

경골극 골절의 관절경적 치료 후 슬관절의 전방 불안정성

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

최종혁 · 김성환 · 주종환 · 김형식

Anterior Instability of the Knee after Arthroscopic Treatment for Tibial Spine Fractures

Chong Hyuk Choi, M.D., Sung Hwan Kim, M.D., Jong Hwan Joo, M.D., Hyung Sik Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Yongdong Severance Hospital,
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: We evaluated the result of the degree of reduction and anterior instability after arthroscopic treatment of tibial spine fractures.

Materials and Methods: Thirty-two cases of tibial spine fractures treated with arthroscopic procedure could be evaluated and the mean follow-up period was 18 (12-48) months. Evaluations included Lachman test, rotatory instability examination and side to side difference (SSD) using KT-2000 arthrometer. The degree of radiologic reduction was classified as accurate reduction, anterior elevation and reduction failure, according to which the degree of anterior instability was measured.

Results: There were twenty three cases (71%) of accurate reduction, eight cases (25%) of anterior elevation and one case (4%) of reduction failure. Eight (29%) of twenty eight cases with pull-out method showed anterior elevation. The SSDs of the accurate reduction and the anterior elevation group were 2.0 mm and 2.8 mm, respectively showing no significant difference. However, the percentage of grade 0 Lachman test and SSD less than 3 mm of the accurate reduction group were significantly higher.

Conclusion: Accurate reduction is important in reducing anterior instability especially in unstable fractures. Therefore, arthroscopic pull-out method should be performed with great caution to avoid anterior elevation of the fracture fragment.

KEY WORDS: Tibial spine, Fracture, Arthroscopic reduction and fixation, Anterior instability

서 론

경골극 골절의 전위된 골편의 정복은 골절 치유 및 슬관절의 전방 불안정성을 방지하는 데 중요하다⁹⁾. 관절경적 치료방법은 개방성 수술보다 적은 절개로 효과적인 정복 및 고정을 얻을 수 있을 뿐 아니라, 슬관절 내의 동반손상에 대한 조사 및 치료도 동시에 시행할 수 있어 경골극 골절의

유용한 치료 방법으로 알려져 있다^{9,10,19)}. 골편의 정복은, 골편의 크기에 따라 나사못^{8,16)}이나 강선 혹은 봉합사^{1,4,7,8,11,18)}를 이용한 여러 방법이 보고되었으며, 술 후 골편의 유합이나 슬관절의 전방 안정성 등에 대한 예후도 좋은 것으로 알려져 있다^{2,3,5,6,9,14,15)}. 그러나 일반적으로 알려진 단순한 전방 십자 인대의 견인에 의한 경골극의 견열 골절 이외에 전방 십자 인대 자체에 대한 손상도 동반되는 경우가 있으며⁵⁾, 제한된 공간, 시야 및 기구를 통해 골편의 정확한 정복을 얻지 못할 경우 술 후 전방 불안정성을 발생시킬 가능성이 충분하다. 본 연구의 목적은 경골극 골절에서 관절경을 이용한 골편의 정복 후 봉합사를 이용한 끌어내기(pull-out) 방법등을 이용한 골편의 고정 후 골절편의 정복 정도와 전방 불안정성에 대한 결과를 알아보고자 하였다.

* Address correspondence and reprint requests to
Hyung Sik Kim, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery,
Yongdong Severance Hospital,
Yongdong P.O. Box 1217, Seoul, Korea
Tel: 82-2-3497-3415, Fax: 82-2-573-5393
E-mail: choi8422@yumc.yonsei.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2004년 대한 정형외과학회 추계학술대회에서
구연되었음.

대상 및 방법

1999년 1월부터 2003년 8월까지 경골극 골절로 본원에 입원하여 관절경을 이용한 정복 및 내고정으로 치료받은 환자 43예 중 12개월 이상 추시 관찰이 가능하였던 32예를 대상으로 하였으며, Meyers 와 McKeever 분류¹²⁾상 모두 제 II형 이상의 골절 이었다. 남자가 22예(69%), 여자가 10예(31%)로 평균연령은 32세(7세~54세)였다. 관절경 시술시 전방 십자 인대 실질부에 대한 손상 여부를 조사하였고, 수술 방법으로는 골편의 정복 후 28예(88%)에서는 전방 십자 인대 실질부를 통과한 봉합사를 이용 끌어내기(pull-out) 고정을 시행하였으며, 4예(12%)에서는 나사못을 이용한 고정을 시행하였다. 골절의 분류상 II형 골절 10예(31%), III형 골절 18예(56%), IV형 골절은 4예(13%)였다. 동반 손상으로는 13예(40%)에서 경골과 골절이 있었으며 만일 경골과 골절의 치료를 위해 슬관절을 개방해야 하는 경우나 관절면의 함몰 등이 심하여 관절면의 복구가 안 된 경우는 본 연구의 대상에서 제외시켰다.

1예에서 대퇴골 부착부위에서 후방 십자 인대의 견열 골절의 관찰되어 동일한 방법으로 고정하였으며, 2예에서는 전방 십자 인대 근위부 대퇴골 부착부 파열이 동반되었으며 1예는 부분 파열, 1예는 완전 파열로 모두 전방 십자 인대 대퇴골 부착부를 통한 pull-out 방법으로 고정을 시행하였다. 3예에서 외측 반월상 연골 파열 및 2예에서 내측 반월상 연골 파열이 동반되어 봉합하였으며, 1예의 내측 반월

상 연골 파열에 대하여는 부분 절제술을 시행하였다. 5예(17%)에서 내측 측부 인대 파열이 동반되었으며, 5예(16%)에서 경골 외과 세군드 골절(Segond fracture)이 관찰되었다(Table 1).

수술 후 6주간 슬관절 보조기를 착용하여 골절부를 보호 하면서 슬관절 운동을 진행 하였으며, 술 후 3주간 슬관절 20도 굴곡위 고정시킨 것 이외의 재활 방법은 전방 십자 인대 재건술 후의 과정과 유사하게 진행하였다. 평균 추시 기간은 18개월(12개월~48개월)이었다. 수술 후 평가는 이학적 검사로 Lachman 검사, 회전 불안정성 검사를 시행하였으며, KT-2000 관절측정기를 이용하여 전측과의 전방전위차(side to side difference, SSD)를 측정하였다. 술 후 일반 방사선 사진 상 골편의 완전 정복, 전방 거상(anterior elevation) 및 정복 실패 세 군으로 나누었

Table 1. Associated injuries with tibial spine fractures

Associated injuries	Number of case
Tibial condylar fracture	13
Posterior cruciate ligament avulsion	1
Anterior cruciate ligament rupture	2
Medial meniscus tear	3
Lateral meniscus tear	3
Medial collateral ligament rupture	5
Segond fracture	5

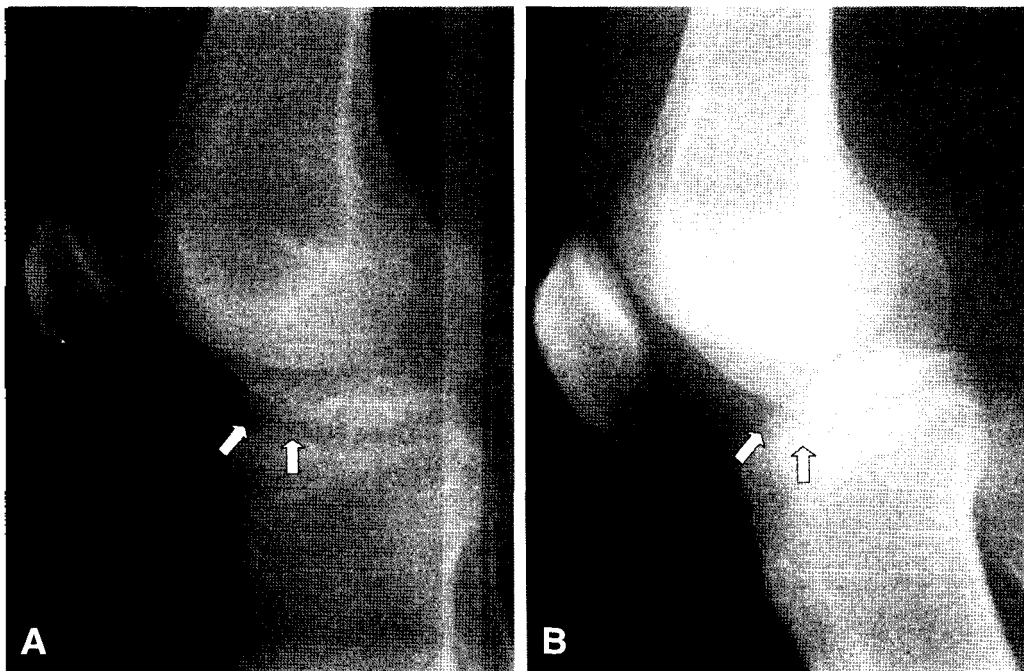


Fig. 1. 20-years-old woman with type III tibial spine fractures. (A) Preoperative lateral view showed slightly anterior elevation of fragment. (B) Postoperative lateral view showed anatomically reduced fragment.

으며, 정복군과 전방 거상군에서 Lachman 검사 상 0등급이 나오는 비율, 관절측정기를 이용한 각 군의 SSD, 각 군 내에서 SSD 3 mm미만의 비율을 비교하였다. Wilcoxon two-sample test를 시행하였고 유의수준은 P 값 0.05 미만으로 하였다.

수술 방법

슬관절 내의 동반 손상에 대한 검사 후 필요시 이에 대한 치료를 우선적으로 시행하고 경골극 골절을 정복하였다. 경골극 골절의 정복을 위하여 골절 부위에 형성된 혈종을 제거한 후 정복을 방해할 수 있는 전위된 작은 골편을 제거하였으며, 반월상 연골간 인대(intermeniscal ligament)가 정복에 방해가 되는지 여부를 확인 후 필요시 절제를 시행하였다. 골편의 정복은 전방 십자 인대의 재건술에 사용되는 경골 유도관(Anterior cruciate ligament tibial guide) 및 탐색자(probe)를 이용하여 정복하였으며, 골편의 크기가 충분할 경우 K-강선을 이용한 일시적 고정을 시행하였다. 골절 부위 전내측 및 전외측에 두개의 유도 핀(guide pin)을 삽입한 후, 5개의 흡수성 봉합사(No.0 POLYSORB™, Syneture, U.S.A.)를 전방 십자 인대 실질부에 관통시켰으며, 가능한 전방 십자 인대의 경골 부착부위의 전방부에 주로 봉합사가 위치하도록 하였다. 5개의 봉합사는 강선 고리(wire loop)를 이용하여 유도핀으로 만들어진 구멍을 통과시켜 경골 근위부 전내측부로 뽑아낸

후 슬관절 운동에 따른 골편의 정복 유지 여부 등을 확인하고 20도 굴곡위에서 고정하였다. 만일 골절편의 크기가 충분할 경우 1개의 나사못으로 골편을 고정하였다.

결 과

골절의 분류상 I형 골절은 10예 모두 완전 정복이 가능하였으며, III형 골절 중 11예(61%)에서는 완전 정복(Fig. 1)이 가능하였으나, 5예(33%)는 술 후 전방 거상(Fig. 2)을 보였으며 1예는 추시 관찰 과정에서 전방 거상의 소견을 보였다. 그 외 1예의 경우 수상 후 3년 6개월에 경골극 골절 불유합으로 전방 불안정성 및 회전 불안정성이 심하여 전방 십자 인대 재건술로 치료하였다. IV형은 4예 중 2예에서 완전 정복이 가능하였으나 2예에서는 전방 거상이 관찰되었다(Fig. 3). 나사못 고정은 4예 모두 완전 정복되었고 pull-out 방법 28예 중 8예(29%)에서 전방 거상이 관찰 되었다.

술 후 전방 불안정성에 대한 Lachman 검사 상 II형 골절 중 6예(60%)에서는 전방 불안정성이 관찰되지 않았으나(0등급), 4예(40%)에서 I등급의 동요 관절이 나타났고 III형에서는 3예(17%)에서 불안정성은 관찰되지 않았으나 14예(78%)에서 I등급의 동요 관절이 나타났으며 정복이 실패한 1예(6%)에서는 II등급의 동요관절 및 회전 불안정성의 소견을 보였다. IV형의 경우 1예(25%)에서는 불안정성이 관찰되지 않았으나 3예에서 I등급의 전방 동요를 보

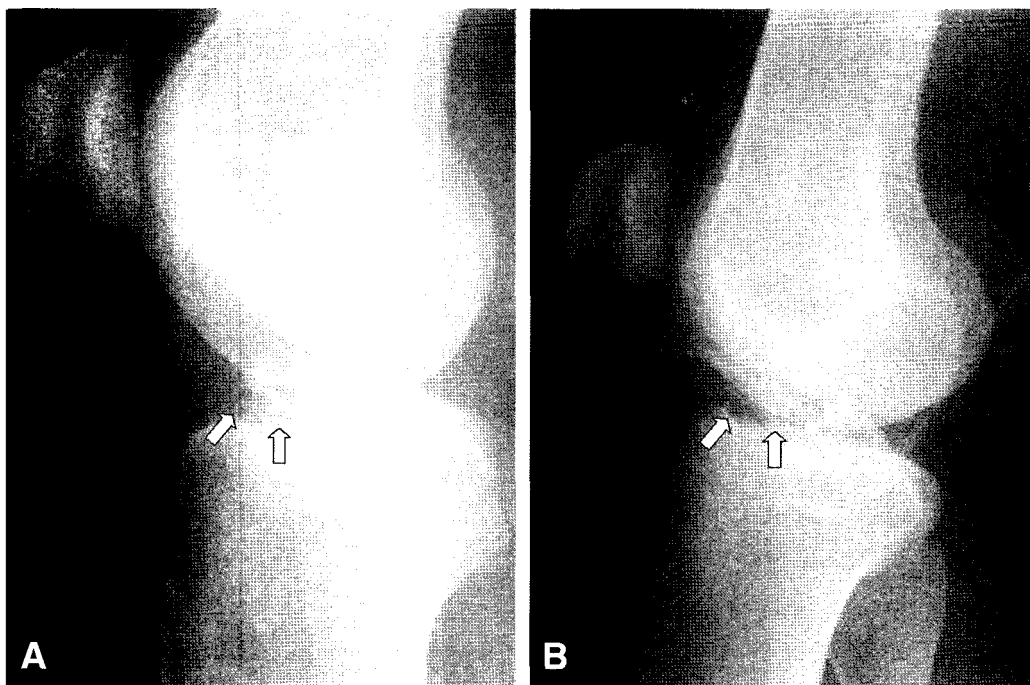


Fig. 2. 45-year-old man with type III tibial spine fractures. (A) Preoperative lateral view showed displaced fragment of tibial spine. (B) Postoperative lateral view showed anterior elevation of fragment.

였다. 전체적으로 완전 정복군에서 Lachman 0등급의 비율은 39%(9/23예)로 전방 거상군의 0등급 비율 13%(1/8예)에 비해 통계적으로 의미있게(P=0.021) 높았다(Table 2).

KT-2000 관철 측정기를 통한 SSD의 측정에서는 골절 II형(n=10)이 평균 1.1 mm, III형 중 완전 정복군(n=11)은 평균 2.2 mm, 전방 거상군(n=6)은 평균 2.8 mm, 정복 실패 예는 5.4 mm를 보였고 IV형 중 완전 정복군은 평균 1.6 mm, 전방 거상군은 3.2 mm를 보였다. 전체적인 완전 정복군과 전방 거상군간의 비교에서는

각각 평균 2.1 mm 와 2.9 mm로 전방 거상군의 SSD가 컸지만 통계학적 차이는 없었다(Table 3). 그러나 SSD 3 mm미만의 비율은 완전 정복군, 전방 거상군에서 각각 62%, 48.2%로 의미있게(P=0.048) 완전 정복군이 많았다(Table 4).

술 후 합병증으로는 8예에서 술 후 슬관절 운동 장애가 관찰되었으며 모두 경골과 골절이 동반되었거나 혹은 내측 측부 인대의 손상이 동반된 경우에서 발생되었고, 대개 6개월 이내에 호전된 소견을 보였으나 1예에서는 술 후 5개월째 관절 유리술(arthrolysis)를 시행하였으며 신전 5도

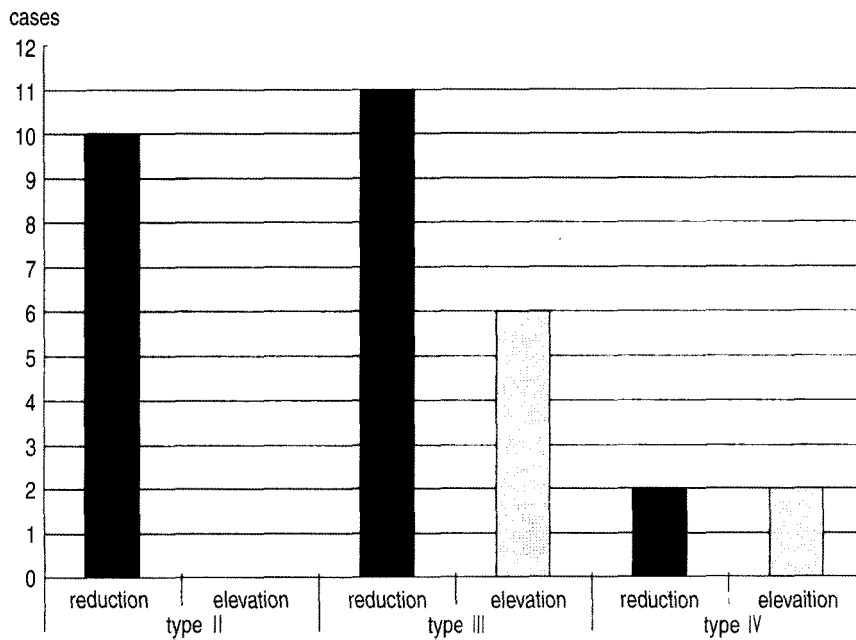


Fig. 3. Postoperative radiological result in relation to fracture type.

Table 2. Results of Lachman test between accurate reduction group and anterior elevation group

Test	Accurate reduction (n=23)	Anterior elevation (n=8)
Lachman		
Grade 0 *	9 (37%)	1 (17%)
Grade I	14 (64%)	7 (83%)

* P=0.021, significant

Table 3. Mean side to side difference using KT-2000 arthrometer according to fracture type and status of reduction (cases)

	Accurate reduction	Anterior elevation	Failure	Total
Type II	1.1 mm (10)	-	-	1.1 mm (11)
Type III	2.2 mm (11)	2.8 mm (6)	5.4 mm (1)	2.7 mm (18)
Type IV	1.6 mm (2)	3.2 mm (2)	-	2.4 mm (4)
Total	2.1 mm (23)	2.9 mm (8)	5.4 mm (1)	

및 굴곡 110도의 운동장애가 지속되었다. 골절편의 정복 및 고정에 실패한 1예에서는 지속적인 불유합 및 전방 동요관절이 관찰되어 술 후 4년째 전방 십자 인대 재건술로 치료하였다. 경골과 골절이 동반된 4예에서 술 후 관류액의 유출(extravasation)로 슬관절 및 하퇴부 부종이 발생되었으나 수술 직후 회복되었으며, 그 외의 수술과 관련된 급성 합병증은 관찰되지 않았다. 나사못을 이용한 고정에서 3예는 나사못 제거가 용이하였으나 1예에선 십자 인대와 골편에 덮여 제거가 불가능하였다.

고 찰

경골극 골절은 성인과 소아의 경우 그 발생 기전에서 차이를 보인다고 알려져 있다. 소아의 경우 순수한 전방 십자 인대 전열에 의한 경골극 골절로 알려져^{12,13,17)} 있으나 성인의 경우 대퇴과가 직접적으로 경골극에 충돌하여 경골극의 골절을 유발하여 고전적인 개념의 전열 골절과는 차이가 보고되었다⁵⁾. 이러한 수상 기전의 차이는 소아의 경우 외력을 직접적으로 받은 전방 십자 인대의 약화가 항상 동반될 가능성이 있으나, 성인의 경우 전방 십자 인대의 손상은 전혀 발생하지 않는다고 하였다⁵⁾. 그러나 저자의 경우 성인의 2예에서 경골극 골절과 동반되어 전방 십자 인대 실질부의 손상이 관찰되었으며, 전방 십자 인대 파열의 지침자가 될 수 있는 Segond 골절이 5예(16%)에서 관찰되어 전열 골

절에도 전방 십자 인대 실질부의 손상이 동반될 수 있음을 시사하며 골편의 정복이 이루어지더라도 전방 불안정성이 남을 가능성은 충분하다고 사료된다. Lowe 등⁶⁾은 기능적 결과는 만족스럽지만 Lachman 검사나 전방 전위 검사상 대부분 양성을 보인다고 하였고 저자의 결과도 전체적으로 22예(69%) 그리고 골절편이 정복된 14예(61%)에서도 Lachman 검사 상 I 등급 이상의 전방 불안정성을 보여, 수상 시 전방 십자 인대의 손상이 동반될 수 있다고 사료된다.

골절편의 정복과 관련하여 경골극 골절의 관절경적 정복 및 고정은 매우 제한된 공간 내에서 시행하므로 정확한 정복이 힘든 경우가 있을 수 있으며, 저자들의 술 후 골절편 전방부의 전방 거상이 발생되었다. Osti 등¹⁴⁾은 III형 10예의 pull-out 방법을 통한 관절경적 치료에서 단 2예의 3 mm 이상 SSD를 보고하였고 Senekovic과 Veselko¹⁵⁾는 32예의 유관나사못 고정을 통해 5년 추시 상 평균 1.04 mm의 SSD와 평균 98.7점의 Lysholm 점수를 보고하였으며 Hunter와 Willis³⁾는 17예의 봉합사 또는 나사못 고정을 통해 평균 94.2점의 Lysholm 점수를 얻었으며 봉합사와 나사못 고정 사이의 차이는 없다고 보고하였다. 그러나 언급된 연구를 포함한 이전 대부분의 연구에서 골절편의 전방거상이나 방사선학적 분석은 없었으며 임상적 고찰에 국한되었던 것이 사실이다. 저자의 결과에서 비록 증례 수가 적었으나 4예의 나사못 고정에서 전방 거상이 관찰되지

Table 4. Results of side to side difference on KT-2000 arthrometer for patients with accurate reduction-group and anterior elevation group

Arthrometer test	Accurate reduction (n=23)	Anterior elevation (n=8)	P
Mean SSD*(mm)	2.1	2.9	0.13
SSD < 3 mm	62%	48.2%	0.048

*Side to side difference

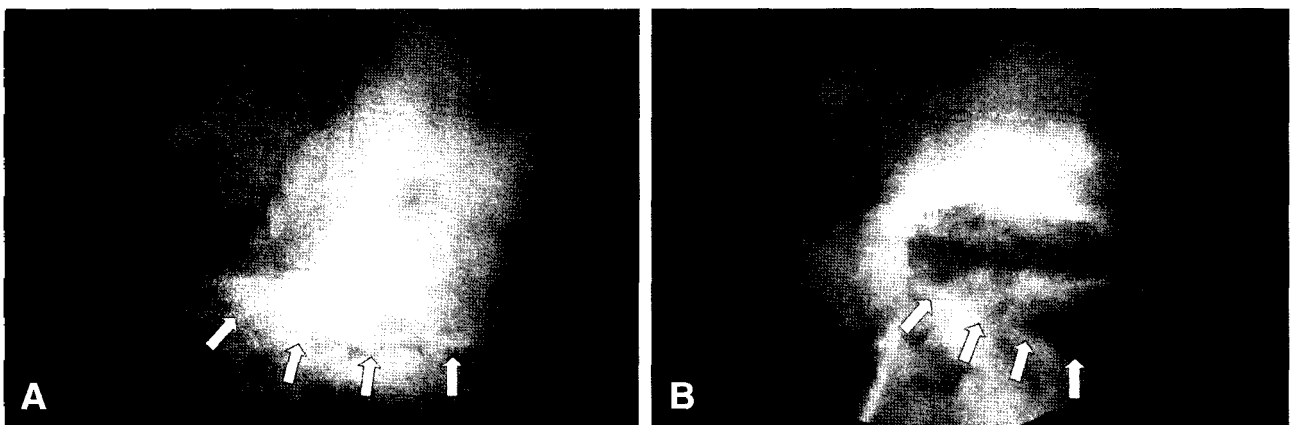


Fig. 4. Arthroscopic photograph showed (A) reduced fragment in knee extension and (B) anterior elevation of the fragment in knee flexion at intraoperative status.

않았다. 나사못의 고정은 골편 전방부에 나사못이 삽입되어 전방 거상의 소견이 없었으나, 봉합사를 이용한 고정은 경골에 삽입된 유도핀의 위치, 전방 십자 인대의 실질부를 통과하는 봉합사의 위치 및 각각의 봉합사의 장력 등에 따라 골편의 고정력이 균등하게 가해지지 않을 경우 골편의 전방 거상 소견이 나타날 수 있다.

완전 정복군과 전방 거상군의 평균 SSD는 각각 2.0 mm와 2.8 mm로 의미 있는 차이는 없었으나 Lachman 0등급 비율(P=.021)과 3 mm 미만의 SSD의 비율(P=.048)은 의미 있게 정복군이 높았다. Ⅱ형의 경우에 0%, Ⅲ형과 Ⅳ형의 경우 각각 34%와 50%로 전방 거상이 증가하는 양상을 관찰할 수 있었고 평균 SSD도 골편 전위정도가 심할수록 증가하는 양상을 보였다. 제 Ⅳ형의 경우에는 특히 완전 정복군과 전방 거상군 간의 SSD가 큰 차이를 보였으나 증례 수가 너무 작아 통계적 의의를 논하기엔 어려울 것으로 판단된다. 따라서 수술 시 골절편의 전방 거상은 가능한 한 교정해 주는 것이 좋을 것으로 사료되며 이러한 전방 거상을 방지하기 위해서는 골절편의 크기가 충분할 경우 나사못을 이용하여 고정하거나 혹은 K-강선 등을 이용한 일시적인 고정 후 수술하는 것이 보다 정확한 고정을 위해 도움이 되었고, 봉합사는 가능한 전방 십자 인대의 골부착부 전방으로 통과시키며, 유도핀을 이용한 골 터널도 가능한 전방부에 위치시키는 것이 전방 거상을 방지하는데 효과적이었다. 술 후 골편의 고정 직전 슬관절 운동 하에서 골편이 유지되는 지의 여부를 검사하며 술 후 발생할 수 있는 전방 거상을 확인해야하며, 슬관절은 신전위에서 고정하는 것이 도움이 될 것으로 사료된다(Fig. 4). 또한 골절편의 정복이 힘든 경우 슬개건을 통한 관혈적 술식도 정복에 도움이 될 것으로 사료된다.

결 론

경골극 골절에 대한 관절경적 정복 및 내고정후 수술 방법에 관계없이 69%에서 경도 이하의 전방 동요관절이 발생되었으며, 이는 수상 당시 경골극 골절과 동반하여 전방 십자 인대 실질부의 손상이 발생할 수 있음을 시사한다. 또한 심하게 전위된 골절일수록 골편의 정확한 정복이 술 후 전방 동요를 줄이는데 중요할 것으로 사료되며, 특히 봉합사를 이용한 pull-out 방법에 의한 고정은 수술 후 골편 전방부의 거상을 유발할 수 있으므로 수술시 주의해야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Berg EE: Comminuted tibial eminence anterior cruciate ligament avulsion fractures: Failure of arthroscopic treatment. *Arthroscopy*, 9: 446-450, 1993.
- 2) Geissler WB and Matthews DE: Arthroscopic suture fixation of displaced tibial eminence fractures. *Orthopedics*, 16(3): 331-333, 1993.
- 3) Hunter RE and Willis JA: Arthroscopic fixation of avulsion fractures of the tibial eminence: Technique and outcome. *Arthroscopy*, 20: 113-121, 2004.
- 4) Jung YB, Yum JK and Koo BH: A new method for arthroscopic treatment of tibial eminence fractures with eyed Steinman pins. *Arthroscopy*, 107: 672-675, 1999.
- 5) Kendall NS, Hsu SY and Chan KM: Fracture of the tibial spine in adults and children: A review of 31 cases. *J Bone Joint Surg*, 74-B : 848-852, 1992.
- 6) Lowe J, Chaimsky G, Freedman A, Zion I and Howard C: The anatomy of tibial eminence fractures: Arthroscopic observations following failed closed reduction. *J Bone Joint Surg*, 84-A: 1933-1938, 2002.
- 7) Lubowitz JH, Elson WS and Guttman D: Part II : Arthroscopic treatment of tibial plateau fracture: intercondylar eminence avulsion fractures. *Arthroscopy*, 21: 86-92, 2005.
- 8) Lubowitz JH and Grauer JD: Arthroscopic treatment of anterior cruciate ligament avulsion. *Clin Orthop*, 294: 242-246, 1993.
- 9) Matthews DE and Geissler WB: Arthroscopic suture fixation of displaced tibial eminence fractures. *Arthroscopy*, 10: 418-423, 1994.
- 10) McLennan JG: The role of arthroscopic surgery in the treatment of fractures of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg*, 64-B: 477-480, 1982.
- 11) Medler RG and Jansson KA: Arthroscopic treatment of fractures of the tibial spine. *Arthroscopy*, 10: 292-295, 1994.
- 12) Meyers MH and McKeever FM: Fracture of the intercondylar eminence of the tibia. *J Bone Joint Surg*, 52-A: 1677-1683, 1970.
- 13) Noyes FR, DeLucas JL and Torvik PJ: Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: An analysis of strain-rate sensitivity and mechanism of failure in primates. *J Bone Joint Surg*, 56-A: 236-253, 1974.
- 14) Osti L, Merlo F, Liu SH and Bocchi L: A simple modified arthroscopic procedure for fixation of displaced tibial eminence fractures. *Arthroscopy*, 16: 379-382, 2000.
- 15) Senekovic V and Veselko M: Anterograde arthroscopic fixation of avulsion fractures of the tibial eminence with cannulated screw: Five-year results. *Arthroscopy*, 19: 54-61, 2003.
- 16) Van Loon T and Marti RK: A fracture of the intercondylar eminence of the tibia treated by arthroscopic fixation. *Arthroscopy*, 7: 385-388, 1991.
- 17) Wiley JJ and Baxter MP: Tibial spine fractures in children. *Clin Orthop*, 255: 54-60, 1990.

18) Yip DK, Wong JW, Chien EP and Chan CF: Modified arthroscopic suture fixation of displaced tibial eminence

fractures using a suture loop transporter. *Arthroscopy*, 17: 101-106, 2001.

초 록

목적: 경골극 골절에서 관절경을 이용한 골편의 정복 및 고정 후 골절편의 정복 정도와 전방 불안정성에 대한 결과를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법: 경골극 골절로 관절경적 치료를 받은 32예를 대상으로 하였으며 평균 추시 기간은 18개월(12개월-48개월)이었다. 수술 후 평가는 Lachman 검사 및 회전 불안정성 검사와 KT-2000 관절측정기를 이용한 건축과의 전방전위차이(SSD)를 측정하였다. 방사선 사진 상 골편의 완전 정복, 전방 거상 및 정복 실패로 나누었고, 골편의 정복 정도에 따른 전방 불안정성 정도를 조사 하였다.

결과: 골편의 완전 정복, 전방 거상, 정복 실패는 각각 23예(71%), 8예(25%), 1예(4%)였고 pull-out 방법 28예 중 8예(29%)에서 전방 거상이 있었다. 완전 정복군과 전방 거상군의 SSD는 각각 2.0 mm와 2.8 mm로 의미 있는 차이는 없었으나 Lachman 0등급 비율($P=0.021$)과 3 mm 미만의 SSD의 비율($P=0.048$)은 의미 있게 정복군이 높았다.

결론: 심하게 전위된 골절일수록 골편의 정확한 정복이 술 후 전방 동요를 줄이는데 중요할 것으로 생각되며, 봉합사를 이용한 pull-out 방법에 의한 고정은 수술 후 골편 전방부의 거상을 유발할 수 있으므로 세심한 주의가 필요할 것으로 생각된다.

색인단어: 경골극, 골절, 관절경적 정복 및 내고정, 전방 불안정성