

전내측 도달법을 이용한 Bifurcate Ridge 중심의 해부학적 전방십자인대 재건술 후 대퇴 터널 위치에 대한 평가

박치형 · 김동휘[✉] · 정 성 · 양성훈

조선대학교 의과대학 정형외과학교실

Analysis of Femoral Tunnel Position Targeted at Bifurcate Ridge Using Anteromedial Portal Technique in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Chi-Hyoung Pak, M.D., Dong Hwi Kim, M.D.[✉], Sung Jung, M.D., and Sung Hun Yang, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University School of Medicine, Gwangju, Korea

Purpose: The purpose of this study is to analyze the position of the 10-mm-sized femur tunnel drilled aiming for the bifurcate ridge using anteromedial portal technique with 'Figure of 4 position' by 3-dimensional computed tomography (3D-CT) reconstruction images after anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and to evaluate its propriety.

Materials and Methods: Out of 35 patients who underwent anatomic ACL reconstruction from March 2012 to February 2013, 32 patients who undergone postoperative 3D-CT scans were included in this study retrospectively. Medial surface of the lateral femoral condyle was reconstructed using Mimics, and then the position of the femoral tunnel was evaluated using the Bernard quadrant method and the results were compared with those of published literatures. The mean age of the patients was 32.6 years old. There were 25 cases of double-bundle ACL reconstruction with one femoral-two tibial tunnel. There were 7 cases of single bundle ACL reconstruction with one femoral-one tibial tunnel.

Results: The mean distance of the femoral tunnel center was $32.2\% \pm 2.9\%$ (range, 27.4%–37.6%) along the line parallel to the Blumensaat's line from the posterior condylar surface and $46.7\% \pm 2.3\%$ (range, 43.5%–51.1%) along the line perpendicular to the Blumensaat's line from the roof of the notch. In comparison with the results of published literature, although the center of the femoral tunnel was presented in the femoral footprint, it was located slightly more shallow and inferior than the center of the ACL footprints.

Conclusion: The bifurcate ridge may be a good anatomic landmark when making a 10-mm-sized single femoral tunnel in 'Figure of 4 position' using the anteromedial portal technique.

Key words: anatomic ACL reconstruction, bifurcate ridge, 3D-CT analysis

서론

Received November 13, 2014 Revised March 4, 2015

Accepted March 6, 2015

[✉]Correspondence to: Dong Hwi Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, 365 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-717, Korea

TEL: +82-62-220-3147 FAX: +82-62-226-3379 E-mail: oskdh@chosun.ac.kr

*This study was supported by research fund from Chosun University, 2010.

이식건의 등장성(isometry)을 중요시하고 경경골(transtibial) 술식을 이용하였던 전통적인 단일 다발 전방십자인대 재건술은 대퇴 터널이 원래의 해부학적 위치보다 더 높은 11시나 1시에 위치하고, 경골 터널은 이식건의 대퇴골 절흔과의 충돌을 막기 위해 경

골 부착부의 후방에 위치하게 되어 원래의 전방십자인대 주행보다 상대적으로 시상면 및 관상면 모두에서 수직으로 만들어지기 때문에 경골의 전방 전위에 대한 안정성은 회복할 수 있지만 회전 안정성을 회복하지 못하여 장기 추시상 연골의 퇴행성 변화를 가져오고, 운동 시 정상적인 슬관절 생역학을 구현하지 못한다는 점이 보고되었다.^{1,2)} 이를 보완하기 위해 해부학적 재건술이 연구되고 있으며, 특히 대퇴 터널 위치에 대한 중요성이 강조되고 있다.³⁻⁷⁾ Forsythe 등⁶⁾과 Ferretti 등⁸⁾은 ‘lateral intercondylar ridge’와 ‘bifurcate ridge’가 대퇴골 외과의 내측면에 존재하고, 무릎을 90° 굴곡한 상태에서 전자를 기준으로 그 하부에 전방십자인대가 부착하며, 후자를 기준으로 후외측 다발과 전내측 다발이 각각 부착됨을 밝혔다. 이에 따라 bifurcate ridge가 해부학적 터널을 만들 수 있는 지표가 될 수 있다고 보고하였고 이를 기준으로 해부학적 이중 다발 또는 단일 다발 재건술을 시행하고 전통적인 방식의 단일 다발 재건술과 비교하여 보다 우수한 임상적 결과를 보고하였다.⁹⁾ 그러나 offset guide를 이용하여 비교적 쉽게 일정한 위치에 대퇴 터널을 만들었던 경경골 단일 다발 재건술과 달리 해부학적 재건술은 정확한 위치에 터널을 만들기 위한 guide가 보편화되어 있지 않고,¹⁰⁾ 터널을 형성하는 방법, 터널 형성 시 슬관절 굴곡 정도에 따라 터널의 위치 및 모양이 달라지게 된다.¹¹⁾

저자들은 슬관절을 100°-120° 굴곡 및 내반시키는 4자 모양 하지 위치에서 전내측 도달법을 이용하여 bifurcate ridge를 중심으로 10 mm 해부학적 단일 대퇴 터널을 만들어도 대퇴골 외과 후벽의 골절이나 연골 손상 등의 합병증 발생 없이 수술을 마칠 수 있어 이러한 터널의 위치가 적절한지에 대해서 3차원 컴퓨터 단층 촬영 영상을 통하여 평가해보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2012년 3월부터 2013년 2월까지 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행하였던 35예 중 수술 후 컴퓨터 단층 촬영을 시행하고 3차원 영상의 재건이 가능하였던 32예를 대상으로 후향적 연구를 시행하였으며 평균 추시 기간은 18.3개월이었다. 수술 후 컴퓨터 단층 촬영을 촬영하지 않았거나, 재재건술이나 부분 다발 재건술의 경우는 대상에서 제외하였다. 환자의 평균 연령은 32.6세(16-58세)였고, 남자 26예, 여자 6예였으며 우측이 19예, 좌측이 13예로 수상 후부터 재건술까지의 기간은 17.4개월이었다. 모든 수술은 단일 술자에 의하여 anteromedial portal technique¹²⁾을 이용하여 시행되었고 비교적 술기가 쉬운 1대퇴-2경골 터널 해부학적 이중 다발 재건술을 원칙으로 하였다. 다만 다발성 인대 손상이 있어 수술시간이 많이 소요되는 경우, Outerbridge grade 2 이상으로 연골 손상이 동반된 경우, 경골의 인대 부착부의 전후 길이가 14 mm 미만인 경우에는 1대퇴-1경골 터널 해부학적 단일 다발

재건술을 시행하였다. 1대퇴-2경골 터널 이중 다발 재건술이 25예, 1대퇴-1경골 터널 단일 다발 재건술이 7예였고, 터널의 위치를 확인하기 위해 수술 후 1주일 이내에 컴퓨터 단층 촬영을 시행하였다.

2. 수술 방법

1) 건 준비

한국 사람은 체형이 작아 자가 슬괵건 길이가 짧고 얇아서 이중 다발 재건이 충분하지 못한 경우가 많고¹³⁾ 이전의 연구^{14,15)}에서 동결 아킬레스건을 이용한 전방십자인대 재건술이 자가 이식건을 이용한 재건술에 비해 임상적 결과의 차이가 없다고 하여 본 연구에서는 신선 동결된 아킬레스 동종 건을 사용하였으며 현재 우리나라 의료체계에서는 인정 비급여로 인정되고 있다. 신선 동결된 아킬레스 동종 건을 항생제가 섞인 생리식염수로 해동한 후 이중 다발은 직경 10 mm, 길이 20 mm의 종골 골편에 전내측 다발 직경이 8 mm, 후외측 다발 직경이 6 mm가 되도록 건을 종 절개한 후 Polysorb (Covidien, Mansfield, MA, USA)을 이용하여 가장자리 봉합을 시행하였다(Fig. 1). 단일 다발은 직경 10 mm, 길이 20 mm의 종골 골편에 10 mm의 건을 만들어 Polysorb을 이용하여 가장자리 봉합을 시행하였다.

2) 대퇴 터널

Anteromedial portal technique¹²⁾을 위해 먼저 높은 전외측(high anterolateral) 삽입구를 만들어 관절내 시야를 확보한 상태에서 spinal needle을 이용하여 전내측 삽입구의 적절한 위치를 선정하는데, 이때 내측 연골판이 손상되지 않고, 대퇴 외과의 내측면에 가급적 수직이 될 수 있도록 가능한 하위 및 내측에 위치하도록 삽입구를 만들었다. 이후 중심(central) 삽입구를 만들고 전방십자인대의 파열상태 및 관절 내 동반 손상 여부에 대하여 확인하였다. 터널을 뚫을 때 슬관절 안정성 유지를 얻기 위해 필요한 조수가 필요 없다는 장점과 대퇴골 후방 피질골 손상가능성을 낮추는 장점이 있어 무릎을 100°-120° 굴곡 및 내반시킨 상태인 ‘4자 모양’에서 중심 삽입구로 시야를 바꾸어 bifurcate ridge를 확인하였다. 이후 30° micro fracture awl을 전내측 삽입구로 삽입하여 대퇴



Figure 1. Fresh frozen allogeneous Achilles tendon was split into 6-mm-diameter for posterolateral bundle, 8 mm diameter for anteromedial bundle with 20×10×10 mm bone block.

골 후외과 관절면 6 mm 상방의 bifurcate ridge에 터널의 중심을 표시한 다음 2.4 mm 유도핀을 freehand technique으로 삽입하였다. 이때 후과 골절이 예방되고 긴 터널을 만들 수 있도록 최대한 연골에 유도핀을 가까이 위치시켰다. 이후 날(blade)이 한쪽에만 있는 10 mm Sentinel drill bit (Linvatec, Largo, FL, USA)을 연골이 손상되지 않도록 연골 반대방향으로 삽입한 다음 손으로 돌려 형성될 터널 입구가 후방 피질골 내에 위치함을 확인한 후 power 확공기를 이용하여 골편을 넣기 위한 20 mm 깊이의 터널을 만들었다(Fig. 2).

3) 경골 터널

Arthroscopic bendable ruler (TruKor Gauge; Smith & Nephew, Andover, MA, USA)를 통하여 경골 부착부의 전후 길이를 측정하여 14 mm 이상일 경우 2개의 경골 터널을 계획하고 이보다 작은 경우 단일 터널을 계획하였다. 이중 다발 재건술은 인대의 남은 부위를 기준으로 조각기를 이용하여 외측 과간 융기(lateral intercondylar eminence)와 외측 반월상 연골 전각(lateral meniscus anterior horn) 사이에 후외측 다발의 위치를 표시하고, 외측 반월상 연골 전각의 내측, 경골 전방 경계(anterior tibial edge)로 부터

약 15 mm 후방에 전내측 다발의 위치를 표시하였다. 이후 경골의 전내측에 약 3 cm의 피부 절개를 한 후 ACL tibial guide (Linvatec)를 후외측 다발은 45°, 전내측 다발은 55°-60° 고정하여 이전에 표시한 각 다발의 부착부 중심에 유도핀을 삽입하고 그 유도핀 간격이 10 mm 이상인 것을 확인한 후 먼저 6 mm의 후외측 터널을 만들고 그 후 전내측 터널을 8 mm로 만들었다. 단일 다발 재건술은 이중 다발 재건술과 동일한 방식을 이용하여 전내측 다발과 후외측 다발 중심을 기준으로 10 mm의 경골터널을 형성하였다.

4) 이식전 통과 및 고정

대퇴 터널의 중심부에 beath pin을 삽입한 후 부가적 전내측 삽입구를 통하여 아킬레스 건 부위가 관절연골면에 가깝게 위치하도록 골편의 해면골이 전방으로 향하도록 이식전을 통과시키고, 관절외부에 남아 있는 이식건의 후외측 다발 suture loop를 부가적 전내측 삽입구를 통하여 모기검자로 관절 내로 유도한 후, 경골 전내측면에 위치한 후외측 경골 터널 입구에서 관절 내로 retriever를 삽입하고, 관절 내에서 잡아내어 경골 터널에 통과시켰다. 이후 같은 방법으로 전내측 다발을 통과시켰다. 이식건의 장력을 주기 전에 대퇴 터널에 이식건의 위치가 변화되지 않음을 확인

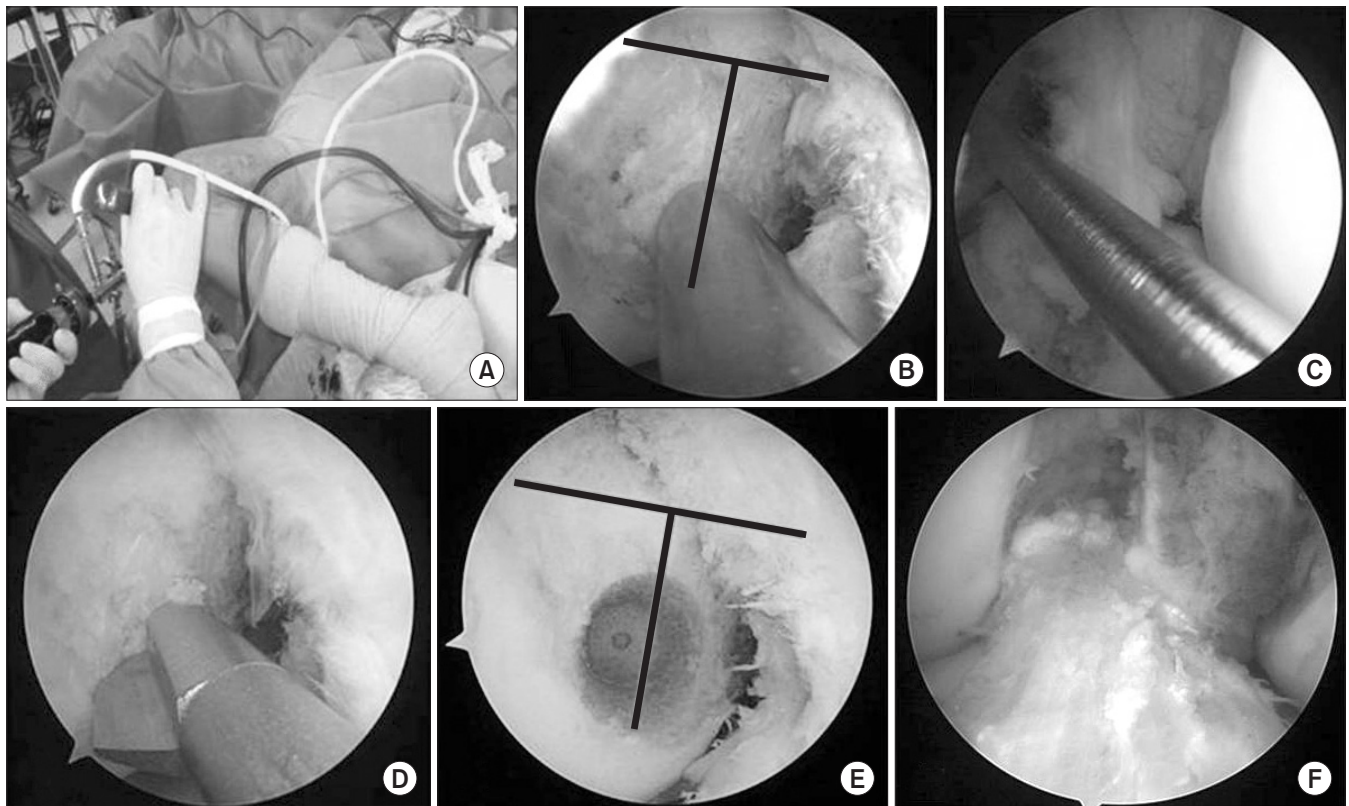


Figure 2. Operative technique during right knee anatomic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. (A) 'Figure of 4 position' which was knee flexion to 100° to 120° and varus state. (B) Micro-fracture awl tip marked the midpoint of the bifurcate ridge and 5 mm superior to the articular margin. (C) A guide pin was placed at the marked position and drilled out to the lateral cortex of the lateral condyle taking care to enclose the guide pin on the cartilage of the medial condyle but to avoid damaging it. (D) A 10-mm Sentinel drill bit was used to confirm the location of the tunnel without articular cartilage damage. (E) A 20-mm-depth bone tunnel was made in the anatomical position. (F) ACL graft was viewed through the central portal.

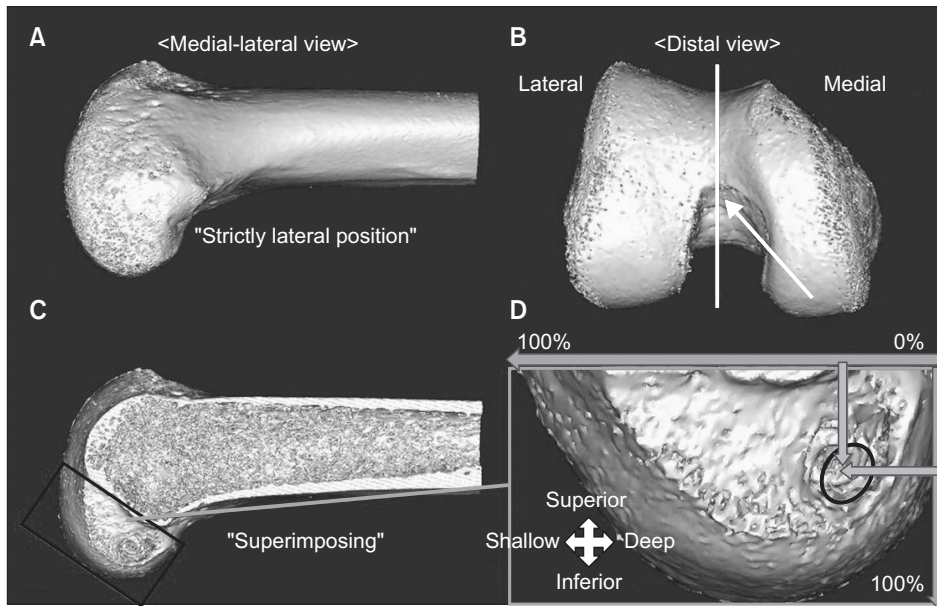


Figure 3. Three-dimensional reconstruction image using the Mimics program and tunnel measurement of the right knee using Bernard's quadrant method. (A) Medial-lateral view of the femoral condyle in the strictly lateral position where both condyles were superimposed. (B) In the distal view, the medial femoral condyle was removed at the highest point of the intercondylar notch (white arrow). (C) Leaving lateral femoral condyle was rotated back to the 'strictly lateral position' which was confirmed by superimposing onto (A). (D) Measurement of femoral tunnel location using the quadrant method described by Bernard et al.¹⁶⁾

후 7×20 mm의 금속 간섭나사(Arthrex, Naples, FL, USA)를 해면골 전방에 고정하였다. 이후 무릎을 완전 신전 및 굴곡시켜 터널 내 감입되지 않으며 절흔에 충돌 현상 없음을 확인하고 최대장력으로 도수 견인한 다음, 슬관절 완전 신전 상태에서 6×20 mm의 생흡수성 간섭나사로 후외측 다발을 고정하고 30° 굴곡 상태에서 7×20 mm의 생흡수성 간섭나사로 전내측 다발을 고정한 후 spiked washer와 screw를 이용하여 이중 고정하였다.

5) 터널의 위치 평가

수술 후 1주일 이내에 컴퓨터 단층 촬영(SOMATOM sensation 16, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany)을 시행하였고 Mimics 10.01 (Materialise, Leuven, Belgium)을 이용하여 대퇴골 외과의 내측연을 3차원 영상으로 재건하였다. 이때 동일 기준의 내측연을 재건하기 위하여 90° 굴곡 상태에서 Bernard 등¹⁶⁾이 언급한 양과가 중첩이 되는 'strictly lateral position'을 3차원 영상에서 재현하여 이를 저장한 후 과간 절흔(intercondylar notch)의 가장 높은 부위에서 대퇴골 내과를 제거한 다음 미리 저장된 'strictly lateral position'의 3차원 영상과 중첩이 되도록 하여 대퇴골 외과 내측연을 재건하였다(Fig. 3). 이 영상에서 슬관절을 굴곡하여 Blumensaat's line이 수평면에 평행이 되도록 한 후 사진을 저장하고 Image J Software (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 터널의 중심을 2명의 정형외과 의사가 1주 간격으로 2차례씩 측정하였고 그 위치를 Bernard 등¹⁶⁾의 quadrant 방법으로 Blumensaat's line에 평행인 선을 따라 대퇴 외과 연골하 골(subchondral bone)의 후연(posterior contour)과 전연(anterior contour)을 기준으로 심부(deep)에서 표층(shallow)으로, Blumensaat's line에 수직인 선을 따라 과간 절흔의 천정(intercondylar notch roof)과 대퇴 외과 연골하 골의 관절면을 기준으로 상위(superior)에서 하

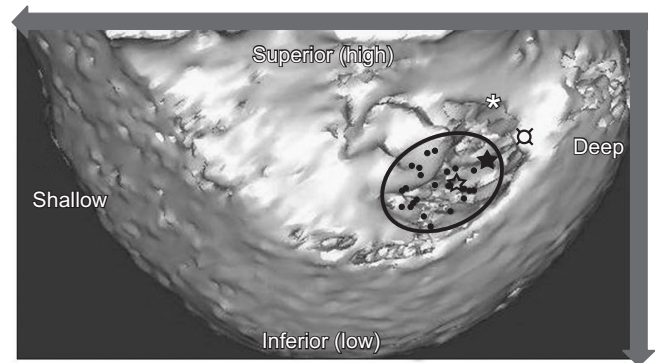


Figure 4. Distributed red dots of anterior cruciate ligament (ACL) femoral tunnels according to our anteromedial portal technique using the quadrant method described by Bernard et al.¹⁶⁾ Each marker represents the geographic mean distribution of ACL femoral tunnel location (☆, Current study; ★, Lertwanich et al.¹⁸⁾; *, Bird et al.¹⁷⁾; □, Zantop et al.²⁰⁾.

위(inferior)로 백분율(%)로 평가하여 기존의 문헌^{3,6,17-20)}들과 비교하였다(Fig. 4).

6) 통계방법

통계적 분석은 PASW version 18.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 관찰자 간, 관찰자 내 신뢰도 분석(reliability analysis)을 시행하였고 Intraclass Correlation Coefficient (ICC)를 측정하여 0.8 이상을 excellent, 0.6-0.8일 경우 good, 0.4-0.6일 경우 fair, 0.4 이하를 poor로 판정하였다.

결 과

각각의 측정값에 대한 관찰자 간, 관찰자 내 ICC는 모두 0.8 이상

으로 통계적으로 우수한 일치도를 보였고(Table 1), 대퇴 터널의 중심은 Blumensaat's line에 평행인 선을 따라 대퇴 외과의 심부(deep)에서 표층(shallow)으로 $32.2\% \pm 2.9\%$ (범위, 27.4%–37.6%), Blumensaat's line에 수직인 선을 따라 상위(superior)에서 하위(inferior)로 $46.7\% \pm 2.3\%$ (범위, 43.5%–51.1%)에 위치하였다.

고 찰

최근 전통적인 방식의 경결골 술식을 이용한 단일 다발 전방십자인대 재건술의 문제점들이 보고되면서^{1,2)} 해부학적 전방십자인대 재건술의 중요성이 강조되고 있고 해부학적 지표에 대한 연구와 이를 바탕으로 터널의 위치를 정확히 만들기 위한 방법들이 소개되고 있다.^{3–6,21)} Pombo 등²²⁾은 해부학적 전방십자인대 재건술 시 전통적인 방식의 경결골 술식은 대퇴 터널을 형성하는 과정이 경결 터널의 영향을 받아 제한적이고, 정상 부작부보다 높은 비해부학적 위치에 대퇴 터널이 형성되며, 건의 충돌을 방지하기 위해 경결 터널은 후방에 형성하는 경우가 많아 한계가 있을 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 anteromedial portal technique의 경우는 슬관절 100° – 120° 굴곡, 경결골을 내반시킨 상태

에서 central portal을 통하여 대퇴골 외과 후방 피질골 및 내과 관절 연골의 손상 없이 bifurcate ridge를 목표로 대퇴 터널을 형성할 수 있었다.

대퇴 터널의 위치를 평가하는 방법은 다양하나 과거에 사용하였던 'Clockwise method'를 기준으로 터널의 위치를 평가하였던 방법은 3차원인 대퇴골 외과 내측연의 터널 위치를 2차원적인 기준으로 정확하게 표현하는 데 제한점이 있어 최근에는 3차원 단층 촬영 영상 및 Quadrant method¹⁶⁾가 널리 사용되고 있다.^{17,18,23–25)}

Lertwanich 등¹⁸⁾은 사체를 대상으로 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행한 후 터널의 위치를 3차원 영상에서 분석한 결과 관찰자 내, 관찰자 간에 결과의 신빙성이 있으며, 터널의 위치 및 주변의 구조물까지 쉽게 확인할 수 있기 때문에 이는 매우 유용한 검사 방법이라고 보고하였다. 이에 저자들은 중심 삽입구를 통한 관절경 시야에서 'bifurcate ridge'를 지표로 하여 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행한 환자들을 대상으로 컴퓨터 단층 촬영 후 3차원 영상을 재건하여 대퇴 터널의 위치를 분석하였고 본 연구에서도 관찰자 간, 관찰자 내 ICC는 모두 0.8 이상으로 통계적으로 우수한 일치도를 보였다(Table 1).^{3,6,17,18,20)}

본 연구에서 터널의 중심은 Blumensaat's line에 평행인 선을

Table 1. Interobserver and Intraobserver Reliability

Variable	Intraclass correlation coefficient	95% confidence interval
Interobserver		
Parallel to Blumensaat's line (1st)	0.970	0.938–0.985
Parallel to Blumensaat's line (2nd)	0.956	0.911–0.979
Perpendicular to Blumensaat's line (1st)	0.966	0.930–0.983
Perpendicular to Blumensaat's line (2nd)	0.953	0.904–0.977
Intraobserver		
Parallel to Blumensaat's line (observer A)	0.984	0.966–0.992
Perpendicular to Blumensaat's line (observer A)	0.974	0.946–0.987
Parallel to Blumensaat's line (observer B)	0.966	0.930–0.983
Perpendicular to Blumensaat's line (observer B)	0.952	0.902–0.977

Table 2. Femoral Tunnel Position of ACL Insertion on Grid of Bernard Reported in Literature

Study (year)	Depth			Height		
	AMB (%)	PLB (%)	Mean (%)	AMB (%)	PLB (%)	Mean (%)
Colombet et al. (2006) ³⁾	26.4	32.3	29.35	25.3	47.6	36.45
Zantop et al. (2008) ²⁰⁾	18.5	29.3	23.9	22.3	53.6	37.95
Forsythe et al. (2010) ⁶⁾	21.7	35.1	28.4	33.2	55.3	44.25
Bird et al. (2011) ¹⁷⁾	-	-	27.3	-	-	34.35
Lertwanich et al. (2011) ¹⁸⁾	-	-	28.1	-	-	43.6
Current study (2015)	-	-	32.2	-	-	46.7

ACL, anterior cruciate ligament; AMB, anteromedial bundle; PLB, posterolateral bundle.

따라 대퇴 외과의 심부에서 표층으로 $32.2\% \pm 2.9\%$ (범위, 27.4%–37.6%), Blumensaat's line에 수직인 선을 따라 상위에서 하위로 $46.7\% \pm 2.3\%$ (범위, 43.5%–51.1%)로 해부학적 부착부에 위치하였고, 이것은 Forsythe 등⁶⁾이 보고한 Blumensaat's line에 평행인 선을 따라 전내측 터널 21.7%, 후외측 터널 35.1%, Blumensaat's line에 수직인 선을 따라 전내측 터널 33.2%, 후외측 터널 55.3%의 사이에 존재하였으나, 전내측 터널 중심과 후외측 터널 중심의 중점을 기준으로 한 경우는 이보다 표층 및 하위에 위치하였고, 단일 터널의 위치를 평가한 Lertwanich 등¹⁸⁾과 Bird 등¹⁷⁾의 최근 연구와 비교해서도 유사한 차이를 보였다(Table 2). 이러한 결과의 차이는 위 연구들이 사체를 대상으로 터널의 해부학적 위치를 분석한 것이지만, 본 연구는 관절경하에 중심 삽입구의 시야를 통해 해부학적 구조를 확인하였기 때문에 터널의 생성시 약간의 오차가 발생할 수 있고, bifurcate ridge의 길이가 평균 3.5 mm이므로⁸⁾ 상·하위에서의 위치 선정은 술자의 목표치에 따라 달라질 수 있기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 또한 bifurcate ridge를 중심으로 대퇴 터널을 형성하긴 하지만 비스듬히 터널이 형성되기 때문에 대퇴 터널 중심이 posterolateral bundle에 가깝게 형성되는 것처럼 해석되었을 것으로 생각된다. Rue 등²⁶⁾은 사체연구에서 경경골 술식을 사용하여 10 mm 대퇴 터널을 만드는 경우 터널의 하방에서 부착부의 58%만을 포함한다고 보고하였고, 이에 저자들은 좀 더 많은 부착부를 포함할 수 있도록 터널의 위치를 관절연골의 손상이 되지 않을 만큼 최대한 하방으로 위치시키도록 노력하였다. 그 결과 기존의 비해부학적 전방십자인대 재건술에서 종종 보였던 전진 시 대퇴 과간 절흔과의 충돌(impingement)이 전체 예에서 보이지 않아 과간 절흔 성형술(notchplasty)과 같은 추가적인 시술이 필요하지 않았다.²⁷⁾ 저자들은 이식건의 주행이 낮아지므로 인해 이러한 장점이 발생했을 것으로 생각되며 또한 회전 안정성에도 더 도움이 될 것으로 생각된다.

전내측 삽입구를 통한 해부학적 재건술 시 확공하는 과정에서 발생할 수 있는 대퇴 내과의 연골 손상 및 대퇴 외과의 후방 피질 골 손상은 다음과 같은 점을 유의하여 예방할 수 있었다. 첫 번째는 대퇴 터널을 만들 때 충분한 슬관절의 굴곡(100° – 120°) 및 내반 상태에서 유도강선을 삽입하고 확공하는 것이다. 두 번째는 유도강선을 삽입할 때 터널의 목표지점인 bifurcate ridge뿐만 아니라 터널의 방향을 결정하기 위해 대퇴골 내과 관절면에 가깝게 하는데 이때 확공기로 인한 대퇴골 내과의 손상을 예방하기 위해 날이 한쪽에만 있는 작은 확공기(Sentinel)를 사용하며, 사용 전에 날을 손으로 돌려 가며 인대 부착부내에 터널이 형성되는지 확인하는 것이다.

Hensler 등¹¹⁾은 drill bit의 직경, 삽입각도, 슬관절의 굴곡 정도에 따라 터널 입구(타원형)의 크기 및 모양이 달라지기 때문에 경우에 따라서 bifurcate ridge를 목표로 하여도 비해부학적 위치에 터널이 만들어질 수 있다고 보고하였다. 저자들의 경우 앞에서 설

명한 방법으로 비교적 부착부 내에 터널을 형성할 수 있었다.

Kato 등²⁸⁾은 터널의 위치에 따른 단일 다발 전방십자인대 재건술의 역동학적 연구에서 전내측과 후외측 다발의 기시부 중앙에 터널을 형성하는 경우 회전 안정성뿐만 아니라 정상에 가까운 슬관절의 생역학을 재현할 수 있다고 보고하였고 Muller 등²⁹⁾은 경골 부착부 전후의 길이가 14 mm 이하인 경우, 대퇴 절흔의 폭이 좁거나(< 14 mm), 높이가 낮은 경우(< 14 mm), 중증의 관절염이나 다발성 인대손상의 경우 이중 다발 재건술의 상대적 금기증이라고 주장하였다. Giron 등¹⁹⁾은 이중 다발 재건술 시 대퇴골의 작은 해부학적 부착부로 인해 비해부학적 터널을 형성할 수 있다고 하였고 최근 생역학적 실험³⁰⁾에 의하면 2F-2T, 2F-1T, 1F-2T의 이중 다발 재건술이 단일 다발 재건술보다 역학적으로 정상의 전방십자인대와 비슷하여 본 연구에서는 이중 다발 재건술을 시행하였다. 이러한 이중 다발 재건술은 보다 적은 터널을 이용하여 터널을 형성하기 때문에 2F-1T, 1F-2T를 사용할 수 있으나 전방 십자인대 부착부의 길이가 경골이 더 넓고, 대퇴골은 inside-out technique을 사용하는 것에 비해 경골은 outside-in technique으로 터널을 만들 수 있어 보다 터널 교차의 위험성이 더 적으므로 1곳에 골편을 이용할 수 있는 아킬레스건을 이용하여 1대퇴-2경골 터널 해부학적 이중 다발 재건술을 원칙으로 하였다. 하지만 환자의 십자인대 경골 부착부의 14 mm 이하로 크기가 작은 경우는 단일 다발 재건술을 이용하여 수술을 시행하였다.

Ferretti 등⁸⁾은 bifurcate ridge가 태아에서는 7예 중 6예, 관절경 검사에서는 60예 중 49예, 사체연구에서는 16예 중 13예에서 관찰 가능하다고 하였다. 본 연구에서는 bifurcate ridge가 저명한 용기선을 보이지 않는 경우도 있었지만 비교적 대부분의 경우에서 관찰이 가능하였으며 정확한 대퇴 터널을 형성하는 데 중요한 해부학적 표지자가 되었다.

본 연구의 제한점으로는 연구의 대상이 적고, 대퇴 터널이 형성되는 과간 절흔의 3차원 공간을 2차원의 Bernard 방법으로 평가하여 왜곡되는 결과가 있을 수 있으며 이중 다발과 단일 다발을 이용한 재건술이 섞여있는 점이다. 또한 환자들의 임상적 결과가 반영되지 않았다는 점으로 추후 3차원 영상과 단순 방사선 사진에서 대퇴 터널 위치의 상관관계를 확인하고, 더 많은 환자를 대상으로 하는 임상적 평가에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

결론

‘4자 모양’자세에서 anteromedial portal technique을 이용하여 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행하는 경우 bifurcate ridge는 좋은 해부학적 지표가 될 수 있으며 또한 대퇴골 외과 후방 피질 골 및 내과 관절 연골의 손상 없이 해부학적 단일 대퇴 터널을 만들 수 있어서 유용한 방법으로 생각된다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

REFERENCES

- Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res*. 2004;22:85-9.
- 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.
- Colombet P, Robinson J, Christel P, et al. Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy*. 2006;22:984-92.
- Steckel H, Starman JS, Baums MH, Klinger HM, Schultz W, Fu FH. Anatomy of the anterior cruciate ligament double bundle structure: a macroscopic evaluation. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17:387-92.
- Tsukada H, Ishibashi Y, Tsuda E, Fukuda A, Toh S. Anatomical analysis of the anterior cruciate ligament femoral and tibial footprints. *J Orthop Sci*. 2008;13:122-9.
- Forsythe B, Kopf S, Wong AK, et al. The location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92:1418-26.
- 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*. 2003;19:297-304.
- Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007;23:1218-25.
- Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH. Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2012;40:512-20.
- Steiner ME, Smart LR. Flexible instruments outperform rigid instruments to place anatomic anterior cruciate ligament femoral tunnels without hyperflexion. *Arthroscopy*. 2012;28:835-43.
- Hensler D, Working ZM, Illingworth KD, Thorhauer ED, Tashman S, Fu FH. Medial portal drilling: effects on the femoral tunnel aperture morphology during anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93:2063-71.
- Araujo PH, van Eck CF, Macalena JA, Fu FH. Advances in the three-portal technique for anatomical single- or double-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19:1239-42.
- Kim DW, Lee K, Kim YW, Yang SJ, Seo JG, Kim JG. Comparative analysis of double bundle and single bundle ACL reconstruction with tibialis anterior allograft. *J Korean Arthrosc Soc*. 2008;12:198-204.
- Peterson RK, Shelton WR, Bomboy AL. Allograft versus autograft patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a 5-year follow-up. *Arthroscopy*. 2001;17:9-13.
- Linn RM, Fischer DA, Smith JP, Burstein DB, Quick DC. Achilles tendon allograft reconstruction of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med*. 1993;21:825-31.
- Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg*. 1997;10:14-21; discussion 21-2.
- Bird JH, Carmont MR, Dhillon M, et al. Validation of a new technique to determine midbundle femoral tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography analysis. *Arthroscopy*. 2011;27:1259-67.
- Lertwanich P, Martins CA, Asai S, Ingham SJ, Smolinski P, Fu FH. Anterior cruciate ligament tunnel position measurement reliability on 3-dimensional reconstructed computed tomography. *Arthroscopy*. 2011;27:391-8.
- Giron F, Cuomo P, Edwards A, Bull AM, Amis AA, Aglietti P. Double-bundle "anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of tunnel positioning with a transtibial technique. *Arthroscopy*. 2007;23:7-13.
- Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W. Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med*. 2008;36:678-85.
- Bedi A, Raphael B, Maderazo A, Pavlov H, Williams RJ 3rd.

- Transtibial versus anteromedial portal drilling for anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of femoral tunnel length and obliquity. *Arthroscopy*. 2010;26:342-50.
22. Pombo MW, Shen W, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: where are we today? *Arthroscopy*. 2008;24:1168-77.
 23. Nakagawa T, Takeda H, Nakajima K, et al. Intraoperative 3-dimensional imaging-based navigation-assisted anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2008;24:1161-7.
 24. Takeda Y, Iwame T, Takasago T, et al. Comparison of tunnel orientation between transtibial and anteromedial portal techniques for anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using 3-dimensional computed tomography. *Arthroscopy*. 2013;29:195-204.
 25. Youm YS, Cho SD, Eo J, Lee KJ, Jung KH, Cha JR. 3D CT analysis of femoral and tibial tunnel positions after modified transtibial single bundle ACL reconstruction with varus and internal rotation of the tibia. *Knee*. 2013;20:272-6.
 26. Rue JP, Ghodadra N, 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*. 2008;36:73-9.
 27. Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, Yoshiya S, Kurosaka M. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:100-7.
 28. Kato Y, Ingham SJ, Kramer S, Smolinski P, Saito A, Fu FH. Effect of tunnel position for anatomic single-bundle ACL reconstruction on knee biomechanics in a porcine model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18:2-10.
 29. Muller B, Hofbauer M, Wongcharoenwatana J, Fu FH. Indications and contraindications for double-bundle ACL reconstruction. *Int Orthop*. 2013;37:239-46.
 30. Kim D, Asai S, Moon CW, et al. Biomechanical evaluation of anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction techniques using the quadriceps tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23:687-95.

전내측 도달법을 이용한 Bifurcate Ridge 중심의 해부학적 전방십자인대 재건술 후 대퇴 터널 위치에 대한 평가

박치형 · 김동휘[✉] · 정 성 · 양성훈

조선대학교 의과대학 정형외과학교실

목적: 전내측 도달법을 이용한 해부학적 전방십자인대 재건술 시 이분 용기선을 대퇴 터널의 중심으로 터널을 만든 후 3차원 computed tomography (CT)를 이용하여 위치의 적정성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 2012년 3월부터 2013년 2월까지 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행하였던 35예 중 후향적인 방법으로 수술 후 3차원 CT를 측정하였던 32예에 대해 Mimics를 이용하여 대퇴골 외과의 내측연을 재건한 후 Bernard의 quadrant 방법을 이용하여 터널의 위치를 평가하였다.

결과: 대퇴 터널의 중심은 대퇴 외과의 심부에서 표층으로 32.2% (27.4-37.6%), Blumensaat's line에 수직인 선을 따라 상위에서 하위로 46.7% (43.5-51.1%)에 위치하였고, 이는 기존의 대퇴 부착부 위치를 분석한 문헌과 비교하여 대퇴 부착부 안에 존재하였으나 부착부의 중심보다는 약간 표층 및 하위에 위치하였다.

결론: 4자 모양 하지 위치에서 전내측 도달법을 이용하여 해부학적 전방십자인대 재건술을 시행하는 경우 이분 용기선은 좋은 해부학적 지표가 될 수 있으며 대퇴골 외과 후방 피질골 등의 손상 없이 해부학적 단일 대퇴 터널을 만드는 데 유용한 방법으로 생각된다.

색인단어: 해부학적 전방십자인대 재건술, 이분 용기선, 3차원 CT

접수일 2014년 11월 13일 수정일 2015년 3월 4일 게재확정일 2015년 3월 6일

[✉]책임저자 김동휘

광주시 동구 필문대로 365, 조선대학교병원 정형외과

TEL 062-220-3147, FAX 062-226-3379, E-mail oskdh@chosun.ac.kr

*이 논문은 2010년도 조선대학교 연구비의 지원을 받아 연구되었음.