

Ilizarov 기구를 이용한 대퇴골 감염성 불유합의 치료

국립의료원 정형외과 · 밀양 영남병원 정형외과*

조덕연 · 고은성 · 공석초*

— Abstract —

Treatment of Infected Nonunion of the Femur Using the Ilizarov Apparatus

Duck-Yun Cho, M.D., Eun-Sung Koh, M.D., Suk-Cho Kong* M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, National Medical Center
Department of Orthopaedic Surgery, Youngnam Hospital*, Miryang, Korea*

Infected nonunion is serious complication in the long bone fractures and it is sometimes resulted in significant disability.

From December 1990 to February 1994, we reviewed 11 cases who were treated for infected nonunion of the femur by using the Ilizarov apparatus at National Medical Center. Active infection was controlled by radical resection of the infected necrotic bone and soft tissue and continuous irrigation with antibiotics mixed saline for 3 weeks. After sequestrectomy, bone defect was ranged from 2.5cm to 12.5cm(average, 7.2cm) in 11 cases. Preoperative leg length discrepancy(LLD) was ranged from 2.0cm to 8.0cm(average, 3.9cm) in 7 of 11 cases. Bone defects were gradually treated by internal bone transport technique and solid bone union was achieved by internal fixation and bone graft.

The average of transportation was 8.9cm(range, 2.5-15.5cm). The average of healing index was 1.6months/cm(range, 1.0-3.6months/cm). The percentage of increment was ranged from 5% to 32%(average, 19.6%). According to Paley's classification, bony results was poor in 11 cases and functional results was good in four, fair in three, poor in four.

We concluded that the application of Ilizarov technique to infected nonunion of the femur with large bone defect was useful method but internal fixation and bone graft was necessary for nonunion of docking site.

Key Words : Femur, Infected, Nonunion, Ilizarov

* 통신저자 : 조 덕 연
서울시 중구 을지로 6가 18-79
국립의료원 정형외과

* 본 논문의 요지는 1995년 제 39차 대한정형외과학회 추계학술대회에서 구연되었음.

서 론

장관골의 감염성 불유합은 골절 치료 후에 발생하는 심각한 합병증으로, 골감염, 골결손, 하지 단축 등의 문제점을 동반하기 때문에 치료가 어렵다. 지금까지 감염성 불유합에 대한 다양한 치료 방법들이 소개되고 있는데, 최근에는 외고정 기구를 이용한 치료 방법이 많이 시도되고 있으며, 치료 결과가 좋은 것으로 보고되고 있다¹. 1951년 구소련의 Ilizarov는 Ilizarov 외고정 기구의 고안과 함께 신연 골형성술의 개념을 소개하였고, 1980년대 들어서 부터 신연 골형성술과 De Bastiani의 가골 신연술 등을 이용하여 골연장, 변형의 교정, 그리고 골절 및 그 합병증의 치료 등에 광범위하게 적용하고 있다. 이에 저자들은 대퇴골의 감염성 불유합 11례를 Ilizarov 외고정 기구로 치료한 결과 경골에 비해 각변형 및 접착부 불유합 등의 많은 어려움을 경험하였기에 임상적, 방사선적 결과를 분석하여 문헌 고찰과 함께 보고하는 바이다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

1990년 12월부터 1994년 2월까지 국립의료원 정형외과에서 Ilizarov 외고정 기구로 치료한 대퇴골 감염성 불유합 환자중 최소 1년 이상 추시가 가능하고 치료가 종결된 11례를 대상으로 하였다.

연령 분포는 17세에서 51세로 평균 35.1세였으며, 남자 10례와 여자 1례였다. 추시 기간은 평균 24.8개월이며 최단 1년 6개월에서 최장 2년 10개월이었다.

손상의 원인은 교통사고 9례, 골수염에 의한 병적 골절 1례, 그리고 기계에 의한 손상이 1례였으며, 손상시 개방성 골절 4례, 폐쇄성 골절 7례였다. 초기 치료는 내고정술 9례, 내외고정술 1례, 그리고 외고정술 1례였다.

Ilizarov 시술전 수술 받은 회수는 2회에서 11회로 평균 4.1회였으며, 수상 받고 나서 Ilizarov 시술까지 기간은 평균 18.6개월 걸렸다.

2) 연구 방법

각 례에 대하여 골 연장 길이, 연장률($PI: per-$

centage of increment = $\frac{\text{increase length}}{\text{total length of long bone}} \times 100$), 치유지수(기구 장치부터 제거까지 개월수/연장길이), 골 유합 유무 및 기간, 합병증, 그리고 술전 및 술후 술판절 운동 범위 등을 조사하였다. 결과의 관정을 위해, Paley 등²이 경골에서 적용하였던 골적 결과와 기능적 결과를 관찰하였다. 그러나 저자들의 경우 대퇴골 연장술에서는 술판절 구축이 많이 초래되기 때문에 기능적 평가 요소의 하나인 족판절 구축 대신 술판절 구축을 채택하여 각각 우수, 양호, 보통, 불량으로 나누었다.

3) 치료

술전 감염 조절을 위해 여러 차례의 소파술과 사골 제거술로 생긴 골 결손이 11례에서 평균 7.2cm (2.5-12.5cm)과 하지 단축이 11례 중 7례에서 평균 3.9cm있었다. 사골 제거술은 6례에서 Ilizarov 장착 전에, 나머지 5례(중례 1, 3, 4, 10, 11)에서 Ilizarov 장착시 시행하였다. 피질골 절골술은 대퇴골 원위부에서 10례, 대퇴골 근위부에서 1례(중례 8) 시행하였고, 3례에서 염증이 의심되어 3주간 판류 세척 후 시행하였다. 골 연장 시기는 피질골 절골술 후 7일에서 2주에 시행하였는데, 7례에서 7일부터, 3례에서 10일부터, 1례에서 2주부터 하루에 1mm를 4회 나누어 신연하였다. 골결손만 있는 4례(중례 1, 8, 9, 10)에서 골내 이동술을 하였으며, 하지 단축이 동반된 7례중 6례에서 골내 이동 후 골의 연장을 병행하였다(Table 1).

결 과

전례에서 Ilizarov 술식으로 치료하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 연장 길이는 평균 8.9cm (2.5-15.5cm)이었으며, 연장률은 평균 19.6% (5-32%)였다. 치유 지수는 평균 1.6months/cm (1.0-3.6 months/cm)이었다. Sca rogram 상 최종 하지 길이 부동이 4례(중례 5, 6, 7, 11) 남아있었다. 골유합은 11례 중 2례(중례 4, 10)에서 술 후 12개월 및 9개월에 이루어져 평균 10.5개월의 골유합 기간과 22.2%의 골유합률을 얻었다. 추시 술판절 운동 범위는 평균 55도로 술전 33도와 비교하여 약 22도의 증가를 보였다. Paley의 분류에 따른 골적 결과

Table 1. Case analysis prior to Ilizarov application

Case No	Sex / Age	Fx. type	Cause of inj.	Initial Tx. prior	No. of op. inj. to Iz. to Iz.	Interval from B.D (month)	Preop. LLD (cm)	Preop. ROM (cm)	Preop. Knee (degree)
1	M/25	O	TA	S+E/F	5	12	4.0	-	0°-40°
2	M/36	C	Pa	E/F	7	19	8.5	2.0	0°-20°
3	M/33	C	TA	P	11	56	7.0	5.0	10°-30°
4	M/17	C	TA	IM	2	13	4.0	2.0	0°-60°
5	M/49	C	TA	P	4	12	12.5	4.0	0°-10°
6	F/39	C	TA	P	4	28	7.5	2.5	0°-50°
7	M/27	O	TA	P	3	9	8.0	4.0	0°-20°
8	M/43	C	TA	P	2	15	7.5	-	0°-40°
9	M/51	C	TA	P	2	19	8.0	-	0°-10°
10	M/30	C	TA	P	2	3	2.5	-	0°-90°
11	M/33	O	Ma	E/F	3	14	10.0	8.0	0°-20°
Mean	35.1				4.1	18.6	7.2	3.9	

(No: number, Fx.: fracture, O: open, C: closed, TA: traffic accident, Pa: pathologic fracture, Ma: machinery injury Tx.: treatment, S: screw, E/F: external fixator, P: plate, IM: intramedullary nail, inj.: injury, Iz.: Ilizarov, B.D: bone defect, LLD: leg length discrepancy, ROM: range of motion)

Table 2. Results

Case	Target length (cm)	Obtained length (cm)	P.I (%)	H.I (months/cm)	2nd Bone union time (months)	Last F/U Knee ROM (degree)	Bony result	Functional result
1	4.0	4.0	9	1.3	8	0°- 60°	poor	good
2	10.5	10.0	21	1.5	8	0°- 40°	poor	fair
3	12.0	12.0	22	1.0	7	10°- 40°	poor	fair
4	6.0	6.0	15	2.0	9	0°-110°	poor	good
5	16.5	13.0	32	1.0	7	0°- 45°	poor	poor
6	10.0	7.0	18	1.7	9	0°-100°	poor	good
7	12.0	11.0	24	1.4	7	0°- 40°	poor	poor
8	7.5	7.5	20	1.3	9	0°- 40°	poor	poor
9	8.0	8.0	20	1.6	6	0°- 60°	poor	fair
10	2.5	2.5	5	3.6	7	0°- 60°	poor	good
11	18.0	15.5	30	1.2	8	0°- 20°	poor	poor
Mean	9.7	8.9	19.6	1.6	7.7			

(P.I: percentage of increment, H.I: healing index, F/U: follow up, ROM: range of motion)

는 불량 11례였고, 기능적 결과는 양호 4례, 보통 3례, 불량 4례였다(Table 2).

합병증은 Paley⁹⁾의 분류에 따라 문제점(problem), 방해점(obstacle), 합병증(complication) 등으로 나누었으며, 11례에서 36회 발생하였다. 그 중 문제점으로는, 핀 삽입부 감염이 10례 발생하여

국소 처치 및 항생제 투약하였고, 신경 자극 증상으로 인한 동통 1례 발생하여 보존적 치료하였으며, 지연 골경화 1례에서 아코디온 방법 후 재 신연하였다. 방해점으로는 1례에서 핀 삽입부에서 지속적인 배농으로 핀 제거 및 소파술을 시행하였고, 각 변형 6례는 Ilizarov 재교정 하였으며, 금속핀 손상 2례

Table 3. Complication

complication	No
Problem :	
pin site infection	10
pain	1
delayed consolidation	1
Obstacle :	
pain	1
pin breakage	2
pin site infection	1
angular deformity	6
Complication :	
nonunion	9
refracture	2
stiff knee	3
Total	36

와 지속적인 동통 1례에서 핀 제거 및 재 삽입을 하였다. 합병증으로는, 접착부(docking site) 불유합 9례와 재골절 2례 발생하여 내고정 및 자가골 이식술을 시행하였고, 슬관절 구축은 3례 발생하여 2례(증례5, 9)는 대퇴 사두근 유리술을 시행하였으며, 1례는 추시 관찰 중 이다(Table 3).

증례 예시

증례 1

27세 남자 환자로 교통사고에 의한 우측 대퇴골 개방성 분절 골절로 외부 병원에서 금속 내고정을 시행하였으나 배농구를 통한 지속적인 배농으로 술 후 1년 1개월만에 금속 내고정물 제거하고 전원은 경우이다(Fig. 1-A). 감염 조절을 위해 소파술 및 사골 제거술 후 생긴 골 결손이 8cm, 하지 단축이 2.5cm이었으며, 술전 슬관절 운동 범위가 0-20도였다. 3개월 후 Ilizarov 외고정을 시행하였으며, 피질골 절골술 후 7일부터 근위부로 골내 이동을 시작하였다(Fig. 1-B). 연장도중 가골 형성 지연으로 아코디온 방법 후 재신연하였다. 술 후 15개월에 접착부의 불유합으로 Ilizarov 기구를 제거하였다(Fig. 1-C). Ilizarov 제거 2주후에 추가로 금속판 내고정 및 자가골 이식을 시행하였으며, 7개월후 골 유합을 얻었다(Fig. 1-D). 골연장 길이 11cm, 연장을 24.%, 치유지수 1.4months/cm 이었으며, 추시 슬관절 운동범위는 0도에서 후속 굴곡 40도로 슬관절 운동범위의 제한이 남아있었다.

증례 2

36세 남자 환자로 만성 골수염에 의한 우측 대퇴골 병적 골절이 발생하여 수차례 소파술 및 사골 제거술 후 생긴 골 결손 및 하지 단축이 8.5cm와 2cm 있었다(Fig. 2-A). 술전 슬관절 운동 범위는 0-20도였다. Ilizarov 시술과 동시에 원위부 피질골 절골술을 시행하였으며, 피질골 절골술 후 2주부터 근위부로 골내 이동을 하였다(Fig. 2-B). 술 후 15개월에 접착부의 불유합으로 Ilizarov 기구를 제거하였다(Fig. 2-C). Ilizarov 제거 3개월후 금속판 내고정 및 자가골 이식술을 시행하여 8개월에 골 유합을 얻었다(Fig. 2-D). 골 연장 길이 10cm, 연장을 21%, 치유지수 1.5months/cm이었으며, 추시 슬관절 운동범위는 0도에서 후속 굴곡 40도로 운동범위의 제한이 남아있었다.

고 찰

대퇴골은 사지에서 가장 크고 단단한 뼈로서, 원통형의 구조와 전외방으로 만곡 되어 있어서는 복장을 갖고있다. 대퇴골 골절은 강한 외력에 의한 분쇄 골절이나 개방성 골절이 많으며, 그 합병증의 하나인 불유합은 대퇴골 간부에서 가장 빈발한다.

대퇴골의 감염성 불유합은 골절 치료 후에 발생하는 심각한 합병증으로, 감염, 골결손, 하지 단축, 변형 등을 동반하기 때문에 치료가 어렵고 가끔 절단으로 인한 불구를 초래하기도 한다. 대부분 감염은 골절 초기에 발생하며, 모든 감염된 연부 조직 및 사골의 제거술과 함께 초기에 항생제의 사용이 중요하다¹².

여러 차례의 소파술과 사골 제거술로 생긴 골결손을 치료하기 위한 방법으로는 자가골 또는 동종골 이식후 내고정하는 방법, 골 이식후 전기 자극 치료, 미세 수술에 의한 혈관 부착 생골 이식술, 또는 외고정 기구를 이용한 골 연장술 등의 방법이 있다. 이 중에서 동종골 이식술에 의한 방법은 자가골 이식술에 비해 사용할 수 있는 양이 많고, 골결손의 크기 및 모양에 제한을 적게 받으나, 술 후의 결과를 예측하기가 어렵고 감염 등의 합병증이 많은 단점이 있다. 반면에 외고정술은 연부조직 손상이 심한 골절이나 감염된 개방성 골절 등에 적용하며, 정복을

Fig. 1. A 27-year old male was sustained open comminuted fracture of the right femur by traffic accident. Open reduction and internal fixation was don at local clinic but developed osteomyelitis and implant removal was performed at postop. 13 months

A. Initial X-ray was showed segmental fracture with nonunion and shortening.

B. Postoperative 1 month X-ray was showed 4 ring external fixator applied state. And showed distal corticotomy state and 2 cm internal bone transport state.

C. Postoperative 15 months X-ray was showed 11cm lengthening with nonunion of docking site after Ilizarov removal.

D. Follow up 7 months X-ray after internal fixation and bone graft on docking site was showed complete bony union.

유지하면서 연부조직 재건술이나 골 이식 등을 할 수 있고, 시술 후 즉시 관절 운동이 가능하여 최근에 많이 사용되고 있다.

외고정술의 한 방법인 Ilizarov 술식은 신연 골형성술(Distracton Osteogenesis) 개념에 의한 골연장 방법으로 장관골의 한쪽 또는 양쪽 골편에서 피질골 절골술 후 골편을 싸고 있는 연부조직과 함께 결손이 있는 방향으로 점진적으로 이동시킴으로서 추가적인 골 이식술 없이 골과 연부조직의 결손을 복구할 수 있는 방법으로⁷⁾, 연부조직 및 골결손 재건에 많은 가능성을 제시하였다. 골연장술은 1905년

Codivilla가 전인 방법에 의한 대퇴골 연장을 처음으로 시도하였고, Anderson은 외고정 기구를 이용한 신연 방법을 보편화 시켰다. 1951년 구소련의 Ilizarov가 Ilizarov 외고정 기구의 고안과 더불어 신연 골형성술의 개념을 도입하여 골 연장을 하였으며, 1972년 Wagner¹⁰⁾는 Wagner 외고정 기구로 대퇴골 연장을 하였다. 1980년대 들어서 De bastiani 등⁸⁾의 가골 신연술과 Ilizarov의 신연 골형성술을 이용한 골 연장술이 보편화되었다.

Ilizarov 술식의 장점은 수술부위 연부조직의 위축이나 허혈시에도 시행할 수 있으며, 조기 체중 부

Fig.2 A 36-year old male sustained pathologic fracture of the right femur by chronic osteomyelitis.

- A.** Initial X-ray was showed bone defect and round and sclerotic margin of fracture ends with bridging callus.
- B.** Postoperative 1 month X-ray showed 5 ring and 1 half ring external fixator applied state. And showed distal corticotomy and 1cm internal bone transport state.
- C.** Postoperative 15 months X-ray showed 10cm lengthening state with nonunion of docking site after Ilizarov removal.
- D.** Follow up 9 months X-ray after internal fixation and bone graft on docking site was showed complete bony union.

하 및 관절 운동을 할 수 있어서 고정으로 인한 불용성 골 조골증을 예방할 수 있으며, 술 후 일상 생활이 가능하여 사회 경제적으로나 정신 건강상 유익한 장점이 있다. 그러나 골유합이 되기까지 많은 시간이 필요하며, 외고정 기구 장착에 따른 환자의 불편감 및 수술시의 기술적인 어려움과 정확한 골 접촉이 어려워 관혈적 정복시 보다 골유합 면적이 떨어지는 단점이 있다.

Freeland와 Mutz는⁹⁾ 감염성 불유합의 치료 목적을 골유합과 함께 감염을 제거하고, 사지 절단을 예방 및 사지의 기능을 유지하는데 있다고 하였다.

Paley 등¹⁰⁾은 Ilizarov 기구를 이용하여 정골의 감염성 불유합을 치료한 결과 100%의 골유합률과 10.6개월의 골유합 기간을 보고하였으며, 저자들은 최소 2.5cm에서 최대 12.5cm의 골결손을 동반하고 있는 대퇴골의 감염성 불유합을 Ilizarov 술식으로 치료하여 2례에서 골유합을 얻어 골유합 기간이 평균 10.5개월과 22.2%의 골유합률을 보였다.

접촉부의 골유합 기전은 접촉 골단 사이에 끼어있는 연부조직의 이행성에 의한 골형성, 즉 변형 골형성(transformational osteogenesis)에 의해 골유합된다고 하였으며¹¹⁾, 접촉부의 골유합은 우선 Iliza-

rov 기기의 안정성이 유지되고 접촉면의 접촉이 좋은 경우는 6개월에 골 유합 소견이 보이며, 6개월이 지나도 골유합의 소견이 보이지 않을 경우를 지연유합이라고 하였다.

골유합을 얻기 위한 방법으로는, 4cm 이하 정도의 골 결손인 경우에는 급격한 단축을 시행하여 접촉부를 압박시킴으로써 골유합을 얻을 수 있으며, 4cm 이상 정도의 골결손인 경우는 내부 골 이동 후 접촉부 압박하여 골유합을 얻거나 접촉부에 골 이식 후 압박하여 골유합을 얻을 수 있다. 그러나 접촉부의 골 정렬이 좋지 않고 접촉면이 적을 경우에는 신생골이 경화된 후 내고정 및 골 이식의 방법으로 골유합을 얻을 수도 있다. 저자들은 11례 모두 내부 골 이동술 후 접촉부를 압박하여 2례에서 골유합을 얻었으나 Ilizarov 제거 1, 2주 후에 재골절되었다. Ilizarov 제거 기간은 골유합된 2례에서 평균 10.5개월에, 불유합된 9례에서 평균 13.3개월에 제거하였으며, 제거 후 골 이식까지의 기간은 평균 2.8(2주-7개월)개월이 걸렸다. 불유합 9례와 재골절 2례를 내고정 및 자가골 이식을 시행하고 나서 골유합 기간이 평균 7.7개월이 걸렸다.

접촉부의 불유합 원인으로는 사골 제거가 불충분한 경우, 골연장 도중 이동 골편의 축전위로 인하여 골 정렬이 나쁜 경우와 이동 골편의 골 위축 등을 들 수 있는데, 저자들은 접촉부 불유합 9례의 원인율, 기술적인 면에서 5례는 사골 제거가 불충분하였으며, 4례는 부정 정렬로 인한 골 접촉면이 작았다. 개별적인 요인으로 술전 수술 회수, ilizarov 장치까지의 기간 및 골연장 길이가 골유합을 얻은 2례에서 2회, 8개월 및 4.3cm로 11례의 평균 4.1회, 18.6개월, 8.9cm보다 작은 것으로 보아, 증례는 적었지만 이들 요소들이 접촉부 골유합과 상관 관계가 있음을 알 수 있었다.

골연장 길이는 Bell 등²⁾은 긴 길이의 연장을 요하는 경우 이외에는 단일 절골에 의한 연장술을 원칙으로 한다고 하였고, Cattaneo 등⁴⁾은 8cm 이상의 대퇴골 연장을 할 경우 관절의 아탈구 또는 강직, 각 변형 등의 합병증의 빈도가 높아져 한번의 연장 치료에서 8cm 이상의 연장은 가급적 피하는 것이 좋다고 하였으며, kawamura 등³⁾은 15% 이상 연장하지 않는 것이 신경증상 등의 합병증을 줄일 수 있다고 하였다. 또한 Wagner¹⁾는 대퇴골 연장술 후 합

병증이 평균 44.8% 발생하였다고 보고를 하였으며, 지연유합, 감염, 신경손상, 피로골절, 대퇴골두 아탈구 또는 탈구 등이 발생할 수 있다고 하였다. 저자들의 경우 평균 8.9cm의 골 연장을 하였으나 탈구는 발생하지 않았다. 총 36회의 합병증이 발생하여 1례당 평균 3.3회의 합병증을 경험하여 비교적 많았으며, 그 원인으로는 대퇴골이 경골에 비해 많은 근육층으로 둘러 쌓여 있기 때문에, 편 삽입 시 근육층의 통과를 피할 수 없어 편 삽입부 감염이 많았으나 특별한 문제는 없었으며, 골 연장시 신연력이 고르게 전달되지 않아 이동 골편의 축전위와 각 형성 변형의 교정이 어려웠다.

결 론

대퇴골의 감염성 불유합에서 Ilizarov 외고정술은, 견고한 고정과 함께 광범위한 연부조직 및 사골 제거가 가능하므로 감염 조절이 용이하고, 골 연장술로 골 결손의 복구가 가능한 장점이 있으나 경골에 비해 접촉부의 골유합을 얻기가 어려웠다. 따라서 증례는 많지 않았으나 접촉부 불유합의 발생을 줄이기 위해서는 골결손이 작은 경우에 수술시 급격한 단축술 후 접촉부를 압박시키고, 골결손이 큰 경우에 이동 골편의 정렬을 잘 맞춰 접촉부의 골 접촉면을 넓게하여 충분한 압박력을 가할 수 있도록 해야 하며, 접촉부의 불유합 발생시 조기에 골유합을 얻기 위해서는 신생골이 경화된 후 내고정 및 자가골 이식술을 시행하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Aronson J : Cavitary osteomyelitis treated by fragmentary cortical bone transportation. *Clin Orthop*, 280:153-159, 1992.
- 2) Bell DF, Boyer MI, and Armstrong PF : The use of the Ilizarov technique in the correction of limb deformities associated with skeletal dysplasia. *J Ped Orthop*, 12:283-290, 1992.
- 3) Brighton CT, Black J, Friedenberg ZB, Esterhai JL, Day LJ, and Connolly JF : A multicenter study of the treatment of nonunion with constant direct current. *J Bone Joint Surg*, 63-B:2-13, 1981.
- 4) Cattaneo R, Catagni M, and Johnson EE : The treatment of infected nonunion and segmental

- defects of the tibia by the methods of Ilizarov. *Clin Orthop*, 280:143-152, 1992.
- 5) De Bastiani GD, Aldegheri R, Renzi Brivio L, and Trivella G : Chondrodiastasis-controlled symmetrical distraction of the epiphyseal plate: limb lengthening in children. *J Bone Joint Surg*, 68-B :550-556, 1986.
 - 6) Freeland AE and Mutz SB : Posterior bone grafting for infected ununited fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg*, 58-A:653-657, 1976.
 - 7) Ilizarov GA : Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening, *Clin Orthop*, 250 :8-26, 1990.
 - 8) Kawamura B, Hosono S, and Takahashi T : The principles and technique of limb lengthening. *Int Orthop*, 5:59-83, 1981.
 - 9) Paley D : Problems, obstacles, and complication of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop*, 250:81-97, 1990.
 - 10) Paley D, Catagni MA, Argani F, Villa A, Bennedetti GB, and Cattaneo R : Ilizarov treatment of tibial nonunion with bone loss. *Clin Orthop*, 241: 146-165, 1989.
 - 11) Wagner H : Operative lengthening of the femur, *Clin Orthop*, 136:125-142, 1987.
 - 12) Welland AJ, Moorer JR, and Daniel RK : The efficacy free tissue transfer in the treatment of osteomyelitis. *J Bone Joint Surg*, 66-A:181-193, 1984.