-379-7676 • FAX: 061-379-7681
E-mail: park5962@paran.com

Address reprint requests to

Sang Jin Park, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Chonnam National University Hwasun Hospital, 160, Ilsimri, Hwasun-eup, Hwasun-gun, Jeonnam 519-809, Korea
Tel: +82,61-379-7676, Fax: +82,61-379-7681
E-mail: park5962@paran.com

하를 최소화할 수 있으며, 이것은 초기에 이식건이 손상되는 것을 최소화할 수 있다^{7,10,11,22-24}.

전방십자인대 재건술에 있어서 등장점에 위치한 전방십자인대 재건이 성공적인 전방십자인대 재건술을 위하여 필요하며, 전방십자인대에서 완전하게 등장점에 위치한 섬유는 없는 것으로 알려져 있으나^{8,9,16,25,28} 정확한 이식건의 위치 선정을 위하여 대퇴-경골 터널의 등장점 위치를 찾기 위한 노력이 계속되어왔다.

최근의 연구에서 기존의 11시 방향(또는 1시 방향)의 전방십자인대 재건술은 전방 불안정성을 해결할 수는 있지만 회전 불안정성을 남기므로, 이를 해결하고자 관찰면상에서 좀더 재건되는 십자인대를 기울어진 방향으로 하기 위해 10시 방향(또는 2시 방향)으로 대퇴 터널을 만드는 노력들이 시행되었다^{20,26}. 또한, 단일 다발 재건술로는 정상적인 슬관절 역학과 안정성을 얻는 해부학적 재건술이 불가능하다는 연구도 발표 되었으며^{6,30}, 이러한 연구를 바탕으로 이중 다발 재건술이 시행되고 있고, 이에 대한 좋은 임상 결과가 보고되고 있다^{21,27,32}. 하지만 전방 십자인대 재건술 시 등장성을 고려하지 않은 이러한 대퇴 터널 위치의 변화는 장기적 관점에서 이식건의 진폭에 많은 변화를 일으킬 가능성을 무시할 수 없다.

최근 네비게이션 장치를 이용한 Computer Assisted Surgery System에 의한 전방십자인대 재건술은 이러한 등장점의 위치 결정에 유용한 방법으로 알려져 있으나, 등장성이나 등장점의 위치, 고식적 방법과 네비게이션 장치를 이용한 방법에서 등장성의 차이에 대한 보고는 아직 없었다. 본 연구에서는 전방십자인대 재건술에서 네비게이션 장치를 이용한 방법과 고식적인 방법 간의 등장성 및 그 차이를 생체 내에서 조사하고자 하였다.

대상 및 방법

본 연구에서는 2007년 12월부터 2008년 5월까지 전방십자인대 손상에 대해 본원에서 관절경적 단일 다발 전방십자인대 재건술을 시행 받은 23명을 대상으로 하였으며, 우측이 10예, 좌측이 13예였다. 이중 남자가 22명, 여자가 1명이었고, 나이는 평균 30.7세(17-51세), 수상부터 수술까지는 평균 3.5개월(0.2-9.5개월)이었다. 수상 원인으로는 낙상사고가 5예, 축구 손상이 11예, 베드민턴 손상이 2예, 기타가 5예였으며, 동반 손상으로는 내측 및 외측 반월상 연골판 손상이 4예, 내측 반월상 연골

판 손상이 6예, 내측측부인대 손상이 3예였다. 술전 Lachmann test에서 Grade I이 8예, Grade II가 8예, Grade III가 6예, Grade IV가 1예였으며, Pivot-Shift test에서 Grade I이 20예, Grade II가 3예였다.

술 전 Tegner activity scale은 평균 3.1 (2-5)이었으며, Lysolm Knee score는 평균 58.3점(8.0-78.0점), Telos[®]를 이용한 전방 스트레스방사선 검사 상 양측 전이의 차이는 평균 12.3 mm (6.2-19.8 mm)였다.

이식건은 Tibialis anterior allograft를 이용하였다. 고식적 방법에 의한 대퇴골측 골 터널은 Arthrex[®] 5 mm off set 매뉴얼 가이드를 이용하였으며, 네비게이션 장치를 이용한 방법의 경우는 Orthopilot[®] (B. Braun -

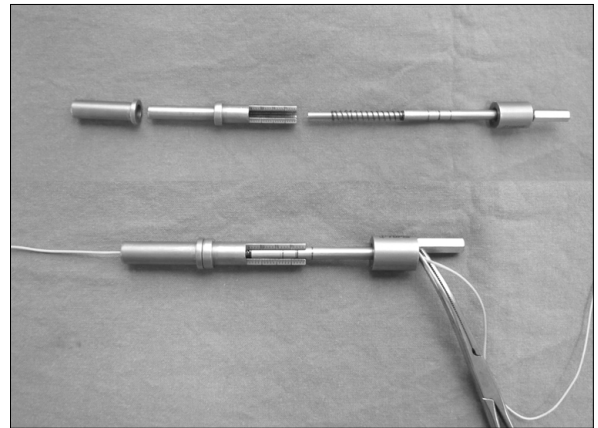


Fig. 1. Isometer consisting of a main frame, indicator and guide. Select the proper sized guide according to the size of tibial tunnel, indicator with regular tension during knee ROM, indicates scale drawn on main frame, scale differences imply isometricity. Measure scale differences by knee flexion & extension, and maximum difference is calculated in mm as isometricity.



Fig. 2. Tibial and femoral passive transmitter is fixed securely. 4 balls located in transmitter reflect infrared rays. Reflected infrared rays from the generator were detected by camera in main system.

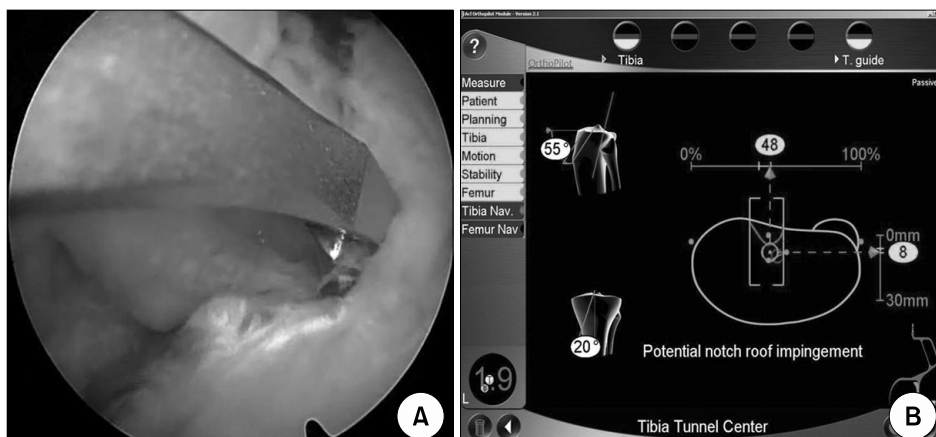


Fig. 3. Tibial tunneling was done by navigational technique. (A) This is a tibial tunneling guide of navigational technique. (B) It showed the information indicated by tibial guide. This tibial tunnel was located in 20 degrees in coronal plane, 55 degrees in sagittal plane, 8 mm anterior to PCL anterior edge, and 48% in medial tibial plateau.

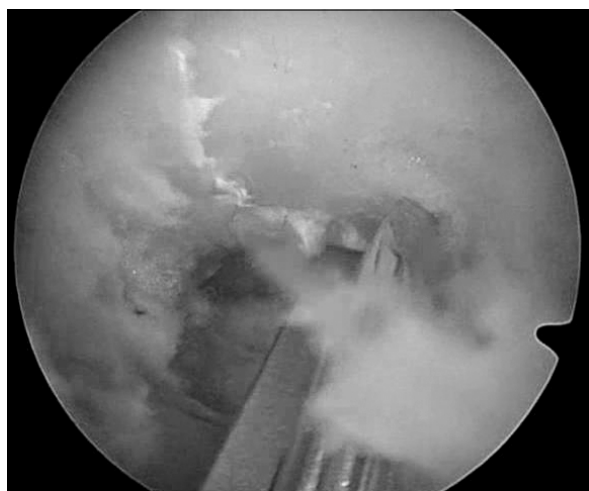


Fig. 4. Femoral tunneling was done by conventional technique with Arthrex® 5 mm off-set manual guide. Femoral tunneling was made toward 10 : 30 or 1 : 30 O'clock.

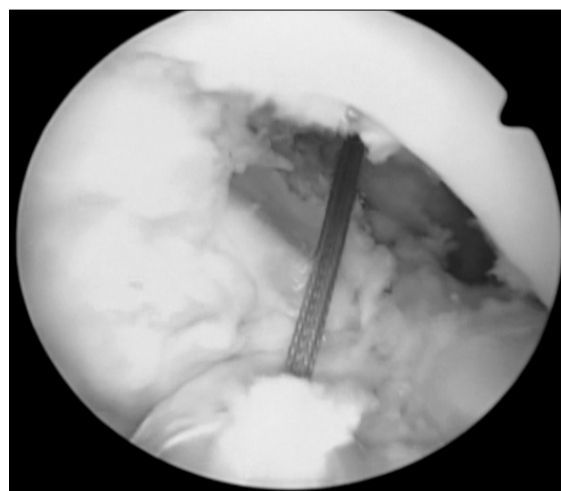


Fig. 5. Fixation the guide attached by Ethibond® #5 through femoral cortex. Femoral side of Ethibond® #5 was firmly fixed to ACL attach site, act like reconstructed ACL at same location during the knee ROM. The length change was equal to isometricity of reconstructed ACL.

Aesculap, Tuttlingen, Germany) ACL reconstruction Version 2.0을 이용하였다. 대퇴골측 골 터널에서는 EndoButton® (Smith&Nephew®: Andover, Ma, USA)를 이용하여 고정하였고, 경골측 골 터널에서는 체내 흡수성 간섭 나사(Linvatec®: Largo, FL, USA)를 이용하여 고정하였다.

등장성 측정에는 자체 제작한 Isometer가 이용되었다 (Fig. 1). Isometer는 눈금이 그려진 본체, 본체를 경골측 골 터널에 고정시키기 위한 가이드, 슬관절 운동 동안 일정한 장력을 유지하는 표시자로 구성되어 있다.

수술 방법은 다음과 같다. 환자는 마취 하에 양와위 위치에서 반대측 다리는 쇄석위로 하였고, 환측의 전체 하지를 소독하였다. 관절경하 표준 도달법에 의하여 접근

하였으며 Shaver로 시야 확보 후 Probing 하여 내측 및 외측 반월상 연골판 손상 여부 및 전방십자인대 손상 정도를 평가하였다.

네비게이션 카메라가 인식하게 되는 LED (Light Emitting Diode)를 장치할 수 있는 K-강선을 원위 대퇴골과 경골 간부에 고정하고 Transmitter를 위치시켰다 (Fig. 2). Straight point를 이용하여 경골 조면, 경골릉, 경골 내측 고평부, 경골 외측 고평부의 순서로 관절 외 해부학적 landmark를 지정한 후 Kinematic Registration을 시행하였다. 네비게이션의 지시에 따라 관절 내 해부학적 landmark를 지정하며, 이때는 관절경하에서 후방십자인대 전방 연, 외측 반월상 연골판의 전방 각,

과간 절절의 내측 극, 내측 절흔 벽, 전방 절흔 출구, 외측 절흔 벽, 대퇴골의 전방십자인대 부착부를 지정하였다. 관절경하에서 네비게이션 경골 측 골 터널 가이드를 이용하여 터널이 만들어지는 지점의 위치가 안전한 영역에 있는지 확인 후 가이드를 삽입하였다(Fig. 3). 대퇴골 측 골 터널을 위해서 우측의 경우 10 : 30 방향 및 좌측의 경우 1 : 30 방향에 Arthrex®사의 5 mm off-set 매뉴얼 가이드를 삽입 하여 대퇴골 측 골 터널 가이드를 삽입하였다(Fig. 4). 이때 Ethibond® #5가 묶어진 가이드가 대퇴골 피질골 밖에 위치하게 되며, 이렇게 고정된 Ethibond® #5는 재건될 전방십자인대와 동일한 위치와 관절

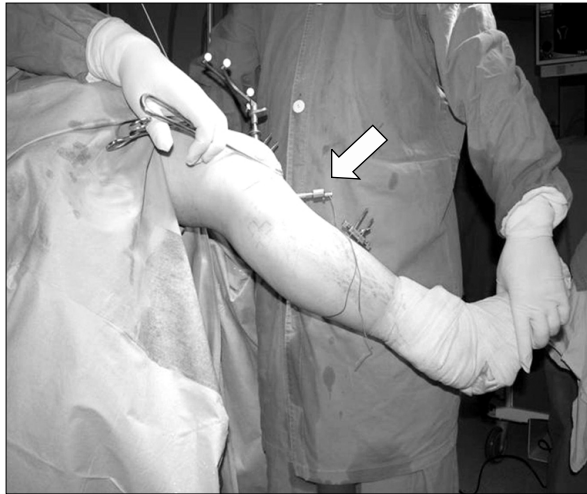


Fig. 6. Isometricity was measured under knee ROM exercise. Pass the other end of Ethibond® #5 through tibial tunnel, fixation the Ethibond® #5 by mosquito after equipment isometer through tibial tunnel. White arrow indicated isometer, inserted to the tibial tunnel.

내에서 동일한 길이를 가지게 되고 슬관절 굴곡 및 신전 시 재건될 전방십자인대의 길이 변화를 똑같이 반영하게 된다(Fig. 5). Ethibond® #5의 반대쪽 끝을 경골측 골 터널을 통과시켰으며, Isometer를 경골 측 터널을 통해 장착한 후에 Ethibond® #5 끝을 모기 검자를 이용하여 고정하였다(Fig. 6). 슬관절 운동영역에서 굴곡 및 신전 시키면서, Isometer 눈금의 최대 변화를 mm 단위로 측정하여 기록하였다. 대퇴골측 가이드를 제거하고, 네비게이션 장치를 이용하여 대퇴골 측에서 대퇴 터널의 위치나 Blumensaat's line으로부터 거리에 관계없이 가장 등장성이 좋은 위치를 찾았으며(Fig. 7) 해당 위치에서 동일한 방법으로 등장성을 조사하였다. 또한 이 두 지점 사이의 거리를 관절경하에서 5 mm 길이의 probe를 이용하여 거리를 측정하였으며, 두 지점간의 위치 관계를 고식적 방법으로 만든 위치를 기준으로 평가 기술하였다(Fig. 8).

통계학적으로는 SPSS windows version 12.0 (SPSS, Chicago, IL)의 Paired T-test를 이용하여 두 방법간 등장성 차이에 대해 비교하였으며, Pearson의 상관분석을 이용하여 두 터널간의 거리와 등장성 차이의 연관성에 대해 평가하였다. 이때 p 값이 0.05보다 작은 경우 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

전 환자의 대퇴 터널의 방향, 고식적 및 네비게이션 방법에 의한 등장성 수치, 수술 전후의 Lachmann 검사 결과 그리고 수술 전후의 Pivot Shifting 검사 결과는 Table 1과 같았다.



Fig. 7. (A) Femoral tunnel was made by navigational technique. The appropriate isometric points by navigational technique is more antero-lateral than conventional technique. (B) Isometricity is 3 mm, and 1 : 30 O'clock position, 9 mm anterior to over the top position.

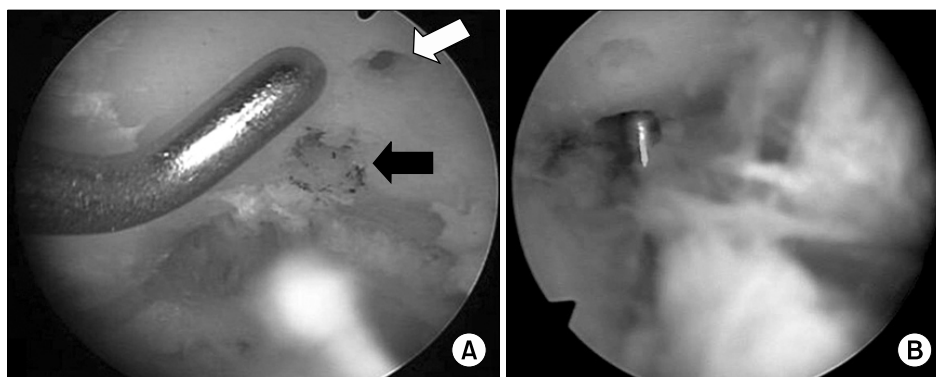


Fig. 8. Positional relationship was measured by arthroscopy with a probe. (A) Black arrow indicates femoral tunnel by conventional technique and white arrow indicates femoral tunnel by navigational technique. Femoral tunnel by navigation technique was located more anterolateral position than by conventional technique, and difference between two tunneling was about 2 mm. (B) Femoral tunnel by navigation technique was located more anterior position than by conventional technique.

Table 1. Postoperative Data of Conventional and Navigational Technique

Case	Navigational tunnel position comparing with conventional tunnel		Isometricity (mm)		Lachman test (grade)		Pivot shift test (grade)	
	Distance (mm)	Direction	Conventional tunnel	Navigational tunnel	Preop	Postop	Preop	Postop
1	2	Anterior	6	2	III	(-)	I	(-)
2	2	Anterior	5	3	III	(-)	I	(-)
3	2	Anterior	5	3	I	(-)	I	(-)
4	2	Anterior	6	4	I	(-)	I	(-)
5	2	Anterolateral	5	3	IV	(-)	I	I
6	3	Anterior	6	3	I	(-)	I	(-)
7	2	Anterior	5	3	I	(-)	I	(-)
8	1	Anterior	5	3	I	I	I	(-)
9	2	Anterolateral	3	2	I	(-)	I	I
10	2	Anterior	4	1	II	I	I	(-)
11	0	Same	3	3	III	(-)	II	(-)
12	5	Anterior	7	3	II	I	I	(-)
13	0	Same	3	3	II	(-)	II	(-)
14	2	Anterolateral	7	3	II	(-)	I	(-)
15	2	Anterolateral	7	4	III	I	II	(-)
16	1	Anterior	5	3	III	(-)	I	(-)
17	0	Same	3	3	I	I	I	I
18	1	Anterolateral	5	3	II	(-)	I	(-)
19	0	Same	3	3	III	(-)	I	(-)
20	0	Same	3	3	II	I	I	I
21	0	Same	3	3	I	I	I	I
22	0	Same	3	3	II	(-)	I	(-)
23	0	Same	3	3	II	(-)	I	I

고식적 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널의 등장성은 최소 3 mm부터 최대 7 mm까지 평균 4.6 mm였으며, 네비게이션 장치를 이용한 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널의 등장성은 최소 2 mm부터 최대 4 mm까지 평균 3.0 mm로, 네비게이션 장치를 이용한 방법에서 통계적으로

의의 있게 더 작아, 등장성이 더 좋은 결과를 보였다 (Table 2).

동일 환자에서 고식적 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널의 등장성과 네비게이션을 이용한 방법에 의한 대퇴골측 골 터널의 등장성의 차이는 평균 1.5 mm (최소 0 mm,

Table 2. Comparison of Isometricity

	Mean±SD (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Conventional technique	4.6±1.47	3	7
Navigational technique	3.0±0.47	2	4

p=0.000, Paired T-test.

Table 3. Difference of Isometricity in Same Case

	Case	(%)
Same	8	34.8
0-3 mm	10	43.5
≥3 mm	5	21.7

최대 4.0 mm)였으며, 그 둘이 동일한 경우가 8예, 그 차이가 3 mm 미만인 경우가 10예, 3 mm 이상 차이가 나는 경우가 5예 있었다(Table 3).

이들 두 대퇴골 측 골 터널의 위치관계에 있어서 고식적 방법과 네비게이션을 이용한 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널 사이에 거리는 평균 1.35 mm (최소 0 mm, 최대 5 mm)였으며, 네비게이션을 이용한 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널이 고식적 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널보다 전방에 위치한 경우가 10예, 전-측방에 위치한 경우가 4예, 그 둘의 위치가 동일한 경우가 8예 있었다(Table 4).

두 방법에 의한 대퇴 터널이 동일한 경우 8예를 제외하고, 15예에서 각각의 등장성을 비교하였을 때, 고식적 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널의 등장성은 평균 5.4 mm였으며, 네비게이션 장치를 이용한 방법에 의한 대퇴골 측 골 터널의 등장성은 평균 3.1 mm로, 네비게이션 장치를 이용한 방법에서 등장성이 통계적으로 유의하게 더 작아, 등장성에서 더 좋은 결과를 보였다(Table 5).

두 터널 간의 거리와 등장성 차이 사이의 상관 비교에서 두 터널간의 거리가 멀수록 등장성의 차이 역시 커지는 양의 상관관계가 관찰되었다($r^2=0.778$, $p=0.000$).

고 찰

Hey Groves에 의해 1917년 소개된 전방십자인대 재건술은 이후 1차 봉합, 장경대 인대를 이용한 관절 내 재건, 슬개건을 이용한 관절 내 재건 등으로 발전되었다. 전방십자인대 재건술 후 올 수 있는 합병증으로는 굴곡의 장애, 전방 슬관절 동통, 이식건의 실패, 신전 기전의 변

Table 4. Positional Relationship of the Two Femoral Tunnel

	Case	(%)
Anterior	10	43.5
Antero-Lateral	5	21.7
Same	8	34.8

Table 5. Comparison of Isometricity in Cases with Different Femoral Tunnel

	Mean±SD (mm)	Min (mm)	Max (mm)
Conventional technique	4.7±1.53	2	7
Navigational technique	3.0±0.56	2	4

p=0.000, Paired T-test.

화 등이 있다. 정확한 골 터널의 위치는 이식건의 과도한 장력을 줄이고, 슬관절 신전 시 충돌을 줄일 수 있다. 하지만 이식건에의 과도한 장력은 이식건 실패를 유도할 수 있으며, 충돌 역시 지속적인 관절 내 삼출, 슬관절 신전 제한을 가져올 수 있고 결국 이식건 실패로 이어질 수 있다. 심각한 골 터널의 부적절한 위치는 이식건 실패, 전방십자인대 재 재건술, 일차 재건술시 기술적 어려움 등을 초래한다.

전방십자인대 재건술의 모든 목표가 동일하다고 할 지라도, 수술자마다 그 기법에 있어서는 많은 차이가 있다. 고식적인 전방 십자인대 재건술에는 1시 또는 11시 방향의 대퇴 터널이 선호되었는데 이는 주로 전내 측 다발을 재건하는 것으로 경골의 전방 이동을 효과적으로 막아 주지만 내회전 및 외반의 복합 회전 부하에는 효과적인 안정성을 제공하지 못한다는 문제가 제기되어 왔으며, 이를 극복하기 위하여 대퇴 터널을 좀더 측방인 2시 또는 10시 방향으로 위치시키거나 이중다발 재건술 등 좀 더 해부학적인 재건술이 필요할 것이라고 지적하기도 하였다^{6,18,21,27,30-32}).

하지만 전방십자인대 재건술 시 회전 안정성을 얻기 위한 대퇴 터널 위치를 측방으로 이동하여야 한다는 이러한 주장은 대부분 In vitro cadaver 연구로서, 계속되는 cyclic loading이 발생하였을 때 생체내에서의 이식건이 변화를 일으킬 가능성을 무시할 수 없고, 이에 대해 연구된 결과는 아직까지 없다. 이러한 관점에서 최적의 등장점에 대한 연구는 최근 활발히 연구되고 있는 전방십자인

대 재건술에서 슬관절 회전 안정성에 대한 관심과 더불어 반드시 고려되어야 할 사항일 것이다. 저자는 고식적 방법의 대퇴 터널의 경우 회전 안정성 및 등장성을 고려하여 10 : 30 및 1 : 30 방향에 시행하였다.

본 연구에서 최적의 등장성을 위하여 네비게이션 장치를 이용하여 찾아진 대퇴골 측 골 터널의 위치가 기존의 고식적 방법에 비해 전방에 위치한 경우가 11예, 전측방에 위치한 경우가 5예로, 네비게이션 장치를 이용했을 때 고식적인 방법보다 좀더 전방 또는 전측방에 위치하는 경향을 보이고 있다. Allen 등은 대퇴골 측 골 터널이 과도하게 전방에 위치한 경우 슬관절 굴곡 시 과도한 장력이 발생하며 신전 시 이완된다고 보고하였다³⁾. 본 연구에서는 이식전 고정 후에 관절경을 통하여 슬관절 굴곡-신전 시 충돌이 없는 것을 확인하였으며, 등장성이 가장 좋은 지점을 선택하였으므로 임상 결과가 더 좋을 것으로 기대하며, 수명에 대해서는 장기 추시가 필요할 것으로 생각된다.

Koh 등은 이식전 실패 등에 의한 전방십자인대 재건술이 전체의 20%에서 필요하며, 그 중 경골 측 터널이나 대퇴골 측 터널의 잘못된 위치 등 기술적 오류가 원인의 75-95%를 차지한다고 보고하였다¹⁹⁾. 고식적 방법에서는 경험 많은 시술자라 할지라도 항상 정확한 위치에서 골 터널을 만들기가 어려우며, Isometer 등 특별히 고안된 장치 없이 등장성을 알아내는 것도 불가능하다. 더욱이 골 터널을 만들기 전에 충돌이나 등장성에 대해서 객관적 수치를 알기는 어려우며, 한번 골 터널을 만들거나 이식건을 이미 고정을 했다면 충돌이나 등장성을 개선시키기도 힘들다¹⁵⁾.

즉, 고식적 방법에서는 결과에 대한 피드백을 할 수 있는 객관적 방법이 부족하며, 충돌이나 등장성에 대한 객관적 정량화 역시 어렵다. 하지만 네비게이션 장치는 골 터널을 만들지 않고서도 해당 지점의 시상면과 관상면상 위치 및 충돌 여부, 등장성 등에 대하여 객관적 수치로 표시해 주지만 지금까지 전방십자인대 재건술에서, 네비게이션 장치에서 얻어지는 최적 등장점과 실제 등장성에 대한 비교 연구가 없었고, 이에 대해 본 연구에서 네비게이션 장치를 이용한 경우 등장성이 더 좋다는 것을 실제로 증명하였다.

결론

전방십자인대 재건술에서 생체 내 등장성에 대한 조사 결과 네비게이션 장치를 이용한 경우에서 고식적인 방법에서 보다 더 좋은 결과가 관찰되었다.

즉, 네비게이션 장치를 이용한 전방십자인대 재건술은 고식적 방법보다 더 우수한 등장성을 제공할 수 있는 효과적인 방법이다.

참고문헌

1. Aglietti P, Buzzi R, Menchetti P, Giron F: Arthroscopically assisted semitendinosus and gracilis tendon graft in reconstruction for acute anterior cruciate ligament injuries in athletes. *Am J Sports Med*, 24: 726-731, 1996.
2. Alietti P, Buzzi Rm, D'Andria S, Zacchroff G: Long-term study of anterior cruciate ligament reconstruction for chronic instability using the central one-third patellar tendon and a lateral extraarticular tenodesis. *Am J Sports Med*, 20: 38-45, 1992.
3. Allen CR, Griffin JR, Harner CD: Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Clin North Am*, 34: 79-98, 2003.
4. Bealle D, Johnson DL: Technical pitfalls of anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med*, 18: 831-845, 1999.
5. Buzzi R, Zaccherotti G, Giron F, Aglietti P: The relationship between the intercondylar roof and the tibial plateau with the knee in extension: relevance for tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 15: 625-631, 1999.
6. Chouliaras V, Ristanis S, Moraiti C, Stergiou N, Georgoulis AD: Effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with quadrupled hamstrings and bone-patellar tendon-bone autografts: an in vivo study comparing tibial internal-external rotation. *Am J Sports Med*, 35: 189-196, 2007.
7. Daniel DM: Knee ligaments: structure, function, injury and repair. In: Daniel DM, Akeson WH, O'Connor JJ ed. *Principle of knee ligament surgery*. New York, Raven Press: 11-29, 1990.
8. Flemming BC, Beynon BD, Nichols CE, Renström PA, Johnson RJ, Pope MH: An in-vivo comparison between

- intraoperative isometric measurement and local elongation of the graft after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 76: 511-519, 1994.
9. **Flemming BC, Beynnon BD, Johnson RJ, McLeod WD, Pope MH:** Isometric versus tension measurements. A comparison for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 21: 82-88, 1993.
 10. **Gillquist J, Good L:** Load and length changes in an artificial ligament substitute. 10 cases of anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand*, 64: 575-579, 1993.
 11. **Graf B:** Isometric placement of substitutes for the anterior cruciate ligament. In: Jackson DW ed. *The anterior cruciate deficient knee. New concepts in ligament repair*. St. Louis, C.V. Mosby: 102-113, 1987.
 12. **Graft B, Uhr F:** Complications of intra-articular anterior cruciate reconstruction. *Clin Sports Med*, 7: 835-848, 1988.
 13. **Graft BK, Rothenberg M, Vanderby R:** Anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon. An ex vivo study of wear-related damage and failure at the femoral tunnel. *Am J Sports Med*, 22: 131-135, 1994.
 14. **Hame SL, Markolf KL, Hunter DM, Oakes DA, Zoric B:** Effects of notchplasty and femoral tunnel position on excursion patterns of an anterior cruciate ligament graft. *Arthroplasty*, 19: 340-345, 2003.
 15. **Hart R, Krejzia J, Sváb P, Kocis J, Stipeák V:** Outcomes after conventional versus computer navigated anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 24: 569-578, 2008.
 16. **Hefzy MS, Grood ES, Noyes FR:** Factors affecting the region of most isometric femoral attachments. Part II: The anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 17: 208-216, 1989.
 17. **Howell SM, Wallace MP, Hull ML, Deutsch ML:** Evaluation of the single-incision arthroscopic technique for anterior cruciate ligament replacement: a study of tibial tunnel placement, intraoperative graft tension, and stability. *Am J Sports Med*, 27: 284-293, 1999.
 18. **Kenamori A, Woo SL, Ma CB, et al:** The forces in the anterior cruciate ligament and knee kinematics during a simulated pivot shift test: a human cadaveric study using robotic technology. *Arthroscopy*, 16: 633-639, 2000.
 19. **Koh JL:** Navigation and ACL reconstruction. Presented at the 25th Annual Meeting of the Arthroscopy Association of North America. Hollywood. FL, May, 2006.
 20. **Loh JC, Fukuda Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH, Woo SL:** Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award paper. *Arthroscopy*, 19: 297-304, 2003.
 21. **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*, 15: 618-24, 1999
 22. **O'Briend WR:** Isometric placement of anterior cruciate ligament substitutes. *Oper Tech Orthop*, 2: 49-54, 1992.
 23. **O'Meara RP, O'Briend WR, Henning CE:** Anterior cruciate ligament reconstruction stability with continuous passive motion: The role of isometric graft placement. *Clin Orthop Relat Res*, 277: 201-209, 1992.
 24. **Penner DA, Daniel DM, Wood P, Mirshra D:** An in-vitro study of anterior cruciate ligament graft placement and isometry. *Am J Sports Med*, 16: 238-243, 1988.
 25. **Schutzer SF, Christen S, Jakob RP:** Further observations of the isometricity of the anterior cruciate ligament. An anatomic study using a 6 mm diameter replacement. *Clin Orthop Relat Res*, 242: 247-255, 1989.
 26. **Scopp JM, Jasper LE, Belkoff SM, Moorman CT 3rd:** The effect of oblique femoral tunnel placement on rotational constraint of the knee reconstructed using patellar tendon autografts. *Arthroscopy*, 20: 294-299, 2004.
 27. **Seon JK, Park SJ, Lee KB, Yoon TR, Seo HY, Song EK:** Stability comparison of anterior cruciate ligament between double- and single-bundle reconstructions. *Int Orthop*, 33: 425-429, 2009
 28. **Sidles JA, Larson RV, Garbini JL, Downey DJ, Matsen FA 3rd:** Ligament length relationships in the moving knee. *J Orthop Res*, 6: 593-610, 1988.
 29. **Sommer C, Friederich NF, Muller W:** Improperly placed anterior cruciate ligament grafts: correlation between radiological parameters and clinical results. *Knee Surg Sports*

Traumatol Arthrosc, 8: 207-213, 2000.

30. **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*, 84: 907-914, 2002.
31. **Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH,**

Woo SL: *The biomechanical analysis of anatomical ACL reconstruction. Am J Sports Med*, 30: 660-666, 2002.

32. **Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H:** *Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures. Arthroscopy*, 22: 240-251, 2006.

= 국문초록 =

목 적: 본 연구에서는 전방십자인대 재건술에서 네비게이션 장치를 이용한 방법과 고식적인 방법 간의 등장성의 차이를 생체 내에서 규명하고자 하였다.

대상 및 방법: 2007년 12월부터 2008년 5월까지 전방십자인대 손상에 대해 본원에서 관절경적 단일 다발 전방십자인대 재건술을 시행받은 23명을 대상으로 하였다. 경골측 골 터널을 만든 후 고식적 방법과 네비게이션 장치를 이용하여 이식건이 대퇴골측에서 위치할 것으로 예상되는 지점에 가이드를 삽입하고, 해당 지점에서의 등장성을 자체 제작한 Isometer를 이용하여 측정하였다.

결 과: 평균 등장성은 네비게이션 장치를 이용한 경우 3.0 mm, 고식적인 방법의 경우 4.6 mm였으며, 네비게이션 장치를 이용한 경우 고식적인 방법에서 보다 등장성이 더 좋았다($p=0.000$). 네비게이션 장치를 이용한 경우 등장점은 고식적인 방법에서의 그것보다 전측 또는 전-외측에 위치하였으며, 두 등장점 간의 간격은 평균 1.35 mm (0-5 mm)였다. 두 터널 간의 거리와 등장성 차이는 양의 상관관계가 있었다($r^2=0.778$, $p=0.000$).

결 론: 전방십자인대 재건술에서 생체 내 등장성에 대한 조사 결과 네비게이션 장치를 이용한 경우에서 고식적인 방법에서 보다 더 좋은 결과가 관찰되었다.

색인 단어: 네비게이션, 전방십자인대재건술, 등장성