

관절외 근위 경골 골절의 불유합의 원인 및 치료

김성수 · 손성근 · 이규열 · 김철홍 · 이명진 · 강민수* · 왕 립 · 하임식

동아대학교 의과대학 정형외과학교실, 동의의료원 정형외과*

목 적: 관절외 근위 경골 골절의 불유합에 영향을 미치는 인자들을 후향적으로 분석하였고 치료 결과를 보고하고자 한다.

대상 및 방법: 2002년 6월부터 2006년 5월까지 근위 경골 관절외 골절 51예를 대상으로 하였고, 불유합에 영향을 미치는 인자들에 대해 불유합률을 평가하여 상관관계를 분석하였다. 불유합에 대한 치료에 있어서 전 예에서 금속판 내고정술 및 자가골 이식술을 시행하였고, 임상적 평가는 최종 추시에서 Klemm and Börner 분류법을 이용하였다.

결 과: 51예 중 6예 (11.8%)에서 불유합이 발생하였다. 불유합에 영향을 미치는 인자에 대한 분석에 있어서 OTA A3 분쇄골절인 경우 높은 불유합률을 보였으며 통계학적으로 의미가 있었다. 그리고 일차 수술 시 자가 골이식술을 병행한 경우, 전 예에서 골유합을 얻었으며 통계학적으로도 의미가 있었다. 금속판 내고정술 및 자가골 이식술을 이용한 치료에 있어서 전 예에서 골유합을 얻었으며 최종 추시에서 5예 (83.3%)에서 양호 이상의 결과를 얻었다.

결 론: 관절외 근위 경골 불유합에 있어서 분쇄 정도가 중요한 위험인자라고 생각되고 분쇄 정도가 심한 경우에는 자가골 이식술의 병행이 불유합의 빈도를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 불유합의 치료에 있어서 금속판 고정술 및 자가골 이식술은 불유합 치료에 적용할 수 있는 좋은 술기라고 생각된다.

색인 단어: 근위 경골, 관절외 골절, 불유합

Cause and Treatment of Extraarticular Proximal Tibial Nonunion

Sung Soo Kim, M.D., Sung Keun Shon, M.D., Kyu Yeol Lee, M.D., Chul Hong Kim, M.D.,
Myung Jin Lee, M.D., Min Soo Kang, M.D.*, Lih Wang, M.D., Im Sic Ha, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Dong-A University, Dong-Eui Medical Center*, Busan, Korea

Purpose: To analyze the factors affecting the nonunion of extraarticular proximal tibial fracture and the outcome of nonunion treatment.

Materials and Methods: We investigated 51 cases of extraarticular proximal tibial fractures from June 2002 to May 2006. The nonunion rate was assessed in relation to several risk factors and the treatment outcome of nonunion using plate fixation with bone graft was assessed by Klemm and Börner functional rating system.

Results: 6 cases of nonunion (11.8%) was noted among 51 cases, and the risk factors examined, OTA A3 comminuted fracture was associated with a high nonunion rate with statistical significance and initial bone graft had a significant effect in bone healing. Excellent and good results were obtained in 5 cases (83.3%) and bone union was achieved in all nonunion cases.

Conclusion: Comminution was found to be an important factor affecting the nonunion in extraarticular proximal tibial fracture, and bone graft in primary operation could reduce the chance of nonunion. Accurate plate fixation with bone graft is a reliable option in nonunion treatment.

Key Words: Proximal tibia, Extraarticular fracture, Nonunion

통신저자 : 왕 립
부산시 서구 동대신동 3가-1
동아대학교 의과대학 정형외과학교실
Tel : 051-240-2593 · Fax : 051-254-6757
E-mail : libi33@dau.ac.kr

Address reprint requests to : Lih Wang, M.D.
Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Dong-A
University, 3-1, Dongdaesin-dong, Seo-gu, Busan 602-715, Korea
Tel : 82-51-240-2593 · Fax : 82-51-254-6757
E-mail : libi33@dau.ac.kr

*이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.
접수: 2008. 3. 13
게재확정: 2008. 10. 6

서 론

경골 근위부는 다른 장골에 비해 연부조직 및 피하 조직이 적으나, 골외 혈관이 풍부하게 발달되어 있어 일반적으로 우수한 골유합을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있으나, 골수강이 상대적으로 간부에 비하여 넓고 일정하지 않아 골절 시 불안정하게 되고, 교통사고 및 산업재해 등의 고에너지 손상에 의해 단순한 골절보다는 광범위한 연부조직 손상을 동반한 분쇄 골절 및 개방성 골절이 많이 발생하여 이로 인해 골절 이후 불유합의 빈도가 높고 이에 여러 차례의 수술이 필요한 경우가 많다^{1,19)}. 본 연구에서는 근위 경골 불유합의 발생과 관계있는 요인들을 후향적 연구를 통해 분석하고 금속판 내고정 및 자가골 이식술에 따른 치료결과를 보고하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상, 성별 및 연령

2002년 6월부터 2006년 5월까지 본원에서 근위 경골 골절에 대해 수술적 치료를 받은 65명 중 양측성인 경우를 제외하고, 1년 이상 추시가 가능했던 51명에 대해 분석하였고, 평균 추시 기간은 3.8 (1.2~5.1)년이었다. 남자가 40명 (78.4%), 여자가 11명 (21.6%)이었고, 연령은 18세에서 76세로 평균 45세였으며 비교적 중년층 남성의 빈도가 많은 것으로 나타났다.

2. 손상기전

전체 교통 사고가 36예 (70.6%)로 높은 비율을 차지하였으며 그 중 보행자 사고가 18예 (35.3%)로 가장 많았고 운전자 사고 10예 (19.6%), 오토바이 사고가 8예 (15.7%)였다. 그 외 낙상 사고가 7예 (13.7%), 기타가 8예 (15.7%)로 고에너지 손상에 의한 비율이 높았다.

3. 골절의 형태

OTA 분류에 따른 골절의 형태를 보면 A2 단순골절이 36예 (70.6%), A3 분쇄골절이 15예 (29.4%)로 단순골절이 많았다. 폐쇄 골절이 36예 (70.6%), 개방성 골절이 15예 (29.4%)였으며, Gustilo-Anderson에 따른 분류를 보면 Grade I이 3예, Grade II가 5예 그리고 Grade III는 7예였다. 44예 (86.3%)에서 동측의 비골 골절이 동반하였다.

4. 일차 치료 방법

연부 조직이 안정화된 이후에 골편의 안정성 여부에 따라 외부 고정 장치를 유지하거나 견고한 금속판 또는 골수강내 금속정 내고정술을 시행하였고, 개방성 골절을 제외하고 분쇄 정도가 심하거나 골 결손이 있는 경우에는 자가골 이식을 병행하는 것을 원칙으로 하였다. 치료 방법으로 골수강내 금속정 고정술 12예 (23.5%), 외부 기기 고정술 18예 (35.3%), 그리고 금속판 내고정술 21예 (41.2%)를 시행하였다. 개방성 골절에 있어서 Grade I 2예에 대해 각각 골수강내 금속정 고정술 및 금속판 내고정술을 시행하였고, 나머지는 모두 외부 기기 고정술을 시행하였다. 12예 (23.5%)에서는 자가 장골 이식술을 병행하였고, 외부 기기 고정술이 2예, 나머지는 모두 금속판 고정술을 시행한 경우였다.

5. 골유합 시기의 판정

골유합은 전후면 및 측면 방사선 사진에서 골소주의 연결이 보이고 임상적으로 골절부 압통이 없으며 체중부하시 동통이 없는 시기로 하였고, 술 후 6개월 이후에 골유합의 진행 소견이 보이지 않는 경우를 불유합으로 정하였다.

6. 불유합의 원인 분석

감염성 불유합이나 당뇨 등 전신적 요인들과 연관된 불유합은 본 연구에서 제외하였고, 근위 경골 불유합에 영향을 미치는 인자들로 나이, 성별, 손상 기전, 골절의 형태, 개방성 골절 유무, 비골 골절 동반 유무, 일차 수술 방법, 일차 수술 시 골이식술 병행 유무 등이 있으며, 이에 대해 불유

Table 1. Functional results of the nonunion patients by Klemm and Börner classification

Results		No. (%)
Excellent	Full knee and ankle motion No muscle atrophy	3 (50.0%)
Good	Slight loss of knee or ankle motion Less than 2 cm of muscle atrophy	2 (33.3%)
Fair	Moderate loss of knee or ankle motion More than 2 cm muscle atrophy	1 (16.7%)
Poor	Angular deformity 5°~10° Marked loss of knee or ankle motion Marked muscle atrophy Angular deformity greater than 10°	0 (0.0%)
Total		6 (100%)

Table 2. Data analysis of proximal tibial nonunion patients

	Sex	Age	Injury	Fracture type	Operative method	Nonunion type
1	F	66	Incar TA*	OTA [†] A2(C [‡])	Intramedullary nail	Hypervascular
2	M	76	Motorcycle TA*	OTA [†] A3(O [§])	External fixator	Avascular
3	M	46	Incar TA*	OTA [†] A3(C [‡])	Plate & screw	Avascular
4	M	38	Pedestrian injury	OTA [†] A3(C [‡])	External fixator	Avascular
5	M	56	Pedestrian injury	OTA [†] A2(O [§])	Intramedullary nail	Hypervascular
6	M	47	Pedestrian injury	OTA [†] A3(C [‡])	External fixator	Avascular

*TA: Traffic accident, [†]OTA: Orthopedic Trauma Association, [‡]C: Closed fracture, [§]O: Open fracture.

Table 3. Statistic analysis of nonunion rate related to risk factors

Risk factors	Rate of nonunion		p
	Number (n)	Percent (%)	
Sex			
Female	1/11	9.1	0.705
Male	5/40	12.5	
Age			
<50 years	4/36	11.1	0.326
≥50 years	2/15	13.3	
Injury mechanism			
Pedestrian injury	3/18	37.5	0.481
In-car TA*	2/10	20.0	
Motorcycle TA*	1/8	12.5	
Fall down	0/7	0.0	
Others	0/8	0.0	
Fracture type (OTA [†] classification)			
A2 (simple)	2/36	5.6	0.012
A3 (comminuted)	4/15	26.7	
Open fracture			
Yes (Grade I)	0/3	0.0	0.132
Yes (Grade II)	0/5	0.0	
Yes (Grade III)	2/7	28.6	
No	4/36	11.1	
Associated with fibular fracture			
Yes	5/44	11.4	0.472
No	1/7	14.3	
Initial treatment			
Intramedullary nail	2/12	16.7	0.406
Plate & screw	1/21	4.76	
External fixator	3/18	16.6	
Initial bone graft			
Yes	0/12	0.0	0.023
No	6/37	16.2	

*TA: Traffic accident, [†]OTA: Orthopedic Trauma Association.

합률 (nonunion rate)을 평가하여 상관관계를 분석하였고 통계학적 검증을 위해 SPSS 15.0 통계 프로그램의 Chi-square test를 이용하였으며 유의수준은 $p < 0.05$ 로 정하였다.

7. 불유합 이후의 이차 치료 방법

불유합이 발생한 모든 증례에서 기존 고정물을 제거하고 광범위 변연절제 및 변형 교정을 시행하였고 단일 금속판을 이용한 압박 고정을 시행하면서 자가 장골 이식술을 병행하였다. 술 후 2주째부터 부분 체중 부하를 허용하였고, 술 후 6주째부터 전체 체중 부하를 권장하였다.

8. 이차 치료에 대한 평가방법

임상 및 방사선학적 평가를 통해 골유합 정도를 확인하였고, 최종 추사에서 Klemm과 Börner¹⁴⁾ 분류법을 이용하여 슬관절 및 족관절의 기능을 평가하였다 (Table 1).

결 과

근위 경골 골절 51예 중 6예 (11.8%)에서 불유합이 발생하였고, 6예 중 4예는 무혈성 불유합이었으며 2예는 과혈성 불유합으로 나타났다 (Table 2). 불유합에 영향을 미치는 인자에 대한 분석에 있어서 남성인 경우 ($p=0.705$), 50세 이상 고령인 경우 ($p=0.326$), 손상 기전이 보행자 사고인 경우 ($p=0.481$), 개방성 골절 Grade III인 경우 ($p=0.132$), 비골 골절이 동반하지 않는 경우 ($p=0.472$) 그리고 일차 수술 시 골수강내 금속정 고정술 시행한 경우 ($p=0.406$)에서 상대적으로 높은 불유합률을 나타냈으나 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 그러나 OTA A3 분쇄골절인 경우 높은 불유합률을 보였으며 통계학적으로도 의미가 있었다 ($p=0.012$). 그리고 일차 수술 시 자가 골이식술을 병행한 경우, 전 예에서 골유합을 얻었으며 통계학적으로도 의미가 있었다 ($p=0.023$) (Table 3, Fig. 1).

금속판 내고정술 및 자가골 이식술을 이용한 근위 경골 불유합의 치료에 있어서 전 예에서 임상 및 방사선학적 골유합을 얻었다 (Fig. 2). 불유합에서 골유합까지의 기간은 평균 24주 (16~28)가 소요되었다. 수술 후 합병증으로는 1예에서 표재성 감염을 보였으나 골유합에 영향을 주지 않

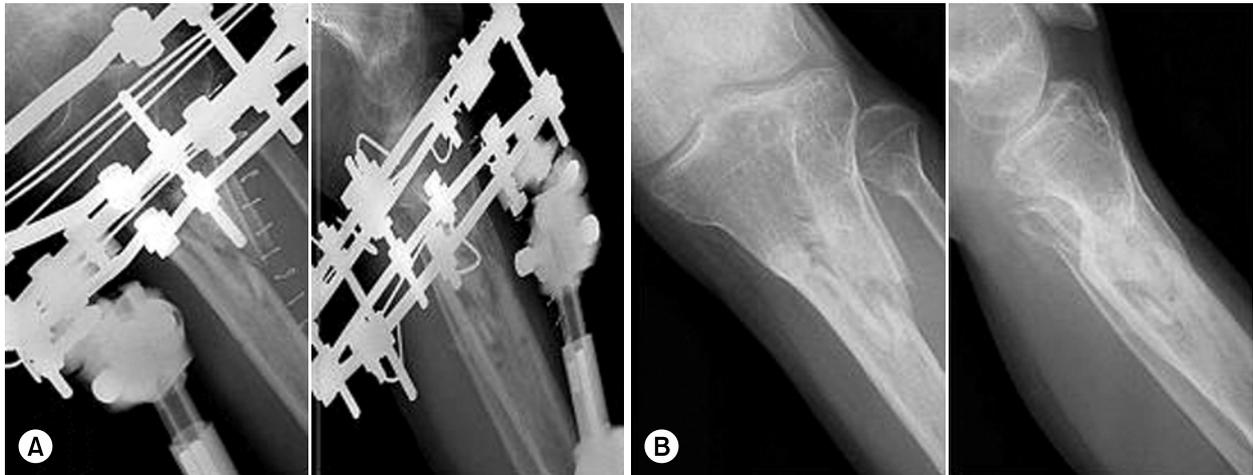


Fig. 1. A 27-year-old male involved in a incar traffic accident suffered a closed comminuted (OTA A3) proximal tibial fracture.

(A) Plain radiographs after application of hybrid type external fixator with autoiliac bone graft.

(B) Plain radiographs shows bone union at postoperative 9 months.



Fig. 2. (A) A 55-year-old male involved in a pedestrian traffic accident suffered a open comminuted (G-A Grade II, OTA A3) proximal tibial fracture.

(B) Wound debridement and hybrid type external fixator was performed.

(C) Postoperative 8 months, plate fixation with autoiliac bone graft was performed for proximal tibial nonunion.

(D) Bone union was achieved at 7 months after second operation with satisfactory functional result.

았고, 1예에서 중등도의 관절 강직 소견을 보였다. 최종 추시에서 Klemm과 Börner 분류법을 이용한 일상생활의 기능회복에 대해서는 5예 (83.3%)에서 우수 이상의 결과를 얻었다 (Table 1).

고 찰

최근에는 자동차 사고 및 산업 발달로 인한 각종 사고들로 인하여 장관골의 개방성 골절 및 분쇄골절을 흔하게 볼 수 있으며 개방성 창상에 따른 감염 및 손상 정도에 따른 불유합이 초래되는 경우가 많다. 특히 경골의 근위부는 골 외 혈관이 발달되어 있으며 주위 골 조직의 골 유합에 큰 역할을 하며 이것이 광범위하게 손상되었을 경우 불유합의 비율이 높아진다²⁾. 이런 이유로 경골 근위부는 불유합의 비율이 점점 높아지면서 골절 이후 일차적으로 골편들을 안정화시키는 것이 보다 중요하며^{19,21)} 근위 경골 불유합의 치료로는 현재 골수강내 금속정 삽입술, 외부 기기 고정술, 금속판 내고정술, 비골 절골술, 골 이식술, 골 이동술, 전기 자극술, 골수 주입술 등 많은 치료법이 제시되고 있다²²⁾.

불유합의 일반적인 원인은 전신적 요인과 국소적 요인으로 대별되며 전신 인자로 당뇨병 등 내분비계 이상 및 만성 소모성질환 등이 있으며 국소적 요인으로 감염, 혈액공급 차단, 골절편간 신연, 부적절한 고정, 연부조직의 손상 정도, 골결손 등을 들 수 있다¹³⁾. Boyd 등³⁾은 불유합의 원인으로 1) 개방성 골절, 2) 감염성 골절, 3) 분절 골절 및 혈액공급차단, 4) 심한 충격에 의한 분쇄골절, 5) 불안정 골절, 6) 불충분한 고정기간, 7) 부적절한 관혈적 정복, 8) 금속판 고정 시 골절단 신연 등을 생각할 수 있다고 하였다. Phieffer와 Goulet²⁵⁾은 근위 경골 불유합의 가장 중요한 인자는 처음 손상의 정도라고 하였으며 다른 요인으로 환자의 전신 상태, 술자의 능력 그리고 골절의 전위, 골결손, 비골골절의 동반 여부, 분쇄 골절, 혈관 손상이 관계된다고 하였다. 근본적으로 치료 순서 및 방법에 있어서 차이를 보이는 전신질환 또는 감염성 불유합의 경우는 본 연구에서 제외하였고, 저자는 근위 경골 불유합에 영향을 미치는 인자들로 나이, 성별, 손상 기전, 골절의 형태, 개방성 골절 유무, 비골 골절 동반 유무, 일차 수술 방법, 일차 수술시 골이식술 병행 유무 등을 고려하여 분석한 결과, 분쇄골절인 경우 높은 불유합률을 보였으며, 일차 수술시 자가 골이식술을 병행한 경우, 전 예에서 골유합을 얻었으며 통계학적으로도 의미가 있었다.

전통적으로 골 이식술은 불유합이나 지연유합이 진단된 이후에 시행되었으며 대개 6개월에서 1년 정도의 기간이 소요되었다. 그러나 Charnley⁷⁾는 고 에너지 경골 골절 이후 지연 유합이 대부분 발생한다는 가정하에서, 술 후 12

주째에 예방적 골 이식술을 시행하여 좋은 치료 결과를 얻었고, Stegemann 등²⁶⁾은 수상 후 6주째 조기 골 이식술을 시행하는 것이 평균 골유합 기간을 27주에서 24주로 단축시킨다고 발표하였다. 본 연구에서는 정기적인 추시가 이루어지지 못한 관계로 지연유합을 보여 골 이식술을 시행하였거나 예방적 골 이식술을 시행한 경우는 없었고, 불유합을 보인 6예는 모두 비감염성 불유합 진단하에 금속판 내고정술 및 자가 장골 이식술을 시행한 경우였다. 그러나 저자는 전체 근위 경골 골절 환자 중 수상 당시 분쇄정도가 심하고 개방성 골절이 아닌 12예에 대해서 불유합 또는 지연유합을 예방하기 위해 일차 수술 시 자가 장골 이식술을 시행하였고, 전 예에서 골유합을 얻어 의미 있는 치료 결과를 보였다.

경골 근위부는 여러 가지 위험인자들로 인하여 불유합의 빈도가 상대적으로 높은 부위로 치료에 있어서도 논란이 많은 부분이다. 과거의 외부 고정 장치는 주로 개방성 골절의 치료에 국한되었으나 수술 술기의 발달로 그 사용 범위가 확대되어, 최근에는 고에너지성 골절이나, 추후 골 이식이 필요한 정도의 골 결손을 동반한 골절, 불안정성 비개방성 골절, 구획중후군이 동반된 골절에 유용하게 사용된다^{9,11)}. 골수강내 금속정 고정술은 근위 경골 골절에서 효과적인 방법이나 경골 근위부 즉 골간단 및 골간의 경계부 골절의 불유합에서는 근위 경골의 골결손이 있어 적절한 술기의 금속정 삽입으로도 골유합에 필요한 충분한 고정력을 얻을 수 없는 경우가 많다. 금속판 내고정술은 비교적 경골 근위부 골절에서 주로 이용되며 골수강내 금속정에 비해 해부학적인 정복, 견고한 내고정과 골 결손에 대한 골 이식술을 동시에 할 수 있는 장점이 있으나¹²⁾ 수술의 상흔이 크며 폐쇄성 골절이 개방성 골절로 변환되어 감염에 대한 가능성을 높이게 되며 연부조직에 손상을 주고 그로 인한 관절운동의 제한, 불유합의 가능성이 높아진다^{4,15)}. 따라서 골절에 대한 치료는 손상의 정도 및 상처의 개방성의 정도에 따라서 수술 방법 등을 신중하게 결정하여야 한다. 본 연구에서는 일차 수술 시 골수강내 금속정 고정술을 시행한 경우에 상대적으로 높은 불유합률을 나타냈으나 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 그러므로 경골 근위부 골절 치료에 있어서 기구 종류보다는 적응증에 따른 적절한 치료 방법의 선택이 중요하다고 생각되며, 최근에는 경골 근위부에서 경피적 금속판 고정술이 관혈적 금속판 내고정술에 비하여 연부조직 손상과 골막 및 혈류의 손상을 최소화하여 감염이나 피부 괴사 등의 합병증을 줄일 수 있으며 골수강내 금속정에 비하여 골유합에 차이가 없고 골 이식, 불유합, 재골절 및 감염률을 낮출 수 있다는 결과가 많이 보고되고 있다^{12,17,23)}. 그리고, 분쇄 정도가 심한 골절에서는 골 이식술을 미리 시행하거

나 예방적 조기 골 이식술을 시행하는 것이 골절 치료에 있어서 좋은 결과를 가져올 것으로 생각된다.

경골 근위부 불유합의 치료에 대해서 다양한 치료 방법이 사용되어져 왔는데, Carpenter와 Jupiter⁵⁾는 경골 근위부나 원위부의 골간단부에 발생한 16명의 불유합 환자를 대상으로 고정 각 칼날판을 이용한 내고정술과 자가 골이식술을 통하여 14명의 환자에서 골유합을 얻었음을 보고하였으며, McLaren과 Blokker¹⁸⁾는 경골의 골간단부의 불유합 환자 3명에 대해서 골수내 교합성 금속정을 이용한 치료 후 골유합을 얻었음을 보고하였다. 다발성 손상, 연부 조직 결손, 골 결손, 활동성 감염이 동반된 불유합 환자의 치료에 있어서 Ilizarov를 이용한 외고정술은 분쇄골절로 인한 심한 골 결손이나 감염성 불유합 후 광범위한 부골 절제술 후 발생한 5 cm 이상의 골 결손도 골 연장술을 시행하여 하지 부동을 해결할 수 있으며, 연부 조직 손상이 동반된 경우에도 연부 조직까지도 이동시켜, 골과 연부 조직을 동시에 치유할 수 있는 매우 유용한 방법으로 보고되고 있다^{6,8,20,24)}. Lee와 Park¹⁶⁾은 골수강내 금속정 삽입 후 발생한 경골 근위부 골절의 불유합의 치료에 있어 기존의 삽입된 금속정을 제거하지 않고 자가골 이식 및 전방지지 금속판 보강술을 시행하여 전 예에서 골유합을 얻었다. Gardner 등¹⁰⁾은 감염성 불유합을 제외한 근위 경골 불유합에 있어서 압박 금속판 고정술 및 골 이식술을 통해서 16명 환자 모두에서 골유합을 얻었다. 이처럼 근위 경골 불유합에 대한 치료는 많이 소개되고 있고 본 연구에서도 근위 경골 비감염성 불유합을 보인 6명에 대해 기존 고정물을 제거하고 광범위 변연절제 및 변형 교정을 시행하였고 단일 금속판을 이용한 압박 고정을 시행하면서 자가 장골 이식술을 시행한 결과 전 예에서 골유합을 얻었으며 우수한 치료 결과를 보였다.

결 론

관절의 근위 경골 불유합에 있어서 분쇄 정도가 중요한 위험인자라고 생각되고 분쇄 정도가 심한 경우에는 자가골 이식술의 병행이 요구되고, 개방성 골절인 경우 연부조직을 안정화시키면서 가능한 조기 골 이식술을 시행하는 것이 불유합의 빈도를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 불유합의 치료에 있어서 금속판 고정술 및 자가골 이식술은 그 술식이 간단하고 골유합에 적절한 안정성을 얻을 수 있어 근위 경골 불유합의 치료에 적용할 수 있는 좋은 술기라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) **Blick SS, Brumback RJ, Lakatos R, Poka A, Burgess AR:** Early prophylactic bone grafting of high-energy tibial fractures. *Clin Orthop Relat Res*, **240:** 21-41, 1989.
- 2) **Borrelli J Jr, Prickett W, Song E, Becker D, Ricci W:** Extraosseous blood supply of the tibia and the effects of different plating techniques: a human cadaveric study. *J Orthop Trauma*, **16:** 691-695, 2002.
- 3) **Boyd HB, Lipinski SW, Wiley JH:** Observations on non-union of the shafts of the long bones with a statistical analysis of 842 patients. *J Bone Joint Surg Am*, **40:** 159-168, 1961.
- 4) **Bradley GW, Mckenna GB, Dunn HK, Daniels AU, Statton WO:** Effects of flexural rigidity of plates on bone healing. *J Bone Joint Surg Am*, **61:** 866-872, 1979.
- 5) **Carpenter CA, Jupiter JB:** Blade plate reconstruction of metaphyseal nonunion of the tibia. *Clin Orthop Relat Res*, **332:** 23-28, 1996.
- 6) **Cattaneo R, Catagni M, Johnson EE:** The treatment of infected nonunions and segmental defects of the tibia by the methods of Ilizarov. *Clin Orthop Relat Res*, **280:** 143-152, 1992.
- 7) **Charnley J:** Fractures of the shaft of the tibia. In the closed treatment of common fractures. 3rd ed. Edinburgh, Churchill Livingstone: 209-249, 1961.
- 8) **Ebraheim NA, Skie MC, Jackson WT:** The treatment of tibial nonunion with angular deformity using an Ilizarov device. *J Trauma*, **38:** 111-117, 1995.
- 9) **Edwards CC, Jaworski MF, Solaria J, Aronson BS:** Management of compound tibial fractures using external fixation. *Am Surg*, **45:** 190-203, 1979.
- 10) **Gardner MJ, Toro-Arbelaez JB, Boraiah S, Lorich DG, Helfet DL:** Surgical treatment and outcomes of extra-articular proximal tibial nonunions. *Arch Orthop Trauma Surg*, **128:** 833-839, 2008.
- 11) **Gershuni DH, Halma G:** The A-O external skeletal fixator in the treatment of severe tibia fractures. *J Trauma*, **23:** 986-990, 1983.
- 12) **Helfet DL, Shonnard PY, Levine D, Borrelli J Jr:** Minimally invasive plate osteosynthesis of distal fracture of tibia. *Injury*, **28(Suppl 1):** 42-47, 1997.
- 13) **Kim KH, Wee KH, Back SH:** A clinical study of non-union and delayed union. *J Korean Orthop Assoc*, **18:** 921-929, 1983.

- 14) **Klemm KW, Börner M:** Interlocking nailing of complex fractures of the femur and tibia. *Clin Orthop Relat Res*, **212:** 89-100, 1986.
- 15) **Laflamme GY, Heimlich D, Stephen D, Kreder HJ, Whyne CM:** Proximal tibial fracture stability with intramedullary nail fixation using oblique interlocking screws. *J Orthop Trauma*, **17:** 496-502, 2003.
- 16) **Lee HJ, Park YU:** Treatment of proximal tibial non-union after IM nailing in conjunction with anterior buttress plating. *J Korean Fracture Soc*, **17:** 138-141, 2004.
- 17) **Lee HS, Kim JJ, Oh SK, Ahn HS:** Treatment of distal tibial metaphyseal fracture using MIPPO technique. *J Korean Fracture Soc*, **8:** 166-170, 2004.
- 18) **McLaren AC, Blokker CP:** Locked intramedullary fixation for metaphyseal malunion and nonunion. *Clin Orthop Relat Res*, **265:** 253-260, 1991.
- 19) **Moon MS, Woo YK, Ha KY, Yeon G:** A clinical analysis of nonunion of the long bones in lower extremity. *J Korean Orthop Assoc*, **24:** 15-26, 1989.
- 20) **Morandi M, Zembo MM, Ciotti M:** Infected tibia pseudarthrosis. A 2-year follow up on patients treated by Ilizarov technique. *Orthopaedics*, **12:** 497-508, 1989.
- 21) **Mueller CA, Eingartner C, Scheitmueller E, et al:** Primary stability of various forms of osteosynthesis in the treatment of fractures of the proximal tibia. *J Bone Joint Surg Br*, **87:** 426-432, 2005.
- 22) **Nork SE, Barei DP, Schildhauer TA, et al:** Intramedullary nailing of proximal quarter tibial fractures. *J Orthop Trauma*, **20:** 523-528, 2006.
- 23) **Oh JK, Oh CW, Jeon IH, et al:** Percutaneous plate stabilization of proximal tibial fractures. *J Trauma*, **59:** 431-437, 2005.
- 24) **Paley D, Chaudray M, Pirone AM, Lentz P, Kautz D:** Treatment of malunions and malnonunions of the femur and tibia by detailed preoperative planning and the Ilizarov techniques. *Orthop Clin North Am*, **21:** 667-691, 1990.
- 25) **Phieffer LS, Goulet JA:** Delayed unions of the tibia. *J Bone Joint Surg Am*, **88:** 205-216, 2006.
- 26) **Stegemann P, Lorio M, Soriano R, Bone L:** Management protocol for unreamed interlocking tibial nails for open tibial fractures. *J Orthop Trauma*, **9:** 117-120, 1995.