

비확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술로 치료한 개방성 경골골절

서정탁 • 박병국 • 유충일

부산대학교 의과대학 정형외과학교실

= Abstract =

Treatment of Open Tibial Shaft Fractures with Unreamed Interlocking Intramedullary Nailing

Jeung-Tak Suh, M.D., Byung-Guk Park, M.D. and Chong-II Yoo, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine,
Pusan National University, Pusan, Korea*

Severe open fracture of the tibia have a high incidence of complications and a poor outcome. The most usual method of stabilization was by external fixation, but the advent of small diameter interlocking intramedullary nails has introduced a new option. From the June 1992 to December 1997, 55 cases of open tibial shaft fracture were treated with unreamed interlocking intramedullary nailing at the department of orthopedic surgery, Pusan National University Hospital. The purpose of this study is to evaluate its result and complications. Mean age was 31, mostly male. The main cause of trauma was traffic accidents(30 cases, 55%) and fracture sites consisted of mid 1/3 portion over 75%. According to the Gustilo & Anderson classification 8 type I(15%), 22 type II(40%), 15 type IIIA(27%) and 10 type IIIB(18%) were shown. Union time was 28.3 weeks on an average and union rate was 98%. There were 5 cases(9%) of delayed union, 2 cases(4%) of deep infection and 1 case(2%) of chronic osteomyelitis. In conclusion unreamed interlocking intramedullary nailing can be the first choice treatment in the treatment

of open tibia shaft fractures with low postoperative infection.

Key Words : Tibia shaft, Open fracture, Unreamed interlocking intramedullary nailing

서 론

심한 연부조직 손상을 동반한 개방성 경골 골절은 여전히 높은 합병증 발생과 불명한 결과를 초래하는 난제이다. 비록 정밀한 창상 관리법, 골절 안정화 기구 및 기술 그리고 조기 연부조직 복구나 예방적 골 이식을 포함하는 생물학적 치유환경 조성 등의 개발이 개방성 경골 골절의 치료에 혁신을 가져왔지만 III형으로 대별되는 심한 연부조직 손상과 분쇄양상을 야기하는 고에너지 손상은 이미 높은 감염율과 불유합 등의 합병증을 예고하는 것이어서 매우 숙달된 정형외과의에게조차도 매우 큰 도전이라 할 수 있다.

비록 몇몇 저자들이 개방성 경골골절을 확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술로 치료한 후에도 낮은 감염율을 보고해 왔지만, 대부분의 저자들은 골수강내 금속정의 좋은 기계적 특징도 보존하고 확공이 가져오는 생물학적 피해도 줄이기 위해 비확공성으로 고정하고 있는 것이 최근의 흐름이다^{2,6,17,20,22}. 그러나 비확공성으로 고정함으로써 골유합율도 높아졌고 감염율도 줄었으나 작은 직경으로 말미암은 금속정 또는 나사못의 파손 및 실패가 큰 단점이 되고 있다^{4,10,19,23}.

이에 저자들은 비확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술로써 치료한 개방성 경골 간부 골절 중 1년 이상 추시관찰이 가능했던 55례를 대상으로 그 치료 결과를 분석하여 문헌고찰과 함께 보고하고자 한다.

연구대상 및 방법

1992년 6월부터 1997년 12월까지 부산대학교 병원 정형외과학교실에서 개방성 경골간부골절로 진단 받고 비확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술로 치료받은 뒤 1년 이상 추시가 가능했던 55례를 대상으로 하여 각 예의 성별 및 연령분포, 수상원인, 동반손

상, 골절부위 및 양상 그리고 연부조직 손상정도에 대해 기록하였고 골절 자체는 Gustilo-Anderson 분류⁵)와 AO/ASIF 분류법¹⁵⁾을 채택하여 골 및 연부조직 손상 정도와 방사선학적 골절형태를 결정하였다. 수술 후 결과는 골유합, 최종 추시시 족관절 운동범위, 금속고정물 파손유무, 지연유합, 불유합, 부정유합, 하지부동, 감염, 만성골수염, 연부조직 시술형태와 시기, 골이식 시기, 치료방법 변경 등으로 세분화한 뒤 각각을 분석하였다.

수술의 적용범위는 슬관절과 족관절에서 5cm이상 떨어진 간부 골절이었는데 그 적용증은 기본적으로 골 및 연부조직 손상정도를 고려한 Gustilo & Anderson의 개방성 골절 분류 방법을 따랐고, 그 외에 전신상태, 동반손상, 골절부위 · 양상 그리고 피부의 오염정도를 감안하여 정하였다. 사용한 기구는 ZMS® (Zimmer, Indiana, USA)가 10례, AO nail® (Synthes, Pennsylvania, USA)이 15례, Targon® (Aesculap, Indiana, USA)이 15례, Russel-Taylor nail® (Richards, Tennessee, USA)이 10례였다.

치료는 전신상태를 점검한 후 응급수술을 하는 것을 원칙으로 하였고 철저한 소독 후 수술적 drap을 하고 5,000-10,000cc의 생리식염수 등으로 철저히 세척 후 마지막에 항생제가 함유된 식염수 2,000cc로 깨끗이 씻고 체계적이고 확실한 변연절제를 해야 하는데 이때 상처는 충분히 크게 개방하여 이물질들을 철저히 제거하였고 인접관절의 개방여부도 확인하였다.

술전에 미리 templating을 하여 사용할 금속정의 길이와 직경을 예측한 뒤 수술은 슬개골건을 정중 절개하여 C-arm영상 증폭기로 보면서 근위 경골 관절면의 바로 원위부로 금속정을 삽입하였다. 슬기에서는 금속정이 골절부위를 지나기전 정확한 해부학적 정복을 이루는 것이 중요하고 금속정 삽입이 끝나면 나사못 고정전에 골절부의 신연 유무를 확인하고 신연 되었으면 감입시켜 간격이 3mm 이내에 들도록 하였다. 하지만 분쇄가 심한 골절에서는 감입을 시키는

과정에서 부정정열이나 단축이 야기되는 것에 특히 주의하였다. 술후에는 하지거상을 시켜 부종을 방지했고, 수술 당일 날부터 대퇴사두근 강화운동과 하지 거상 운동을 시작했고 부분 체중부하시작은 통증 소실 시부터 시작하여 방사선 사진상 골간교가 보이면 전체체중부하를 하였다. 한편 분쇄의 정도가 심했다던지, 방사선 사진상 골수강내 직경이 금속정보다 훨씬 넓어 안정성이 결여된다고 우려된 경우에는 4-6주 정도 석고 고정후 서서히 체중부하를 허용하였다. 병동 드레싱시에는 무균적으로 치치하기 위해 힘썼고 감염조건이 보이면 배양 검사를 보내고 감수성 검사 결과에 따라 항생제를 바꾸던지 새로 시작했다. 최근에는 항생제로서 2세대 ceface를 권하고 있는데 2세대 ceface와 aminoglycosides를 초기에 투여하고 3일간 계속하며 그 후 다른 수술적 조작(창상 봉합, 관혈적 정복, 내고정, 골이식)을 할 경우에는 다시 3일간 투여하였다.

연부조직 손상은 반복적인 변연절제술과 세척술을 손상부위가 깨끗해질 때까지 시행했고, I, II형에서는 주로 일차 봉합술을, III형에서는 가능한 수상 후 10일 이내에 지연 일차 봉합술을 하고 여의치 않을 때는 부분층 식피술, 근막피판술, 회전피판술, 유리근-근피부관 이식술 등을 시행했다. 골이식은 적응증이 되면 연부조직이 치유된 후 4-6주에 조기에 시행했고 또 지연유합이나 불유합 발생시에도 2차적 골이식술을 시행하여 골유합을 촉진시켰다. 저자들은 골절유합의 판정은 전후면과 측면 방사선 사진에서 가골 형성이 보이고 골소주의 연결이 이루어졌으며 임상적으로 골절부 압통이 없고 체중부하시 통증이 없는 경우로 하였고, 지연유합은 수상 후 6개월 때에도 골유합의 진행조건이 방사선학적, 임상적으로 나타나지 않은 경우로 정의하였고, 불유합은 수상 후 12개월 때에도 골유합의 증거가 나타나지 않은 경우로 하였고, 부정유합은 내외반 변형 5도 이상, 전후방 각변형 및 회전 변형을 각각 10도 이상인 경우로 하였고 하지 단축은 건측에 비해 1cm이상의 하지부동이 있을 때로 정의하였다^{9,10}. 족관절 강직은 최종 추시시 족관절 배굴이 0도 이하인 경우로 정의하였다⁹.

결 과

연령 및 성별 분포로는 연령은 평균 31세(19세-77세)였고 남자 40례, 여자 15례였다. 20대가 활동기 연령으로 19례로 가장 많았고 남자가 여자보다 더 많았으며, 수상원인은 교통사고가 30례(55%)로 가장 많았고, 그 외 추락사고가 14례(25%), 직접외상 11례(20%)였다(Table 1). 골절부위는 근위 1/3이 6례(11%), 중위 1/3이 41례(75%), 원위 1/3이 8례(14%)로, 중위 1/3이 가장 많은 분포를 차지하였고 AO/ASIF의 장골 골 포괄적 분류법에 따라 골절양상을 분류하면 A1이 6례(11%), A2가 4례(7%), A3가 3례(5%)였고 B1이 13례(24%), B2가 8례(15%), B3가 6례(11%)였으며 C1이 5례(9%), C2가 6례(11%), C3가 4례(7%)였고(Table 1) Gustilo & Anderson의 골 및 연부조직 손상정도에 따라 분류하면 I형이 8례(15%), II형이 22례(40%), III

Table 1. Details of the patients

	IM* nailing
Male : Female	40:15
Mean age (years)	31
Cause	
Motor vehicle accident	30
Fall from height	14
Direct trauma	11
Associated injury	
Fibular fracture	28
Other fracture	15
Multisystem injury	18
Location of fracture	
Proximal 1/3	6
Middle 1/3	41
Distal 1/3	8
Type of fracture	
A1	6
A2	4
A3	3
B1	13
B2	8
B3	6
C1	5
C2	6
C3	4

*Intramedullary

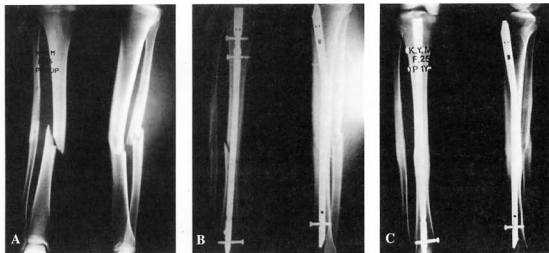


Fig 1-A. The initial roentgenograms of type IIIa open comminuted tibial mid 1/3 shaft fracture of a 25-year-old female.

B. Unreamed interlocking intramedullary nailing was done.

C. The latest follow up roentgenogram showed union of fracture.

Table 2. Types and treatment modalities of open tibial shaft fractures

	Type I	Type II	Type III A	Type III B
Number	8(15%)	22(40%)	15(27%)	10(18%)
Union time (weeks)	19.6	26.4	30.2	36.5

Table 3. Results

	IM nailing
Weeks to union (range)	28.3(15-48)
Ankle stiffness	4
Delayed union	5
Nonunion	2
Malunion	
Antecurvature	2
Recurvature	1
Varus	1
Internal rotation	1
Leg length discrepancy	3
Infection	
Superficial	6
Deep	2
Chronic osteomyelitis	1
Screw breakage	1

A형이 15례(27%) 그리고 III B형이 10례(18%)였다 (Table 2) (Fig 1). 동반손상은 동측 비골 골절이 28례(51%)로 가장 많았고, 그 외 타부위 골절이 15례(27%), 타기관손상이 18례(33%)였다(Table 1). 골유합 기간은 I형이 19.6주, II형이 26.4주, IIIA형, IIIB형이 각각 30.2주, 36.5주로 평균 28.3주였고 골유합율은

Table 4. Secondary procedure

	NO.
Soft tissue procedure	
Delayed primary suture	20
Split thickness skin graft	24
Rotational flap	17
(Gastrocnemius, Soleus)	
Free tissue transfer	3
Bone graft	13
Change of treatment	
Ilizarov resetting and	
internal transport	1
Clamp external fixator	1
Dynamization	2
Nail change	2
DCP* and cast	2
Nail or screw removal	3

*Dynamic compression plate

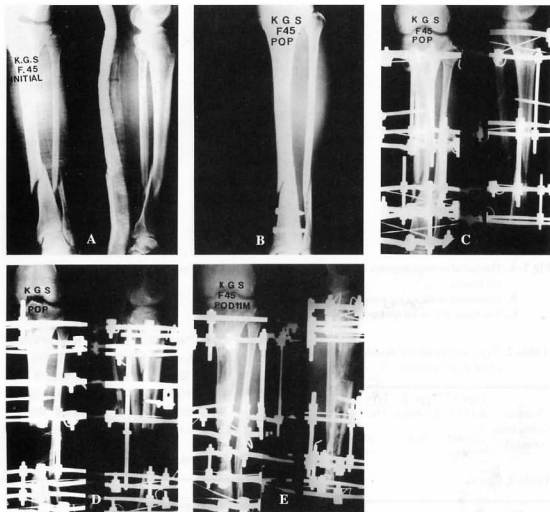


Fig. 2-A. The initial roentgenograms of type II open spiral tibia shaft fracture of a 45-year-old female.

- B. Unreamed interlocking intramedullary nailing with additional distally based sural artery flap was performed.
- C. Marginal necrosis of sural artery flap deteriorated into deep infection and chronic osteomyelitis. After the removal of nail, Ilizarov external fixation was applied.
- D. Despite saucerization and repeated irrigation and curettage, chronic osteomyelitis persisted. Sequestrectomy, corticotomy and bone lengthening were initiated.
- E. On 11 months postoperative roentgenograms, almost completed internal lengthening was obtained.

98%였다(Table 2).

지연유합 5례(9%)와 불유합 2례(4%)가 발생하여 역동화, 자가장골 해면골 이식, 압박금속판 재고정술과 골이식술 그리고 Ilizarov 외고정기구를 이용한 골

연장술 등을 하여 골유합을 이루었다(Table 3, 4). 부정유합은 전방각형성 2례(11°, 15°), 후방각형성 1례(12°), 내반각형성 1례(6°), 내회전변형 1례(10°)로 9%의 발생률을 보였다(Table 3). 감염의 경우 표제성

감염 6례(11%), 심부감염 2례(4%)가 발생하였는데 표재성 감염과 핀 삽입부 감염은 지속적인 드레싱 및 항생제 투여로 모두 치유되었고 심부 감염은 창상치치 및 항생제 투여 외에도 배농이 잘 되도록 유지하고 적절한 변연절제술과 세척을 주기적으로 시행하여 욕창조직 생성을 촉진시킨 뒤 봉합술, 피부이식술, 회전 및 유리피관술 등을 시술함을 원칙으로 하였다(Table 3). 하지길이 변화에 있어 1.2cm, 1.7cm, 1.3cm의 3례(5%)의 하지부동이 발생했으나 신발굽을 이용하여 교정이 가능했고, 기능장해를 야기하지는 않았으므로 연장술을 시행하지는 않았는데 단축은 심한 분쇄골절에서 금속정을 삽입할때 감염이 되어 발생한 것으로 생각된다(Table 3). 만성 골수염은 1례(2%)가 발생하였다(Table 3) (Fig 2). 연부조직시술은 지연연차통합이 20회, 부분층 피부이식술이 24회, 회전피관술이 17회 그리고 유리피관술이 3회 시행되었고 골이식술은 13회 시술되었다(Table 4). 나사못 파손은 1례(2%)에서만 발생하였고 족관절 각도는 0도~10도가 2례, -10도~-20도가 2례로 총 4례(7%)가 발생하였다(Table 3).

고 찰

경골은 인체에서 개방성 골절이 가장 많이 발생하는 곳이다. 심한 개방성 경골골절은 고에너지 손상에서 비롯하는 경우가 많아 대개 다른 부위의 골절 및 타장기 손상이 동반되는 경우가 많다¹⁸⁾.

II형이나 III형의 개방성 골절의 치료는 선택의 폭이 다양해질 수밖에 없는데 골수강내 금속정 고정술을 이용하는 경우 일차적 외고정술 후 이차적 골수강내 금속정 고정술을 하기도 하며, 일차적 골수강내 금속정 고정술을 하기도 한다. 외고정기구는 심한 연부조직 손상을 동반한 개방성 경골골절에서 낮은 감염율로 골절의 안정화를 이루는데는 가장 적격이지만¹⁸⁾, 정복의 소실, 지연유합, 부정유합 그리고 핀삽입부 감염 등이 많이 발생하는 것이 단점이며^{19,18)}, 이차적 확공성 골수강내 금속정 고정술은 제II 또는 III형 개방성 골절에서 감염률이 높은 것으로 보고되고 있어^{5,14)}, 전환을 routine으로 하는 것은 권장할 만한 것은 못되고, 따라서 골막의 심각한 박리가 있거

나 외고정 장치를 일차적으로 사용했던 경우는 비확공성으로 고정하는 것이 최근의 추세다^{2,13,22)}.

확공의 목적은 금속정과 골내막 표면의 접촉을 증가시켜 더 큰 안정성을 얻자는 것이나 경골 피절골은 혈액공급의 2/3가 골수강내 혈관계를 통해 이루어지므로 골수강 확공과 금속정의 삽입은 이 골수강내 혈행을 차단함으로써 이미 골외막 혈액공급이 차단된 개방성 골절의 경우 골절 치유에 장애를 초래할 뿐만 아니라, 수술시간, 출혈량을 증가시키고 골수강내 혈액순환 차단 및 연부조직 손상으로 감염 및 불유합의 가능성이 높아진다^{12,16)}. 이 점에 대해 1990년 Klein 등¹²⁾은 골수강내 금속정 삽입술을 확공과 비확공성으로 비교 실험하여 피절골 혈액순환이 각각 70%, 31% 손상이 있음을 보고했으며 1986년 Klemm과 Bömer¹³⁾은 I형 개방성 경골골절 치료에서 확공이 감염률을 6배나 증가시킨다고 보고하였다. 반면에 비확공성으로 고정 시는 골수강내 혈관계를 보존할 수 있기 때문에 3-7% 정도로 감염률이 낮아진다고 보고되고 있다^{5,21)}. 최근 들어 제2형과 3형의 개방성 경골골절에서 비확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술을 사용하여 Hass 등⁷⁾은 0%, Kettler와 Wittwer¹¹⁾은 1.3%, Duwelius 등²⁰⁾은 4%의 낮은 감염률을 보고하고 있으며 Tometta 등²⁰⁾은 제 IIIb형 개방성 경골 골절에서조차 선택적 치료 방법이 될 수 있다고 하였다. 저자들의 경우 표재성 감염 6례(11%)와 심부감염 2례(4%)가 발생하여 심부감염 1례(2%)는 만성 골수염으로 발달하였다.

부정유합은 경골골절의 가장 흔한 합병증 중의 하나로 Singer와 Kellam¹⁹⁾은 개방성 경골 간부골절의 비확공성 교합성 골수강내 금속정 고정술에서 49%의 부정유합 발생을 보고하며 특히 근위 1/3 지점에서는 발생률이 매우 높다고 하였으나 Tometta 등²⁰⁾은 부정유합이 전혀 없었다고 발표했으며 Duwelius 등²⁰⁾은 17%의 발생률을 보고했다. 저자들의 경우는 5례(9%)에서 부정유합이 발생하였다. 15°, 11° 전방각형성은 근위 1/3 골절에서 발생하였는데 두례 모두 금속정 삽입구가 관절면에서 먼 원위부에서 시작되어 골절정복이 제대로 되지 않은 경우였다. 11°인 예에서는 임상적으로 큰 불편이 없어 받아들여졌으나 15°인 예에서는 예기형 절골술후 압박금속판 및 골이식술을 하여 치료하였다. 6° 내반형이 발생한 1례는

환자가 임상적으로 불편을 호소하지 않았으나 12° 후방각형성변형은 원위 1/3골절에서 급속정 삽입시 정확한 정복을 얻지 못함으로써 발생하여 환자가 족관절통 및 빈번한 족부부종을 호소하여 고정술을 권유하였으나 환자가 거부한 예였다.

지연유합과 불유합은 가래진 손상에너지의 정도와 밀접한 관련이 있으며 Duweliuss 등²⁾은 6개월을 기 준했을 때 II형에서는 33%가 지연유합소견을 보였으나 IIIA형 또는 IIIB형에서는 67%에서 발생하여 2배이상 증가함을 보여주었다. 또 Henley 등⁸⁾은 비화공성 급속정의 생역학적 분석에서 피질골간 접촉이 축성, 회전, 전이 움직임을 감소시킴으로써 골유합에 깊게 관여한다고 하였고 Duweliuss 등²⁾은 골절부에서의 간격을 2mm이하로 압박시 그렇지 않은 경우와 비교해서 지연유합은 18%대 25%, 불유합은 4%대 25%로 큰 차이가 난다고 하였다. 저자들도 급속정 삽입 후 C-arm 영상 증폭기로 반드시 골절부 신연유무를 확인하여 간격이 3mm이내에 들도록 하였다. 지연유합은 5례(9%) 그리고 불유합은 2례(4%)에서 발생하여 지연유합중 2례는 역동화를 시킴으로써 각각 2.7개월과 3.1개월에 유합을 얻었고, 1례는 6개월째 화공성 급속정으로 바꾸었으나 정복에 실패하여 정열이 어긋났고, 계속 유합소견을 보이지 않아 3개월뒤 다시 clamp 외고정기구와 골이식술을 하여 4개월에 유합을 얻었다. 다른 2례는 화공성 급속정으로의 교환 그리고 골이식술로써 유합을 얻었다. 불유합 2례중 1례는 만성골수염과 연관되어 발생하였는데 이는 급속정제거와 골원질제거술 Ilizarov 외고정기구를 이용한 골연장술을 함으로써 유합을 얻었고, 다른 1례는 급속정을 제거하고 가관절을 이루고 있던 섬유조직을 제거한 후 압박급속판과 골이식술을 이용하여 유합을 얻었다.

Tometta 등²⁰⁾이나 Shepherd 등¹⁸⁾은 개방성 골절치유에 있어 생물학적 치유환경 조성을 중요시하였고 따라서 연부조직 재건의 시기와 골절의 안정화가 매우 중요한데 Fischer 등³⁾은 11명의 IIIB형 개방성 경골골절에서 2주내에 조기재건을 함으로써 오직 2명에서만 심부감염이 있는 반면, 그 이후에 시행한 경우는 13명중 9명에서 심부감염이 있었다며 조기재건이 감염을 감소시킬 뿐 아니라 빠른 혈류공급을 증가시킴으로써 골유합시간을 단축한다 하였다. 저자들

도 수상초기에 병동 또는 수술실에서 집중적이고 반복적인 변연절제술 및 세척술을 하여 욕아조직 생성을 도왔고 창상부위가 안정화되면 이차 연부조직 시술을 시행했다.

비화공성 교합성 골수강내 급속정 고정술로 치료 받은 개방성 경골 골절에서 골이식술의 시기나 역할은 아직 분명치 않다. 그러나 Singer와 Kellam¹⁹⁾은 골소실, 복잡골절, 종적 불안정골절 등이 있으며 지연유합이 예측될 때는 4-6주에 조기 골이식하는 것이 골유합에 유리하다 하였고 Tometta 등²⁰⁾은 매우 심하게 분쇄되거나 골소실이 있는 경우 4-10주에 예방적 조기 골이식을 함이 좋다하였다. 저자들의 경우 적응증이 되면 연부조직이 치유된 후 4-6주에 조기 골이식을 시행하였고 또 지연유합이나 불유합 발생시도 이차적 골이식술을 시행하여 골유합을 촉진시켰는데 자가골 이식은 13례에서 시술되었다.

급속정이나 나사못의 파손에 대해 Singer와 Kellam¹⁹⁾은 41%의 나사못 파손을 보고하면서 이로 인한 정열의 변화는 없었다고 했고, Greibauer 등⁴⁾은 14%의 나사못 파손이 발생했으나 이로 인한 골절의 불안정성은 초래되지 않았다고 했다. 저자들의 경우는 급속정의 파손은 발생되지 않았고, 나사못 파손은 1례(2%)에서 발생했지만 유합 진행중이었었고 정열의 변화나 불안정성을 야기하지는 않았다.

관절운동장애의 일반적인 발생원인으로는 골절시 골절부에서 가까운 관절 주위 근육 또는 건의 손상이 심할 가능성이 크다는 것과 허혈성 구축, 관절면 부조화 등이며 때로는 관절운동을 열심히 하지 않아 관절구축이 올 수도 있다. 저자들의 경우 족관절 강직은 4례(7%)에서 발생하였다.

결론

비화공성 교합성 골수강내 급속정 고정술은 화공을 하지 않음으로써 수술시간이 단축되고 기술적으로 용이하며 골수강내 혈액순환에 적은 손상을 줌으로써 감염율과 불유합 등의 합병증을 줄일 수도 있어 중등도 또는 고에너지 손상에 의한 개방성 경골 간부에서 좋은 치료방법으로 사료된다.

REFERENCES

1. Court-Brown CM, McQueen MM and Christie J : Primary reamed intramedullary nailing in the treatment of type IIIa and IIIb open tibial fractures. *Orthop Trans*, 16:661, 1992.
2. Duwelius PJ, Schmidt AH and Green Jm : Nonreamed interlocked intramedullary tibial nailing. *Clin Orthop*, 315:104-113, 1995.
3. Fischer MD, Gustilo RB and Varecka TF : The timing of flap coverage, bonegrafting, and intramedullary nailing in patients who have a fracture of the tibial shaft with extensive soft-tissue injury. *J Bone Joint Surg*, 73-A:1316-1322, 1991.
4. Greibauer M, Heinz T, Gaebler C, Stoik W and Vecsei V : Unreamed nailing of tibial fractures with the solid tibial nail. *Clin Orthop*, 350:105-114, 1998.
5. Gustilo RB, Merkow RL and Templeman D : Current concepts review: The management of open fractures. *J Bone Joint Surg*, 72-A:299-304, 1990.
6. Harvey FJ, Hodgkinson AHT and Harvey PM : Intramedullary nailing in the treatment of open fractures of the tibia and fibula. *J Bone Joint Surg*, 57A:909-915, 1975.
7. Hass N, Krettek C and Tschere H : A new solid unreamed tibial nailing. *Injury*, 24:49-54, 1993.
8. Henley MB, Meier M and Tencer AF : Influences of some design parameters on, the biomechanics of the unreamed tibial intramedullary nail. *J Orthop Trauma*, 7: 311-319, 1993.
9. Holbrook JL, Swiontkowski MF and Sanders R : Treatment of open fractures of the tibial shaft: Ender nailing versus external fixation. A randomized, prospective comparison. *J Bone Joint Surg*, 71-A:1231-1238, 1989.
10. Hutson JJ, Zych GA and Cole JD : Mechanical failures of intramedullary tibial nails applied without reaming. *Clin Orthop*, 315:129-137, 1995.
11. Kettler R and Wittwer : Infection after reamed intramedullary nailing of lower limb fracture. A review of 1464 cases over 15 years. *Acta Orthop Scand (Denmark)*, 65(1):94-96, 1994.
12. Klein MPM, Rahn BA, Frigg R, Kessler S and Perren SM : Reaming versus non-reaming in medullary nailing : Interference with cortical circulation of the canine tibia. *Arch Orthop and Traumat Surg*, 316:103-314, 1990.
13. Klemm KW and B rner M : Interlocking nailing of complex fractures of the femur and tibia. *Clin Orthop*, 212:89-100, 1986.
14. McGraw JM and Lim EVA : Treatment of open tibial shaft fractures. External fixation and secondary intramedullary nailing. *J Bone Joint Surg*, 70-A:900-911, 1988.
15. Mueller ME, Nazarian S, Koch P and Schatzker J : The comprehensive classification of fractures of long bones. *Springer-Verlag, Berlin*, 158-167, 1990.
16. Rhinelander FW : Tibial blood supply in relation to fracture healing. *Clin Orthop*, 105:34-81, 1974.
17. Riemer BL and Butterfield SL : Comparison of reamed and nonreamed solid core nailing of the tibial diaphysis after external fixation-Apreliminary report. *J Orthop Trauma*, 7:279-285, 1993.
18. Shepherd LE, Costigan WM, Gardocki RJ, Ghiassi AD, Patzakis MJ and Stevanovic MV : Local or free muscle flaps and unreamed interlocked nails for open tibial fractures. *Clin Orthop*, 350:90-96, 1998.
19. Singer RW and Kellam JF : Open tibial diaphyseal fracture. Results of unreamed locked intramedullary nailing. *Clin Orthop*, 315:114-118, 1995.
20. Tornetta III P, Bergman M, Watnik N, Berkowitz G and Steuer J : Treatment of grade IIIB open tibial fractures: A prospective randomized comparison of external fixation and non-reamed locked nailing. *J Bone Joint Surg*, 75-B:13-19, 1993.
21. Velazco A, Whitesides TE and Fleming LL : Open fracture of tibia treated with the Lottes nail. *J Bone Joint Surg*, 65-A:879-885, 1983.
22. Whittle AP, Russel TA, Taylor JC and Lavelle DG : Treatment of open fractures of the tibial shaft with the use of interlocking nailing without reaming.

J Bone Joint Surg, 74-A:1162-1171, 1992.

23. Whittle AP, Wester W and Russell TA : Fatigue

failure in small diameter nails. *Clin Orthop*, 315:119-128, 1995.