

단외고정장치를 이용한 개방성 경골골절의 치료

고려대학교 의과대학부속 안산병원 정형외과학교실

이순혁 · 서승우 · 변영수 · 정윤성

— Abstract —

External monofixator in open tibia fractures

Soon-Hyuck Lee, Seung-Woo Suh, Young-Soo Byun, Yoon-Sung Chung*

Department of Orthopaedic Surgery, Ansan Hospital, Korea University

Tibia fracture is often accompanied by soft tissue injury. There is controversy about the treatment of open tibia fractures, but the external fixator is most widely used as a initial treatment. Especially in open tibia fractures treated by external fixator, early secondary conversion to internal fixation device are suggested by some authors, but without risks of complication. In contrast others suggest that bone union problems are not due to external fixator itself and different types of bone union are observed according to the stability of fracture site.

The purpose of this study is to assess the clinical results with its affecting factors and to observe the morphological pattern of union in tibial open fractures treated by external fixator without significant soft tissue problems.

Authors analyzed 16 cases with tibial open fracture managed by external fixator in Ansan hospital, College of medicine, Korea University from May, 1988 to Sept., 1993 with follow-up period more than 11 months.

1. The tibial open fractures are mainly occurred in young active age group(20-50 yrs).
2. The union rate in accurate reduction and stable fixation cases was 90%, in contrast non-union rate in unstable fixation was 50%, and these non-union cases were managed by additional procedure(intramedullary nailing or autogenous bone graft).
3. In stable fixation, mode of fracture healing was mainly primary osteonal bone healing mechanism.
4. External fixator could be used in open tibial fracture with accurate reduction and stable fixation not as a temporary fixation but as a treatment modality.

Key Words : Tibial open fracture, External monofixator

※ 통신저자 : 이 순 혁
경기도 안산시 고잔동 516번지
고대 안산병원 정형외과학교실

서 론

경골의 개방성 골절은 대부분 강한 힘에 의해 발생하며 연부조직의 손상이 심하여 감염율이 높고 유합기간이 길어지며 불유합의 가능성도 많은 것으로 보고되고 있다. 개방성 골절시 일차적으로는 연부조직 손상에 대한 치료가 우선되어야 하며 골절 치유에 대해서는 많은 이론이 제기되고 있는데 이중 외고정장치는 비교적 사용이 간편하고 연부조직에 대한 처치가 용이하여 많이 사용되고 있다. 그러나 핀 삽입부의 감염 및 해리와 같은 외고정장치 자체의 문제점과 이로 인한 지연유합, 불유합 등의 문제점때문에 초기에 골수강내 급속정 삽입술로 전환해야 한다는 보고가 있는 반면 Chao등³⁾은 외고정 장치후 발생하는 골유합의 문제는 외고정 장치 자체에 의한 것이 아니며 정복의 안정성에 따라서는 여러 형태의 골유합이 나타날 수 있다고 했다. 이에 저자들은 고려대학교 의과대학 안산병원 정형외과학교실에서 치료했던 개방성 경골 골절 환자 중 비교적 간단히 연부조직 손상이 해결된 경우에서도 외고정 장치만으로 골절처치를 했을 때의 치료결과와 골절유합의 형태를 분석하여 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

연구대상 및 방법

1. 연령 및 성별

고려대학교 의과대학 안산병원에서 1988년 5월부터 1993년 9월까지 치료한 개방성 경골 골절 16명의 환자중 14명이 남자 환자였으며 이중 12명이 활동량이 많은 20-50세사이에서 발생하였으며 10세 이하의 경우도 남녀 각 1례씩 있었다. (Table. 1)

Table 1. Age & Sex distribution

age(sex)	male	female	total
- 10	1	1	2
11 - 20	0	1	1
21 - 30	4	0	4
31 - 40	5	0	5
41 - 50	3	0	3
51 -	1	0	1
total	14	2	16

2. 동반손상

동측의 대퇴골 간부골절 1례, 슬개골 골절 2례, 슬관절 인대손상 1례였으며 두부, 복부 손상이 각 1례씩, 골반골 골절이 2례에서 발생하였다.

3. 골절의 분류

Gustillo-Anderson의 분류법¹⁾을 따라 II형이 6례(37.5%), III형이 9례(56.2%)로 분류되었다.

4. 연부조직의 처치

변연술과 지연봉합 9례, 피부이식 6례, 회전피판술 1례 시행되어 골수염등의 합병증 없이 연부조직의 손상이 치유되었다.

5. 치료방법 및 치료결과의 판정

16명 전례의 환자들에 대해 일차적으로 골절에 대해서 외고정장치를 이용한 고정을 시행하였으며, 정확한 정복과 골절면의 피질골 접촉이 2/3이상이며 각 골편당 3개이상의 핀으로 고정 한 경우를 안정된 고정으로 판정했다.

6. 골절 유합의 형태

Chao등³⁾의 분류에 따라 비골성 골절 유합, 일차성, 이차성 골성 유합으로 나누어 판정했다.

결 과

1. 개방성 골절의 유형과 유합율과의 관계

총 16례의 환자중 4례(25%)에서 불유합의 소견을 보였으며 이중 3례(75%)가 개방성 골절 III형에서 발생하였다. (Table. 2)

Table 2. Rate of union according to type of open fracture

type	healed	non-union	total
I	1	0	1
II	5	1	6
III	6	3	9
total	12	4	16

2. 정복의 안정성

안정된 고정을 이룬 경우는 총 16례중 10례 (62.5%)였고 6례 (37.5%)에서 불안정한 고정을 보였고 안정된 고정을 이룬 10례중 1경우에서만 불유합의 소견을 보인 반면 불안정한 고정을 보인 6례중 3례 (50%)에서 불유합을 나타냈다. 이에 따른 골유합의 기간도 차이를 보인 바 안정된 고정외의 경우 평균 7.2개월을 보인 반면 불안정한 고정의 경우 9.3개월이었다.

3. 골절 치유 양상

안정된 고정을 이룬 10례중 6례에서 일차적인 골절 치유 양상을 보인 반면 불안정한 고정이 된 6례중 1례에서 일차성 골성 유합 양상을 보이고 2례에서는 이차성 골성 유합 양상을 보였고 3례는 불유합의 소견을 보여 주었다. 일차성 골성 유합시 평균 8.2개월의 골유합기간이 소요되었으나 이차성 골성 유합시는 7.2개월의 시간이 걸렸다. (Table. 3) 그러나 유합이 이루어진 뒤에는 골절의 예후와 골절의 치유 양상과는 연관성이 없었다.

Table 3. Patterns of healing according to stability of fracture

	*P.O.B.H	**S.O.B.H	non-union	total
stable	6	3	1	10
unstable	1	2	3	6
total	7	5	4	16

*P.O.B.H : primary osteonal bone healing

**S.O.B.H : Secondary osteonal bone healing

4. 부가적 치료

불유합이 발생한 4례에 대해 해면골 이식술 2례, 골수강 금속정 삽입술 2례를 시행하였고 이들은 모두 양호한 골유합을 얻었다.

5. 합병증

외고정장치를 한 거의 전례에서 핀 주위의 염증 소견은 있었지만 핀의 해리나 제거를 요할 정도의 심부감염의 소견은 한례도 발견되지 않았고 전례에서 외고정장치 제거 후 해결된 경우들이었으며 4례에서 불유합의 소견이 보였고 2례에서 족관절과 슬관절의 운동장애를 호소하였다.

증례 예시

증례 1.

22세 여자 환자로 II형의 개방성 골절과 나비형 골편의 분쇄골절 소견을 보였다. 이 환자의 경우 후방 십자 인대의 건열골절 소견을 동반하였다. 외고정 장치후 안정된 고정을 얻었으며 술후 4개월만에 일차적인 골절 치유 양상에 의한 골유합을 얻었다. (Fig. 1)

증례 2.

32세 남자 환자로 III형의 개방성 골절과 경골 외측과 골절을 보였으며 외고정 3개월추시 사진상 골절부 분쇄소견과 골편 사이의 2mm이상의 간격이 보이며 원위 골편에 대해 2개의 핀으로 고정하여 불안정한 고정 소견을 보여 주고 있으나 술후 1년에 이차적 골절 치유 양상에 의한 골유합을 얻었다. (Fig. 2)

증례 3.

34세 남자 환자로 III형의 개방성 골절 소견을 보이고 족관절 외측과 골절을 동반하고 있다. 수술 후 골절편의 심한 분쇄와 골 결손 소견으로 불안정한 고정상태를 보이고 술후 6개월 사진에서 불유합의 소견을 보이고 있어 외고정물 제거후 금속정 삽입을 시행하고 2개월 후 골유합의 진행소견을 보이고 있다. (Fig. 2)

고 찰

최근 급증하는 교통사고와 산업재해로 활동력이 왕성한 젊은 성인에게 경골 골절의 빈도가 부쩍 증가하고 있으며 경골의 해부학적 구조상 전내측부가 얇은 피하층으로만 구성되어 있어 개방성 골절의 가능성이 다른 부위의 골절에 비해 더 높은 편이다. 개방성 골절에 대해서는 일반적으로 Gustilo & Anderson의 분류법¹¹⁾이 사용되고 있으며 그에 따라 치료법도 다양하게 적용되고 있으나 원칙적으로 골절의 치료보다는 연부조직의 손상에 대한 처치가 우선되어야 한다.

골절에 대한 수술의 경우 그 목적을 골절편의 해부학적 재정렬과 안정성의 확보, 개방된 연부조직

- Fig. 1-A.** 22세 여자 II형의 개방성 골절 환자로 나비형 분쇄골절의 소견을 보인다.
- B.** 수술 후 1개월 방사선 소견으로 외고정 장치에 의해 정확한 정복과 안정된 고정을 얻었으며 나비형 분쇄골절에 대해서는 나사못 고정을 시행했다.
- C.** 수술 후 4개월 사진으로 일차성 골성 유합을 얻었으며 외반 및 전방 각변형의 소견을 보이고 있다.

Fig. 2-A. 32세 남자 III형의 개방성 골절 환자의 방사선 소견이다.

B. 외고정 3개월 후 사진으로 골절 부위는 비교적 해부학적 정복을 이루었고 3개의 K-강선을 이용하여 안정된 고정을 이루려 했으나 원위 골편에 2개의 편으로 고정되어 불안정한 소견을 보인다.

C. 술후 1년 사진으로 이차적 골성 골유합을 얻었다.

Fig. 3-A. 34세 남자 III형의 개방성 골절 환자의 방사선 소견이다.

B. 수술 후 사진으로 골절편의 분쇄와 골결손으로 불안정한 고정을 보이고 있다.

C. 외고정후 6개월에 불유합소견을 보여 외고정장치를 제거한 후의 방사선 소견이다. 이후 골수강 내 금속정 삽입술을 시행했다.

D. 금속정 삽입 2개월후의 사진으로 골유합소견을 보이고 있다.

손상에 대한 복구로 하며, 그 방법으로 금속판을 이용한 정복 및 내고정시 병변의 접근과 작은 골편에 대한 조작시 이차적인 골막의 손상을 초래하여 절편의 괴사, 지연유합, 감염등의 문제점이 있어 II형 이상의 개방성 골절시 이는 금기시 되고 있다. 또 심한 연부조직 손상을 동반한 개방성 골절일 때 일차적인 골수강내 금속성 삽입술은 술상상 골수강내 혈행에 지장을 주며 기존의 손상된 연부조직의 손상에 따른 골막의 혈행 장애로 높은 감염율을 보인다. 이에 반해 Karlstrom과 Olerud등¹²⁾은 금속외고정을 이용하면 비교적 쉽게 골절의 정복을 유지하면서 동시에 연부조직 및 기타 동반 손상의 처치가 용이하고 합병증의 발생도 줄일수 있다고 보고하였으며 Olerud¹³⁾는 금속외고정법의 사용으로 견고하게 고정상태를 유지하면서 연부조직의 손상도 쉽게 처치하고 조기 관절 운동이 가능하여 관절강직의 예방에도 큰 도움이 된다고 하였다. 이러한 외고정의 안정성은 골편내에 핀사이의 간격이 넓을수록, 많은 핀을 사용할수록, 핀의 직경이 크고 길이가 짧을수록, 핀의 배열이 90을 이룰수록 half pin보다는 transfixation을 사용할수록 thread pin을 사용할수록 연결봉을 많이 사용하며 골과의 간격이 작을 때 더 증가된다고 한다. 그러나 견고한 고정이 골절면의 미세운동을 저해하여 가골 형성을 저해한다는 주장¹⁴⁾이 있는 반면 혈관의 재생과 연부조직의 재생에는 견고한 고정이 이루어져야 한다¹⁵⁾는 보고도 있다.

이러한 외고정 장치는 1907년 Lambotte, 1987년 Parkhill에 의해 처음 제안된 이후 많은 발전이 있어 왔으며 Behrens⁶⁾의 분류에 따르면 핀고정식과 원형 고정식으로 나누고 핀고정식을 단순형과 조임쇠형으로 세분했다. 단순형 핀고정에는 Roger Anderson system, the Wagner apparatus, Orthofix fixator, AO/ASIF fixator등이 있으며 AO/ASIF fixator에는 일면외측, 이면외측, 삼각형장치등이 있다. 최근에 많이 사용되고 있는 Orhtofix fixator는 설치가 쉬워 수술시간을 줄일 수 있고 고정 후에도 압박이나 신연이 가능한 장점을 가지고 있다. 조임쇠형 핀고정에는 The Hoffmann system, Triple flame, Chalet flame, Carbon fiber fixator등이 있으며 핀의 방향이나 삽입정도는 조임쇠에 의해 조정되며 설치 후 재정복을 위해 조작이 가능하지만 이는 연결을 해리시킨 뒤 가능한

단점이 있고 점진적인 교정이 불가능하며 일단 연결의 해리가 있고 나면 정복을 소실할 위험성을 동반한다. 원형 고정식은 The Ilizarov frame, The Monticelli Spinelli fixator, The Ace-Fischer fixator등이 있고 이들은 압박이나 신연이 가능하고 점진적이면서 정확한 교정이 가능하지만 설치가 까다롭고 설치후 연부조직에 대한 조작이 불편하고 핀을 따라 골편이 미끄러지는 단점을 보이고 있다.

이들 외고정장치중 단외고정장치는 단면 외고정장치보다 고정의 견고성은 50%가량 떨어지면 골다공현상도 더 심한 반면¹⁶⁾ transfixing핀을 사용하지 않고 피하층과 연결한 부위에 half핀을 삽입함으로써 감염의 확률을 줄일 수 있고 설치가 간단하여 수술시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

그러나 외고정장치에 의한 치료시 핀주위의 감염과 해리로 인한 고정력의 약화, 부정유합, 지연유합, 불유합등의 문제와 관절운동제한등의 문제점이 많이 제기되고 있다. 특히 핀주위의 감염은 가장 흔하면서도 위험한 합병증으로 I형은 장액성 분비, II형은 표피성 봉와직염, III형은 심부감염, IV형은 골수염으로 세분되고, 근육 부위를 포함시키지 않고 골과 피하층으로 되어 있는 경골의 전내측에 삽입하고 관통 핀의 경우 직경이 작은 것을 사용하며 핀삽입부의 마멸을 막기 위해 피부절개를 가하고 삽입시 열에 의한 괴사를 줄이기 위해 기계에 의하지 않고 수동 삽입술등의 방법을 통해 감염의 가능성을 줄일 수 있다고 한다. 저자들의 경우 전례에서 I, II형의 소견은 보였지만 이 때문에 핀을 제거할 필요는 없었으며 제거후 쉽게 치료되었다.

핀 해리는 외고정 장치를 장기간 착용시 피할 수 없는 문제점으로 가장 큰 원인은 골과 핀 접촉면의 failure때문으로 half pin의 삽입할 때 small threaded portion은 far cortex에만 위치하게 하고 near cortex에는 핀의 smooth portion이 박히게 하여 견고함을 두배로 늘리면서 골-핀 접촉면의 stress도 줄일 수 있어 해리를 막을 수 있다¹⁷⁾고 한다. Burny등⁷⁾은 이를 4단계로 나누어 1형은 전혀 움직임이 없는 완전한 고정, 2형은 손으로 흔들어도 볼 때 골과 핀사이의 접촉은 느껴지나 미세한 움직임이 보이는 경우, 3형은 심한 움직임을 보여 임상적으로 해리를 의심할 경우, 4형은 손으로 핀을 제거할 수 있을 정도로 분류했으며 저자들의 경우 외

고정 장치중에 3형이상의 심한 해리를 보이거나 핀의 재삽입을 할 정도는 아니었으나 외고정을 제거할 때에 한두 개의 핀에서 3형이상의 해리는 거의 전례에서 보였지만 외고정 자체의 안정성을 의심할 정도의 해리는 한례도 발견할 수 없었다.

또다른 흔한 합병증으로 부정유합이 있으며 이는 5° 이상의 각변형, 10° 이상의 회전형, 1cm 이상의 하지부동 소견이 있을 경우를 의미하며 정도가 심할 때는 기능상의 장애도 초래할 수 있으며 최근의 연구에서는 특히 내반 혹은 외반의 각형성이 자주 보고되고 있다. 외고정장치는 초기에 관절운동을 시킬 수 있어 관절운동장애를 줄일 수 있는 장점이 있다. 반면에 골절시 골절부위 가까운 관절 주위의 근육 혹은 건의 손상이 심할 가능성이 크며 허혈성 구축과 관절면의 부조화등의 골절 자체로 인한 문제점과 관절면 인접의 골절 때문에 인접관절을 포함시키는 외고정으로 인한 이유로 관절 운동의 장애가 잦은 합병증으로 보고되는 바이다²⁾.

이번 연구에서는 부정유합은 없었으며 2례에서 슬관절 및 족관절의 운동장애를 호소하였다.

또한 Edwards⁹⁾와 유등¹⁾은 심한 불안정성골절에서는 외고정장치만으로는 양호한 골유합을 얻기 어렵다고 하였다.

그래서 많은 저자들은 외고정에 의한 합병증이 발생하기 전에 혹은 연부조직의 치치가 이루어지는대로 골유합을 위한 이차적인 조작이 필요하다고 하였으며 방법으로는 동종 해면골이식, 금속판을 이용한 내고정, 골수강내 금속정 삽입술등이 있다. 그러나 골괴사, 골 위축, 10%까지 보고되는 재골절등의 문제점을 보이는 금속판에 의한 내고정보다는 손상받은 연부조직에 대한 조작을 줄이면서 견고한 고정이 가능한 골수강내 금속정 삽입술이 선호되고 있다.

외고정의 제거시기에 대해서 많은 이론이 제기되고 있어 Rommens등¹⁵⁾은 수상후 8-12주에 시행하는 것이 좋다고 보고하였고 McGrowd와 Lim등¹³⁾도 수상후 12주, Maurer등¹⁴⁾은 8주후를 권장한 반면 Blachut등⁶⁾은 심한 감염이 아니라면 수상후 17일경에 시행하는 것도 좋은 결과를 얻었다고 하였다. 외고정의 제거와 금속정 삽입 사이의 기간에 대해서도 많은 견해들이 있는데 Maurer등¹⁴⁾은 동물실험을 통해 3주가 적당하다고 하였으며 Puno등¹⁸⁾은 5-17일간의 예방적 항생제요법을 주장한 반면

McGrow와 Lim등¹³⁾은 심부감염과 이 기간사이의 관련성은 없다고 하였다. 그러나 Maurer등¹⁴⁾은 가장 중요한 점으로 감염에 대한 전징여부를 지적하였고 Siebenrock등¹⁶⁾의 주장처럼 감염의 소견만 없다면 외고정의 제거와 금속정의 삽입을 동시에 시행해도 무방할 것으로 생각된다.

그러나 Chao와 Aro등³⁾은 외고정장치시 핀의 직경과 수, 간격을 늘리고 다른 방향에서 핀을 삽입하고 side bar를 가깝게 설치하고 근위 및 원위부 핀사이의 간격을 넓게 잡으면 강직도를 높일 수 있어 이 조건들을 잘 사용하면 골수강내 금속정 삽입술이나 금속판 고정때보다 2배의 강한 고정을 얻을 수 있다고 하였다. 따라서 견고한 골고정후에는 해리나 이로 인한 지연유합, 불유합의 가능성도 많이 감소한다고 하였다.

Chao등³⁾은 골절 치유 양상은 정복의 정확도, 골절의 유형, 물리적 하중의 양, 핀과 골과의 접촉면에 따라 달라지는데 골막이나 골내부에 가골 형성 없이 골조직의 이동으로 골절 치유가 되는 일차성 골성 골절치유, 초기에 골절 주변부에 가골형성이 이루어지고 난 후 골조직의 이동으로 골유합이 일어나는 이차성 골성 골절 치유, 다량의 가골 형성은 되나 골조직의 이동이 이루어지지 않아 가골의 성숙만으로 유합되는 비골성 골절 유합이 있다. Aro등³⁾은 일차성 골성 골절 유합의 경우 strength를 얻을 때까지 좀 더 오랜 기간 외고정을 유지해야 하므로 외고정장치하에서는 골조직의 이동과 골막의 가골형성이 동반되는 이차성 골성 골유합 형태가 골유합의 mechanical recovery에 적당하다고 보고하였고 이를 위해 정확한 정복과 안정된 고정을 이루는 것이 용이하다고 하였다. 저자들의 결과는 정확한 정복과 안정된 고정을 이룬 10례중 6례에서 일차성 골성 골절 유합 소견을 보인 반면 반대의 경우 3례에서 불유합 소견을 보이고 2례에서는 이차성 골성 골절 유합 소견을 나타냈으며 유합 후에는 예후와 큰 관련이 없었다.

결 론

1. 개방성 경골 골절시 치료는 연부조직의 치치를 우선으로 하고 외고정시 안정되고 정확한 정복이 이루어지고 견고하게 유지될수만 있다면 외고정장치만

으로도 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

2. 안정되고 정확한 정복이 이루어진 경우라면 일차성 골성 유합소견을 보여 주었으며 유합이 되고 난 후에는 유합양상과 골절부의 예후와는 관련성을 없었다.

REFERENCE

- 1) 유창무, 안택근, 김종오, 김택선, 심재익 : 개방성 경골 골절의 일면일측과 일면양측 외고정 치료간의 임상적 비교. *대한정형외과학회지*; 25:1050-1056, 1990
- 2) 유종일, 김휘택, 박원옥 : 외고정 장치를 이용한 제 3형 개방성 경골 골절 치료에 대한 임상적 고찰. *대한정형외과학회지*; 26:1667-1676, 1991
- 3) Aro H.T., Chao E.Y.S. : Biomechanics and biology of fracture repair under external fixation. *Hand clinics* ; 9:531-542, 1993
- 4) Behrens F. : A primer of fixator devices and configurations. *Clin. Orthop* ; 241:5-14, 1989
- 5) Behrens F. : General theory and principles of external fixation. *Clin. Orthop* ; 241:15-23, 1989
- 6) Blachut P.A., Meek R.N. and O'Brien P.T. : External fixation and delayed intramedullary nailing of open fracture of the tibial shaft *J.Bone and Joint Surg* ; 72-A:729-735, 1990
- 7) Burny F., Domb M., Donkerwolcke M. and Andrianne Y. : Maximum torque at the time of retrieval. *Orthopaedics* ; 7:627-628, 1984
- 8) Chao E.Y.S., Aro H.T., Lewallen D.G. and Kelly P.J. : The effect of rigidity on fracture healing in external fixation. *Clin. Orthop* ; 241:24-35, 1989
- 9) Edwards C.C. : Staged reconstruction of complex open tibial fractures using Hoffmann external fixation. Clinical decisions and dilemmas. *Clin. Orthop* ; 178:130-161, 1983
- 10) Green S.A. : Complications of external skeletal fixation. *Clin. Orthop* ; 180:109-116, 1983
- 11) Gustilo R.B., Merkow R.L. and Templeman D. : Current concepts review The management of open fracture. *J. Bone and Joint Surg* ; 72A:299-304, 1990
- 12) Karlstrom G. and Olerud S. : External fixation of severe open tibial fractures with the Hoffmann frame. *Clin. Orthop* ; 180:68-77, 1983
- 13) McGrow J.M. and Lim E.V.A. : Treatment of open tibial shaft fractures. *J. Bone and Surg* ; 70-A:895-902
- 14) Maunder D.J., Merkow R.L. and Gustilo R.B. : Infection after intramedullary nailing of severe open tibial fractures initially treated with external fixation. *J. Bone and Joint Surg* ; 71-A:830-837, 1989
- 15) Rommens P., Gielen J., Broos P. and Gruwez J. : Intrinsic problems with the external fixation device of Hoffman-Vidal-Adrey: A clinical evaluation of 117 patients with complex tibial shaft fracture. *J. Trauma* ; 29:630-638, 1988
- 16) Siebenrock K.A., Shillig B.G. and Jakob R.P. : Treatment of complex tibial shaft fractures. *Clin. Orthop* ; 290:269-274, 1993
- 17) Olerud S. : Treatment of fractures by the Vidal-Adrey method. *Acta. Orthop. Scand* ; 44:516-531, 1973
- 18) Puno R.M., Teynor J.T., Nagano J. and Gustilo R.B. : Critical analysis of results of treatment of 201 tibial shaft fractures. *Clin. Orthop* ; 212:109-117, 1986
- 19) Rhinelander F.W., Phillips R.S. and Steel W.M. : Microangiography in bone healing. *J.Bone and Joint Surg* ; 50-A:643-662, 1968