

Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament of the Knee

해부학적 전방십자인대 재건술을 위한 터널의 위치

이진규 · 양재혁[✉]

한양대학교 의과대학 정형외과학교실

Tunnel Position for Anatomical Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament

Jin Kyu Lee, M.D. and Jae-Hyuk Yang, M.D., Ph.D.[✉]

Department of Orthopaedic Surgery, Hanyang University College of Medicine, Korea

The review provides updated concepts regard to the anatomy of the anterior cruciate ligament (ACL) footprints. The concept of anatomical ACL reconstruction, in which the graft is placed in the native ACL insertion area, has been introduced. However, there is still no consensus on the anatomical positioning of the femoral and tibial tunnel. In this study, authors review and update the literature regarding the tunnel position for anatomical ACL reconstruction.

Key words: knee, anterior cruciate ligament, reconstruction, footprints

서론

전방십자인대(anterior cruciate ligament) 파열은 가장 흔한 무릎의 스포츠 손상 중 하나로 알려져 있으며 대부분의 경우 치료를 위해 전방십자인대 재건술이 필요하다.¹⁾ 수술의 결과에는 수술 방법, 이식건의 종류, 수술 후 재활 등 다양한 요소들이 영향을 미친다.²⁾ 수술 중 형성되는 대퇴 및 경골 터널(tunnel)의 위치는 매우 중요하며 부적절한 터널의 위치는 전방십자인대 재건술 후 실패의 가장 흔한 원인으로 알려져 있다. Multicenter ACL Revision Study (MARS) Group의 보고에 의하면 재수술을 시행받은 환자들을 분석하였을 때 잘못된 수술 기술(technical errors)이 가장 흔한 실패의 원인이며 그 중 약 50%는 잘못된 대퇴 터널의 위치 때문이라고 보고한 바 있다.³⁾ 전방십자인대 재건술의 방

법은 대퇴 터널을 형성하는 방법에 따라 나눌 수 있다.^{4,5)} 경골술기(trans tibial drilling technique)는 과거에 주로 사용되었으나 비해부학적(non-anatomical) 대퇴 터널의 형성으로 인해 최근 해부학적 재건술(anatomical reconstruction)로 대체되고 있다. Mehta 등⁶⁾은 경골술기의 경우 경골 터널의 제약으로 인해 vertical graft가 형성되는 경우가 많아 해부학적 대퇴 부착부 내에 터널을 형성하는 것이 제한적이라고 보고하였다. 반면 해부학적 재건술은 경골술기에 비해 무릎의 전방 전위(anterior translation) 및 축이동(pivot shift)을 줄이는 데 효과적인 것으로 많은 연구에서 보고한 바 있다.⁴⁻⁶⁾

해부학

과거의 문헌은 전방십자인대의 등장성(isometry)을 중요한 개념으로 설명하였다면 최근에는 정상 해부학적 위치를 강조하고 있다.⁷⁾ 대퇴 부착부의 외측과간능선(lateral intercondylar ridge) 및 외측이분능선(lateral bifurcation ridge)이 중요한 골성 지표(bony landmark)로 이용되며 무릎을 90도 굴곡 시 외측과간능선의 위(superior)로는 전방십자인대가 부착하지 않고 외측이분

Received December 3, 2019 Revised January 6, 2020

Accepted January 18, 2020

[✉]Correspondence to: Jae-Hyuk Yang, M.D., Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Hanyang University Guri Hospital, 153 Gyeongchun-ro, Guri 11923, Korea

TEL: +82-31-560-2184 FAX: +82-31-557-8781 E-mail: jaekorea@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8853-1997>

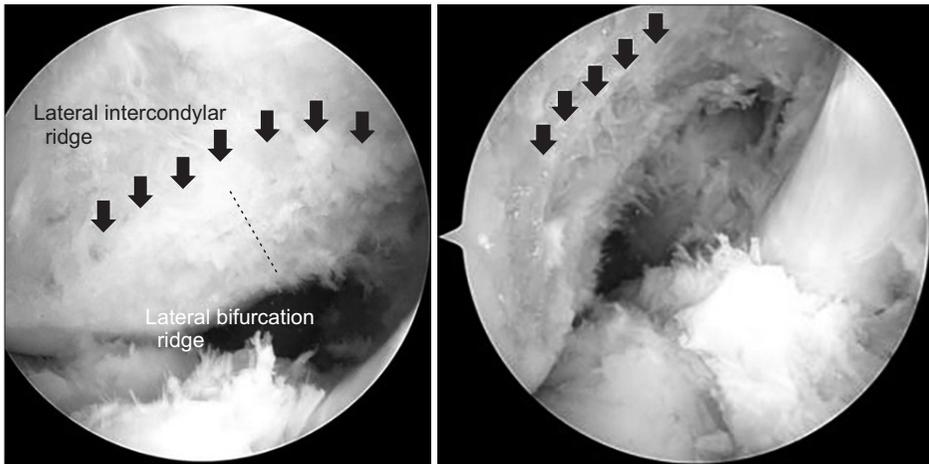


Figure 1. Arthroscopic view of femoral footprints. Both the lateral intercondylar ridge (black arrows) and lateral bifurcation ridge (black dash lines) are present.

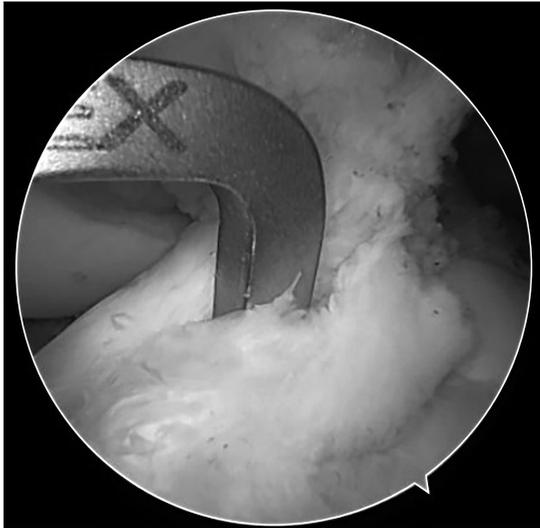


Figure 2. Tibial tunnel location for single bundle anterior cruciate ligament reconstruction.

능선에 의해 전내측(anteromedial bundle) 및 후외측(postero-lateral bundle) 다발이 부착한다(Fig. 1).^{8,9)} 대퇴 부착부의 모양은 타원형(oval shape)이며 대퇴 장축에 비해 약 30도 굴곡된 방향으로 향하고 있다. 다양한 크기(직경 11–24 mm)의 부착부를 보고하고 있으며^{8,9)} 터널의 위치 또한 부착부의 중앙에 터널을 형성해야 한다는 이론(center of the footprint)부터 최대한 넓게 부착부에 터널을 형성해야 한다는 이론(filling the footprint)까지 다양하게 제안되었으나 아직까지 최적의 터널 위치에 대해서는 논란이 있는 실정이다.^{9–11)}

경골 터널의 위치 또한 대퇴 터널의 위치만큼 중요하다. 전방 십자인대의 경골 부착부는 내외측 경골극 사이 전방부에 타원형(elliptical) 혹은 C-shape의 다양한 형태로 부착한다.¹²⁾ 전내측 다발의 중심은 경골 부착부의 전방에 위치하여 경골 전방 경

계선에서 13–17 mm 후방이면서 외측 반월연골판의 전방각의 연장선상에 있으며 후외측 다발의 중심은 경골 전방계선에서 20–25 mm 후방에 위치하는 것으로 알려져 있다(Fig. 2).^{9,10)} 단일 다발 전방십자인대 재건술 시 경골 터널의 위치는 부착부의 중심부에 형성해야 한다는 이론(center of footprint)부터 좀 더 전내측 다발로 치우쳐야 한다는 이론까지 다양하게 제안되었으나 아직까지 최적의 터널 위치에 대해서는 논란이 있는 실정이다.^{13,14)} 적절한 경골 터널은 후방십자인대와의 충돌(impingement)을 피할 수 있어야 하며 이를 위해 경골 터널을 내측 관절면에 대하여 60–65도 각도로 터널의 외측 가장자리가 외측 경골극(lateral tibial spine)에 위치하도록 drilling하는 방법이 제안된 바 있다.^{6,14)}

전방십자인대는 전내측 및 후외측 다발로 구성되어 있으며 두 다발 모두 경골의 전방 전위 및 외회전을 제한하는 중요한 구조물이다. 전내측 다발은 30–90도의 무릎 굴곡 시 팽팽(tense)해지며 후외측 다발의 경우는 0–30도의 굴곡 시 팽팽해지는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾ Komzák 등¹⁶⁾ 및 Gardner 등¹⁷⁾이 발표한 사체연구에 의하면 전내측 다발이 후외측 다발에 비해 경골의 전방 및 회전 안정성에 기여하는 바가 높다고 보고하였고 이는 단일 다발 전방십자인대 재건술을 위한 대퇴 터널 형성 시 좀 더 전내측 다발의 부착부에 치우치게 되는 이론적 근거가 되었다(Fig. 3).^{15–18)}

인대는 뼈에 두 가지 형태로 부착한다. 직접 부착(direct insertion)은 섬유연골(fibrocartilage)을 통하여 부착해 강한 힘을 견딜 수 있다. 반면 간접 부착은(indirect insertation) 인대가 직접 교원섬유(collagen fiber)에 의해 부착하여 뚜렷한 전이대(transition zone)가 없는 부위를 말한다.¹⁷⁾ 많은 연구에서 전방 십자인대의 직접 섬유(direct fiber)가 보다 강하고 생체역학적으로 더 중요한 역할을 한다고 보고한 바 있다.^{19,20)} Nawabi 등²⁰⁾의 연구에 의하면 직접 섬유는 부착부의 전방부에 위치하며 외측 과간능선 직후방부에 부착하고, 간접 섬유(indirect fiber)는 부

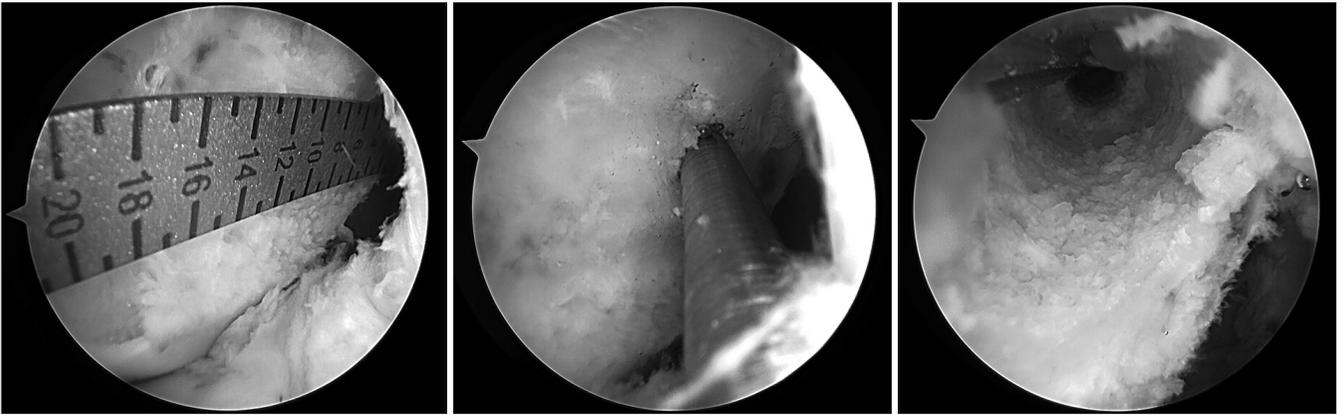


Figure 3. Femoral tunnel created at more anteromedial bundle footprint area.

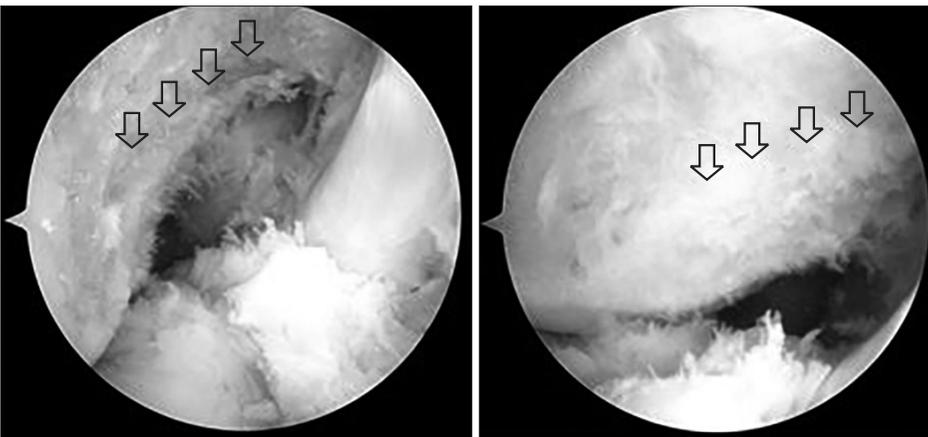


Figure 4. Direct insertion (arrows) of anterior cruciate ligament anterior within femoral footprint along lateral intercondylar ridge.

착부의 후방부에 위치하여 부채꼴 모양으로 연골면까지 연결되어 있다고 하였다(Fig. 4). 또한 직접 섬유가 Lachman & pivot shift test에서 보다 중요한 역할을 하며 등척성 지역(isometric region)과 가깝다고 보고하였고 이는 낮은 대퇴 터널을 피하는 이론적 근거가 되었다.^{18,20)}

해부학적 전방십자인대 재건술

많은 연구에도 불구하고 아직까지 해부학적 터널의 정확한 위치에 대한 논란이 있는 실정이다. van Eck 등²¹⁾은 기존 부착부의 중심에 터널을 형성해야 한다고 주장한 반면, Xu 등²²⁾은 체계적 문헌고찰을 통해 전방십자인대의 대퇴 부착부의 해부학적 중심은 Bernard 등²³⁾이 제시한 grid measurement에 의해 Blumensaat's line을 따라 28.4% 지점(x, distance from proximal border to center of footprint) 및 과간능선 높이의 35.7% 지점(y, distance from Blumensaat's line to center of footprint)이라고 하였다(Fig. 5). 이중 다발 재건술 시 지표가 되는 전내측 다발 및 후외측 다발의 중심은 각각 24.2% (x), 21.6% (y) 및

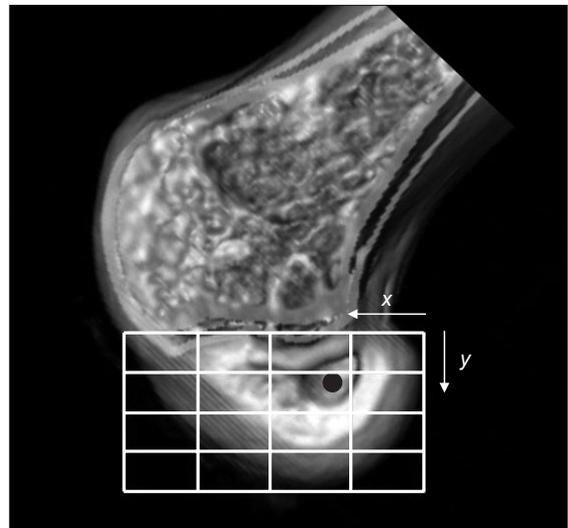


Figure 5. Bernad quadrant method.

32.8% (x), 46.7% (y) 지점이라고 하였다.

해부학적 전방십자인대 재건술을 위한 술식에는 변형된 경경

골술기, 전내측 삽입구 술기(anteromedial portal technique), outside-in 술기가 있다.^{14,24,25)} 이론적으로는 전내측 삽입구 술기 및 outside-in 술기가 경경골술기에 비해 비스듬한(oblique) 대퇴 터널의 형성에 용이하기에 회전 안정성을 제공하는 측면에서 우월할 것으로 판단되나 아직까지 상대적 우월성에 대해서는 논란이 있는 실정이다.^{24,25)}

결론

아직까지 해부학적 전방십자인대 재건술 시 터널의 정확한 위치에 대한 논란이 있는 실정이다. 해부학적 지표, direct and indirect insertion, 및 인대의 등장성을 모두 고려하여 최적의 터널을 찾기 위한 노력이 지속되어야 할 것이다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

ORCID

Jin Kyu Lee, <https://orcid.org/0000-0001-8547-4616>

Jae-Hyuk Yang, <https://orcid.org/0000-0001-8853-1997>

REFERENCES

- Singh N. International epidemiology of anterior cruciate ligament injuries. *Ortho Res Online J*. 2018;1:94-6.
- Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB. The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1996;24:335-41.
- MARS Group, Wright RW, Huston LJ, et al. Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort. *Am J Sports Med*. 2010;38:1979-86.
- Zehir S, Sahin E, Songür M, Kalem M. Conventional trans-tibial versus anatomic medial portal technique for femoral tunnel preparation in anterior cruciate ligament reconstruction; comparison of clinical outcomes. *Niger J Clin Pract*. 2016;19:475-9.
- Samitier G, Marcano AI, Alentorn-Geli E, Cugat R, Farmer KW, Moser MW. Failure of anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Bone Jt Surg*. 2015;3:220-40.
- Mehta A, Lin CC, Campbell RA, et al. Effects of anteromedial portal versus transtibial ACL tunnel preparation on contact characteristics of the graft and the tibial tunnel aperture. *Clin Orthop Surg*. 2019;11:52-9.
- Garofalo R, Moretti B, Kombot C, Moretti L, Mouhsine E. Femoral tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction: rationale of the two incision technique. *J Orthop Surg Res*. 2007;2:10.
- Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, Moreland MS, Cohen M, Fu FH. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. *Arthroscopy*. 2007;23:278-83.
- Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14:204-13.
- Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:35-47.
- Schillhammer CK, Reid JB 3rd, Rister J, et al. Arthroscopy up to date: anterior cruciate ligament anatomy. *Arthroscopy*. 2016;32:209-12.
- Janovsky C, Kaleka CC, Alves MT, Ferretti M, Cohen M. Synovial C-shaped tibial footprint of the anterior cruciate ligament. *Orthop J Sports Med*. 2016;4:2325967116671300.
- Burnham JM, Malempati CS, Carpioux A, Ireland ML, Johnson DL. Anatomic femoral and tibial tunnel placement during anterior cruciate ligament reconstruction: anteromedial portal all-inside and outside-in techniques. *Arthrosc Tech*. 2017;6:e275-82.
- Prodromos CC, Fu FH, Howell SM, Johnson DH, Lawhorn K. Controversies in soft-tissue anterior cruciate ligament reconstruction: grafts, bundles, tunnels, fixation, and harvest. *J Am Acad Orthop Surg*. 2008;16:376-84.
- Kopf S, Musahl V, Tashman S, Szczodry M, Shen W, Fu FH. A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17:213-9.
- Komzák M, Hart R, Okál F, Safi A. AM bundle controls the anterior-posterior and rotational stability to a greater extent than the PL bundle - a cadaver study. *Knee*. 2013;20:551-5.
- Gardner EJ, Noyes FR, Jetter AW, Grood ES, Harms SP, Levy MS. Effect of anteromedial and posterolateral anterior cruciate ligament bundles on resisting medial and lateral tibiofemoral compartment subluxations. *Arthroscopy*. 2015;31:901-10.
- Kawaguchi Y, Kondo E, Takeda R, Akita K, Yasuda K, Amis AA. The role of fibers in the femoral attachment of the an-

- terior cruciate ligament in resisting tibial displacement. *Arthroscopy*. 2015;31:435-44.
19. Benjamin M, Moriggl B, Brenner E, Emery P, McGonagle D, Redman S. The "entheses organ" concept: why enthesopathies may not present as focal insertional disorders. *Arthritis Rheum*. 2004;50:3306-13.
 20. Nawabi DH, Tucker S, Schafer KA, et al. ACL fibers near the lateral intercondylar ridge are the most load bearing during stability examinations and isometric through passive flexion. *Am J Sports Med*. 2016;44:2563-71.
 21. van Eck CF, Schreiber VM, Mejia HA, et al. "Anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of surgical techniques and reporting of surgical data. *Arthroscopy*. 2010;26(9 Suppl):S2-12.
 22. Xu H, Zhang C, Zhang Q, et al. A systematic review of anterior cruciate ligament femoral footprint location evaluated by quadrant method for single-bundle and double-bundle anatomic reconstruction. *Arthroscopy*. 2016;32:1724-34.
 23. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg*. 1997;10:14-21.
 24. Hussin EA, Aldaheri A, Alharbi H, Farouk HA. Modified transtibial versus anteromedial portal techniques for anterior cruciate ligament reconstruction, a comparative study. *Open Access J Sports Med*. 2018;9:199-213.
 25. Sohn OJ, Lee DC, Park KH, Ahn HS. Comparison of the modified transtibial technique, anteromedial portal technique and outside-in technique in ACL reconstruction. *Knee Surg Relat Res*. 2014;26:241-8.

슬관절의 전방십자인대 재건술

해부학적 전방십자인대 재건술을 위한 터널의 위치

이진규 · 양재혁[✉]

한양대학교 의과대학 정형외과학교실

최근 전방십자인대 재건술 시 기존 해부학적 부착부(footprint)에 터널을 형성하는 해부학적 재건술의 개념이 도입되었다. 그러나 아직까지 해부학적 전방십자인대 재건술을 위한 터널의 정확한 위치에 대한 논란이 있는 실정이다. 본 종설은 슬관절의 전방십자인대 재건술 시 중요한 지표가 되는 해부학적 부착부에 대하여 논하고자 한다.

색인단어: 슬관절, 전방십자인대, 재건술, 부착부

접수일 2019년 12월 3일 수정일 2020년 1월 6일 게재확정일 2020년 1월 18일

[✉]책임저자 양재혁

11923, 구리시 경춘로 153, 한양대학교 구리병원 정형외과

TEL 031-560-2184, FAX 031-557-8781, E-mail jaekorea@hotmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8853-1997>