

전방십자인대 재건술시 경골 터널 길이의 계산법

이화여자대학교 의과대학 정형외과학교실
연세대학교 의과대학 재활의학과학교실* · 해부학교실**

김동욱 · 노권재 · 유우경* · 정인혁**

서 론

전방십자인대는 슬관절의 안정 작용에 매우 중요한 구조로 이 인대의 손상은 슬관절 종말의 시작이라 하여 그 중요성이 강조되고 있다. 전방십자인대 손상시 이 인대의 재건을 위하여 여러 조직을 사용할 수 있다. 최근에는 관절경을 통하여 하나의 절개만으로 슬개골과 경골의 일부가 부착된 슬개건(bone-patella tendon-bone)을 주로 사용하고 있다. 그러나 슬개건의 길이와 관절내 전방십자인대의 길이 차이로 수술 시 경골의 터널을 통하여 공여부의 끝이 밖으로 빠져나와 견고한 고정을 얻기 힘든 경우가 자주 발생한다. 이를 방지하기 위하여 Kenna⁵⁾은 경골에 뚫는 터널의 길이는 공여부의 전체 길이에서 50mm를 뺀 것으로 정하면 이를 방지할 수 있다고 주장하였다. 그러나 이 계산법에서는 전방십자인대의 실제 길이가 약 30mm¹⁰⁾라는 것을 근거로 관절내에 위치할 공여건의 길이를 항상 30mm로 가정하는 것이므로 실제 수술에 적용하기에는 오차가 있을 것으로 판단된다. 따라서 저자는 시체에서, 수술 시 대퇴골과 경골에 유도강선이 삽입되는 관절내 위치, 즉 전방십자인대 재건술에서 이 인대의 관절내 길이와 슬개건의 길이를 측정하여 둘 사이에 어떤 상관관계를 유도해냄으로써, 이를 이용하면 수술 시 슬개건의 길이를 알 때 관절내에 위치할 공여건의 길이를 예상할 수 있고 경골에 뚫을 터널의 정확한 길이를 알 수 있으므로 전술한 수술 시의 문제점을 예방할 수 있을 것으로 생각하여 이 연구를 시작하였다.

연구 대상 및 방법

연구 대상으로는 학생 실습용 시체에서 떼어낸 슬관절 19쪽을 사용하였다. 왼쪽이 9쪽, 오른쪽이 10쪽이었다. 슬관절 전방에 U자형의 절개를 하여 경골극을 포함한 슬개건과 슬개골을 근위부로 올리고 슬개하 추벽(ligamentum mucosum)과 슬개하 지방대(infrapatellar fat pad)를 제거하여 관절 내부를 노출시킨다. 뒤로 돌려 슬와부를 세로 절개하여 혈관과 신경을 제거하고 근육을 분리한 후 관절낭을 절제하여 관절 내부를 노출시켰다. 슬관절의 내측과 외측의 구조물은 가능한 한 보존하여 슬관절의 비정상적인 운동성에 의한 측정상의 오차를 줄이는데 노력하였다.

슬개건은 전방십자인대 재건술에서와 같이 경골극과 슬개골을 포함하여 떼어낸 후 슬개건의 길이를 측정하였다(Fig. 1).

전방십자인대의 경우 슬관절 전후방의 노출 부위를 통하여 경골과 대퇴골 부착부에서 제거하였다. 대퇴골 부착부는 관절경을 통한 재건술 시 유도강선이 삽입되는 위치, 즉 과간절흔(intercondylar notch)의 오른쪽은 11시, 왼쪽은 1시 방향에서 가장 후면의 전방 7mm를 지정하여 이 지점에 #1 PDS를 묶은 작은 나사못을 삽입하였다(Fig. 2). 경골에서는 전방십자인대 부착부의 중심 위치를 지정하여 약 50°로 슬관절을 굽힌 위치에서 이 지점에 긴장상태의 실을 위치시켜 기구(tonsil)로 잡은 후 나사못을 빼내어 나사못과 기구사이의 실의 길이를 자로 측정하였다(Fig. 3).

※ 통신저자 : 김 동 욱
서울시 종로구 종로 6가 70번지
이화대학교 의과대학 동대문병원 정형외과학교실

FIGURE 1. After harvesting the central-third patellar tendon with patellar bone block and tibial bone block, the length of patellar tendon was measured.

FIGURE 2. After choosing the femoral site of ACL (anterior 7mm from the lateral intercondylar back wall at 11 o'clock position on the right knee and at 1 o'clock position on the left knee), a small nail(arrow) tied with #1 PDS suture was inserted. LFC, lateral femoral condyle; MFC, medial femoral condyle; PCL, posterior cruciate ligament.

슬개건의 길이와 전방십자인대 길이의 상관관계는 직선 회기방정식을 통하여 유도하였고, 이 방정식에서 회기계수의 유의성은 t검정을 이용하여 검정하였다.

결 과

슬개건의 길이는 평균 36.2 ± 4.7 mm (24.7mm-45.0mm) 이었으며, 전방십자인대의 길이는 평균 23.7 ± 3.9 mm (16.5mm-30.3mm) 이었다 (Table 1).

FIGURE 3. Using a tonsil, the suture was clamped flush at the center of tibial ACL origin and the suture was removed and measured with a ruler.

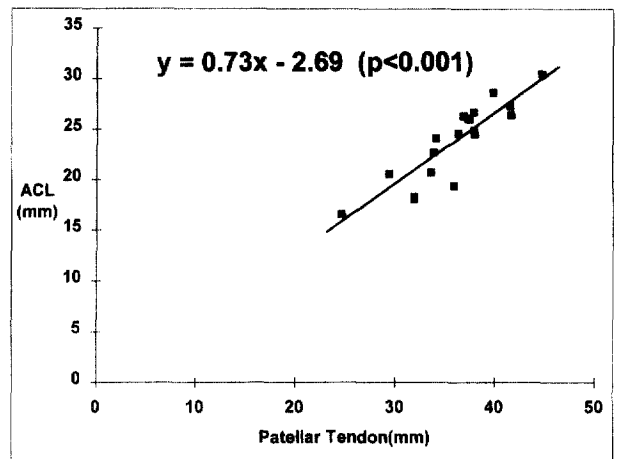


FIGURE 4. ACL length(y) is calculated with patellar tendon length(x). $y = 0.73x - 2.69$ ($p < 0.001$).

직선 회기방정식을 통하여 얻은 두 조직간의 상관관계는

$ACL(Y) = 0.73 X Patellar\ tendon(X) - 2.69$ ($p < 0.001$)로 나타났다 (Fig. 4).

이 방정식을 이용하여 이 연구에 이용된 슬관절 전방십자인대의 계산된 길이는 Table 1에 나타나 있으며, 4.29mm 오차의 1례를 제외하면 모두 2.67mm 이내의 오차만 있음을 알 수 있다 (Table 1).

고 찰

슬개건을 이용한 관절경적 전방십자인대 재건술 시 두개의 절개를 통한 방법일 때에는 공여부와 터널 사이의 길이 차이에서 오는 문제는 없었다. 그러나 최근 한개의 절개를 통한 재건술이 보편화되면서 이 문

Table 1. The lengths of patellar tendon, ACL, cACL and Error Between ACL and cACL

No.	Patellar tendon(mm)	ACL(mm)	cACL(mm)	Error(mm)
1	24.7	16.6	15.341	1.159
2	29.5	20.5	18.849	1.655
3	32.0	18.2	20.67	-2.47
4	32.0	18.0	20.67	-2.67
5	33.7	20.6	21.911	-1.311
6	34.0	22.6	22.13	0.47
7	34.2	24.0	22.276	1.724
8	36.0	19.3	23.59	-4.29
9	36.4	24.5	23.882	0.618
10	37.0	26.2	24.882	0.618
11	37.4	26.0	24.612	1.388
12	37.6	25.6	25.05	1.142
13	38.0	26.6	25.05	1.55
14	38.0	24.8	25.05	-0.25
15	38.1	24.4	25.123	-0.723
16	40.0	28.5	26.51	1.99
17	41.7	27.2	27.824	-1.524
18	41.8	26.3	27.824	-1.524
19	45.0	30.3	30.16	0.14
Mean	36.2	23.7	23.709	

cACL : calculated ACL = 0.73 × patellar tendon length -2.69

제가 많이 부각되었다. 슬개건이 너무 긴 경우 공여부와 터널의 길이 차이로 공여건에 부착된 끈이 경골의 터널 밖으로 나와 견고한 고정을 얻지 못하게 된다. Shaffer등¹²⁾은 어떤 경우에는 이와같은 상황은 피할 수 없다고 하면서 몇가지의 해결책을 제시하였다. 즉, 다른 공여부를 선택하든지, staple등 다른 고정 방법의 사용, 20mm 이하의 원위고정을 그냥 받아들이는 것, 경골 터널에서 나사못을 공여부의 아래쪽으로 삽입하는 방법, 대퇴부의 터널을 더 깊게하여 공여부가 더욱 근위부로 위치하게 하는 방법, 공여부를 180° 회전시켜 공여부를 짧게 하는 방법, 그리고 경골 터널을 길게 뚫는 방법 등을 열거하였다. 그러나 이 방법들은 대퇴부와 경골측 터널에 공여부 끈이 정확히 위치하여 최소 20mm 이상 고정되는 것 보다는 여러가지 문제점을 내포한다. Kenna등⁵⁾은 경골 터널의 길이를 공여부 전체 길이에서 50mm를 뺀 길이로 할 경우 공여부와 경골 터널의 길이 차이에 의해 생기는 문제를 줄일 수 있다고 주장하였다. 그러나 Kenna등⁵⁾의 주장은 전방십자인대의 길이가 약 30mm임을 전제로 한 것으로 다른 저자들의 결과를 보면, Kennedy등⁹⁾은 10구의 시체 슬관절에서 측정하여 평균 39(37-41)mm, Girgis등²⁾은 44쪽의 시체와 신선한 슬관절을 측정하여 38±3.9(30-48)mm, Odensten와 Gillquist¹⁰⁾는 33구의 시체 슬

관절에서 측정하여 31±3(25-35)mm로 보고하였다. Norwood와 Cross⁸⁾는 18쪽의 대퇴부 절단으로 인한 신선한 슬관절의 연구를 통하여 가장 짧은 후외측 부분의 길이는 18mm이었으며, 어느 부위(bundle)를 측정하느냐에 따라 길이에 차이가 있음을 보고하였다. 그러나 대부분의 교과서^{1,4,7,11)}에서 Girgis등의 논문을 인용하여 38mm로 기술하고 있다. Shaffer등¹²⁾은 33명의 환자에서 관절경을 통한 전방십자인대의 재건술을 시행하면서 공여건의 관절내 길이를 측정하여 26.3(21-33)mm임을 보고하였다. 저자들의 경우 Sidles등¹³⁾의 주장, 즉 대퇴부착부의 후상방에서 경골 부착부의 중심까지의 길이는 슬관절 0°-110° 운동시 거의 등장성을 유지한다는 것을 근거로, 연구방법에서 서술한 두지점 사이의 길이를 측정하여 평균 23.7±3.9(16.5-30.3)mm의 결과를 얻었으며, 이는 측정 방법을 고려할 때 전방십자인대 재건술에서 공여건의 관절내 길이를 나타낸다. Shaffer등¹²⁾의 경우에는 절흔성형술(notchplasty) 후에 측정한 것으로 이를 감안하면 저자들의 결과와 큰 차이가 없을 것으로 생각한다. 그러므로 Norwood와 Cross⁸⁾의 주장대로 전방십자인대의 어느 부분을 측정하느냐에 따라 오차가 생길 것이고, 여러 저자들^{2,6,10)}이 보고한 전방십자인대의 길이 보다는 실제 수술에서 공여건의 관절내 길이는 짧은 것으로 판단된다. Shaffer등¹²⁾은 슬개건

이 50mm 이상인 경우 공여부와 터널의 길이 차이가 주로 발생한다고 주장하였다. 절흔성형술을 고려하면 저자들과 Shaffer등¹²⁾의 공여건의 관절내 길이는 큰 차이가 없는 것으로 사료된다. 저자들의 경우 슬개건의 길이는 평균 36.2±4.7(24.7-45.0)mm로 Helfet³⁾는 5-6cm, Insall등⁴⁾은 6cm, Shaffer등¹²⁾은 48.4±6.0(40-63)mm로 보고한 것과 비교해 보면 Caucasian에 비하여 1cm 이상 짧으며, 50mm 이상인 경우도 하나도 없었기 때문에 정확한 수술 수기로 재건술을 시행하면 슬개건이 길어서 공여부와 터널의 길이 차이로 발생하는 문제는 배제할 수 있을 것으로 생각된다.

Patellar Tendon(X)	Tibial Bone Plug(Z)
ACL(Y)	Tibial Tunnel Depth(TTD)

$$\text{Patellar Tendon}(X) + \text{Tibial Bone Plug}(Z) = \text{ACL}(Y) + \text{Tibial Tunnel Depth}(TTD)$$

즉, $TTD \geq X + Z - Y$ 의 식이 성립되도록 경골에 터널을 뚫으면 공여부와 터널의 길이 차이로 발생하는 문제를 피할 수 있을 것이다. 경골측 고정에서 최소 20mm의 나사못으로 고정해야 견고한 고정을 얻을 수 있으므로¹²⁾ Z를 20mm로 하고, 수술 시 얻은 슬개건의 길이(X)로부터 이 연구를 통해 유도된 공식($Y = 0.73X - 2.69$)으로 경골에 터널을 뚫기 전에 전방십자인대의 관절내 길이(Y)를 측정할 수 있다. 마지막으로 경골 터널의 경사도를 고려하여 5mm를 더하면⁵⁾

$$TTD = X + 20 - (0.73X - 2.69) + 5\text{mm}$$

$TTD = 0.27X + 27.69\text{mm}$ 의 공식을 유도해 낼 수 있다.

예를 들어 공여부 슬개건의 길이가 36mm이면,

$ACL = 0.73 \times 36 - 2.69$ 로, 전방십자인대의 관절내 길이는 23.6mm이고

$TTD = 0.27 \times 36 + 27.69$ 로, 경골 터널은 최소 37.4mm가 필요한 것으로 계산된다.

결 론

저자는 19쪽의 시체 슬관절의 해부를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬개건은 평균 36.2±4.7mm로, 최고 45.0mm이었다.

2. 전방십자인대는 평균 23.7±3.9mm(16.5mm-30.3mm)이었다.

3. $ACL \text{ length}(mm) = 0.73 \times \text{Patellar tendon length} - 2.69$ ($p < 0.001$)

4. $Tibial \text{ tunnel depth}(mm) = 0.27 \times \text{Patellar tendon length} + 27.69$

이 공식을 토대로, 경골에 유도강선을 삽입하기 전에 경골 터널의 길이를 계산한다면, 물론 임상적으로 적용하여 검증을 받아야 하겠지만, 공여부와 경골 터널과의 길이 차이에서 발생하는 문제를 줄일 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

1. **Feagin JA** : The cruciate ligaments. 1st ed. New York, Churchill Livingstone Inc : 182-184, 1988.
2. **Girgis FG, Marshall JL and Al Monajem ARS** : The cruciate ligaments of the knee joint : anatomical, functional, and experimental analysis. Clin Orthop, 106:216-231, 1975.
3. **Helfet AJ** : The management of internal derangements of the knee. Philadelphia, JB Lippincott, 1965 (cited from Larson RL and Grana WA ed. The knee. 1st ed. Philadelphia, WB Saunders Co : 19-20, 1993).
4. **Insall JN, Windsor RE, Scott WN, Kelly MA and Aglietti P** : Surgery of the knee. 2nd ed. New York, Churchill Livingstone Inc : 3-10, 1993.
5. **Kenna B, Simon TM, Jackson DW and Kurzweil PR** : Endoscopic ACL reconstruction : A technical note on tunnel length for interference fixation. Arthroscopy, 9:228-230, 1993.
6. **Kennedy JC, Weinberg HW and Wilson AS** : The anatomy and function of the anterior cruciate ligament : as determined by clinical and morphological studies. J Bone Joint Surg, 56-A:223-225, 1974.
7. **Larson RL and Grana WA** : The knee. 1st ed. Philadelphia, WB Saunders Co : 36-41, 1993.
8. **Norwood LA and Cross MJ** : Anterior cruciate ligament : functional anatomy of its bundles in rotary instabilities. Am J Sports Med, 7:23-26, 1979.
9. **Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF and Hefzy MS** : Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee ligament repairs and reconstructions. J Bone Joint Surg, 66-A:344-352, 1984.
10. **Odensten M and Gillquist J** : Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for

reconstruction. J Bone Joint Surg, 67-A:257-262, 1985.

11. **Scott WN** : The knee. 1st ed. St. Louis, Mosby : 26-32, 1994.

12. **Shaffer B, Gow W and Tibone JE** : Graft-tunnel mismatch in endoscopic anterior cruciate ligament

reconstruction : A new technique of intraarticular measurement and modified graft harvesting. Arthroscopy, 9:633-646, 1993.

13. **Sidles JA, Larson RV and Carbini** : Ligament length relationship in the moving knee. J Orthop Res 6:593, 1988.

— Abstract —

The Calculation of the Tibial Tunnel Depth in the Endoscopic ACL Reconstruction

Dong Wook Kim, M.D., Kwon Jae Roh, M.D., Woo Kyoung Yoo, M.D.*, and In Hyuk Chung, M.D.**

Department of Orthopaedics, College of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

*Department of Rehabilitation, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea**

*Department of Anatomy, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea***

When performing an anterior cruciate ligament(ACL) reconstruction using a two-incision technique, graft length from the lateral femoral cortex to the anterior tibial cortex is usually of no concern, and bitunnel interference screw fixation can be achieved. But in the endoscopic one-incision technique, placing the graft's tendon-bone interface flush with the intraarticular femoral tunnel results in distal graft protrusion. Mismatch can be avoided if the sum of the tibial tunnel length plus the intraarticular distance of ACL is equal to or greater than the graft tendon length plus 20 mm (the minimum interference fixation possible when using the smallest available 20 mm long interference screw). The purpose of this study is to determine the relationship between the length of patellar tendon and that of anterior cruciate ligament, to calculate the tibial tunnel depth with this for the elimination of graft-tunnel mismatch through the dissection of 19 cadaveric knees.

The results were as follows:

1. The average patellar tendon length was 36.2 ± 4.7 mm (range 24.7-45.0).

2. The average ACL length was 23.7 ± 3.9 mm (range 16.5-30.3).

3. $ACL \text{ length(mm)} = 0.73 \times \text{Patellar tendon length} - 2.69$ ($p < 0.001$)

4. $Tibial \text{ tunnel depth(mm)} = 0.27 \times \text{Patellar tendon length} + 27.69$

Although it should be verified with the clinical results, it can be concluded that the graft-tunnel mismatch can be diminished if the tibial tunnel depth is calculated before inserting a guide wire for tibial tunnel with this formula in the endoscopic one-incision ACL reconstruction.

Key Words : Knee, Endoscopic ACL reconstruction, Tibial tunnel depth, Cadaveric study