

전기자극을 이용한 선천성 가관절증의 치료

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

유명철 · 배대경 · 김종관 · 안용성

= Abstract =

Treatment of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia with Electrical Stimulation

Myung Chul Yoo, M.D., Dae Kyung Bae, M.D., Jong Kwan Kim, M.D.
and Yong Sung Ahn, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea

We performed a clinical study of the effect of electrical current on the congenital pseudarthrosis of the tibia from May, 1980 to January, 1984.

Eight congenital pseudarthrosis were treated with direct current stimulation, six of which had received previous treatment at least more than one time in any manner and two had none. Four were failures in previous treatment with vascularized fibular graft due to the non-union at the proximal or distal sites of grafted bones.

Six of eight congenital pseudarthrosis were treated with invasive type electrical stimulators, and the remaining two were treated with semi-invasive type.

The average follow-up period was 26 months (range from 8 to 39 months).

As a result satisfactory union has occurred in seven out of eight cases.

The mean time for union was 27 weeks (range from 15 weeks to 48 weeks).

No serious complication was observed, but in our experience, the semi-invasive type, comparing to invasive type, was handicapped with minor complications such as pin tract infection and skin sloughing due to the irritation by anode pad, and needed frequent recharging to maintain adequate voltage.

With above result, we think that the electrical stimulation has revealed to be one of the reliable methods in the treatment of surgery-resistant congenital pseudarthrosis.

Key Words : Electrical stimulation, Congenital pseudarthrosis, Tibia.

I. 서 론

선천성 가관절증은 정형외과 분야에서 매우 치료하기 어려운 질환의 하나로 여러 방법의 골이식, 금속내고정 혹은 복합적인 방법으로 치료해 왔으나 실패율이 높고 결국은 절단까지 초래할 수 있는 질환이다^{3,19,25,34}.

그리고 일단 단기간 골유합에 성공했다 하더라도 재골절되어 다시 수술을 요하는 경우가 흔하다³¹. 따라서 선천성 가관절증을 치료하기 위한 많은 연구가 있었다.

20세기 들어와서 여러 방법의 골이식술이 소개되

었는데, Moore²⁹의 지연 자가골이식술, MacFarland²⁷의 by-pass bone graft, Boyd^{5,61}의 dual-onlay bone graft, Sofield의 다발성 절골술 및 골수강내 금속정 삽입술, Farmer¹⁷의 cross leg pedicle bone graft을 이용한 생골이식 등이며 최근에는 미세혈관수기를 이용한 생골이식술과 전기자극을 이용한 치료법이 등장하였다. 특히 전기자극 치료는 1950년대 Yasuda와 Fukuda가^{41,42} 골의 전기적 특성을 발표한 이래 불유합 및 선천성 가관절증에 사용되어 비교적 좋은 결과들이 발표되었다^{4,8,33}.

본 경희대학교 의과대학 정형외과학교실에서는 경골의 선천성 가관절증 환자 7명 8례에 대하여 지

속성 전기자극법을 이용하여 치료한 결과를 보고하는 바이다.

II. 대상 및 방법

1980년 5월부터 1984년 1월까지 3년 9개월간 본 교실에서 전기자극 치료를 받은 선천성 가관절증 환자는 총 7명이었으며 이 중 1명에서는 준삽입성 전기자극 치료로 실패하여 다시 삽입성 전기자극법으로 치료하였기 때문에 이 1례를 추가하여 총 7명 8례를 조사대상으로 하였다.

연령분포는 수술당시 6개월에서 12년 3개월로 평균 4세였고 남자가 7명 여자가 1명이었고 부위는 모두 경골이었다. 원격추시는 최단 8개월에서 최장 3년 9개월이었고 평균 26개월이었다.

8례중 4례(case 5, 6, 7, 8)에서는 혈관 부착 생비골 이식술후 이식골의 근위 혹은 원위부에 가관절의 병소와 같은 불유합의 소견이 다시 나타나 전기자극 치료로 유합을 도모하였는데 이들은 모두 전기자극기 삽입당시 주위골막 및 불유합부 조직을 절제하여 조직검사를 한 결과 초기의 가관절 병소와 같은 소견을 보였으며 osteoblastic activity는 아주 경미하고 osteoclastic activity가 왕성하였으며 아주 심한 fibromatosis의 소견이 이식골 주위를 싸고 있어 초기 수술시 병소의 완전한 제거가 불충분하였거나 새로이 가관절증의 병소가 생긴것으로 판단되었다. 따라서 이들을 단순한 장관골 불유합의 범주에 넣는것은 타당치 않다고 생각되어 가관절증군에 포함하였다. 2례(case 1, 4)는 다른 치료없이 처음부터 각각 준삽입성 및 삽입성 전기자극 치료를 시도하여 치료하였다.

현재까지 발표된 전기자극 방법은 크게 세가지로 분류할 수 있는데 첫째는 전기자극 기구를 전부 체

내에 삽입하는 invasive type과 둘째는 powerpack은 체외에 있으면서 1개 이상의 전극을 체내에 삽입하는 semi-invasive type, 셋째 모든 기구가 체외에 있게되는 non-invasive type이다.

저자들이 사용한 invasive type으로는 Teletronic사의 Osteostim Model S-12를 사용하였으며 이는 20마이크로 암페어의 일정한 전류를 약 5~6개월간 계속적으로 방전할 수 있도록 되어있다. 시술 방법은 먼저 가관절이나 불유합 주위의 섬유조직을 완전히 제거하고 필요한 경우 골단축을 시행하였으며 병소의 근위 및 원위부의 골수강내에 있는 가골이나 섬유조직을 완전히 제거한 후 병소를 가로지르는 약 1×2cm 크기의 골편을 떼내어 slot를 만든후 금속코일을 삽입하였으며 power pack과 anode는 별개의 절개를 가하여 gastrocnemius와 soleus로 사이의 intermuscular-septum에 삽입하되 병소와는 8cm 내지 10cm 떨어지게 하였다. 특히 금속내고정과 병행하여 사용할 때는 고정금속과 전극이나 generator사이에 접촉이 되지 않도록 세심한 주의를 하였다.

준삽입성 전기자극기로는 Zimmer사 제품을 사용하였으며 가관절의 근위부와 원위부에 각각 2개, 도합 4개의 전극을 삽입한 후 체외의 power pack과 연결하여 1개의 전극당 5마이크로암페어, 도합 20마이크로암페어의 전류를 지속적으로 유지하도록 하였다. 본 정형외과 교실에서는 8례중 6례는 삽입성 2례는 준삽입성 전기자극기를 시술하였다.

증례 1 : 신○완, 남자, 6개월.

출생시부터 우경골의 골극변형을 주소로 본원에 내원하였으며 방사선 소견상 경골의 원위 1/3에 cystic change를 동반한 선천성 가관절증의 소견을 보여주었다(Fig. 1. A.). 준삽입성 전기자극기로 치료하였으나(Fig. 1-B.), 13개월 후에도 계속 유합이

Table 1. Case analysis

Case No.	Name	Age	Sex	Bone	Previous treatment	Type of electrode	Healing time	Results
1	Shin O Wan	6m	M	Tibia	None	S.I.	—	Failed
2	Shin O Wan	1y7m	M	"	S.I. S.	I.	48w	Healed
3	Lee O Hyung	12y3m	M	"	I.F. & B.G.	I.	16w	Healed
4	Ahn O Jin	1y7m	M	"	None	I.	37w	Healed
5	Park O Hak	7y9m	M	"	B.G.X2, V.F.G.	I.	36w	Healed
6	Lee O Jin	2y3m	F	"	B.G.X1, V.F.G.	I.	24w	Healed
7	Shu O Jae	2y10m	M	"	F.V.G.	S.I.	15w	Healed
8	Song O Kun	5y	M	"	B.G.X1, V.F.G.	I.	20w	Healed

*I : Invasive, S.I. : Semi-invasive, I.F. : Internal fixation, E.F. : External fixation, B.G. : Bone graft
V.F.G. : Vascularized fibular graft, y ; Year, m : Month, w : Week.

A B C D E F

Fig. 1. Case 1. Male, 6 months old. **A** ; Initial radiograph showing anterior angulation, cystic expansion of cortical bone and sclerotic change at distal third of the tibia. **B** ; Semi-invasive type of electrode was inserted. **C** ; Union did not occurred after treatment of 13 months with semi-invasive electrode. **D** ; Invasive type electrode was inserted. **E** ; The original lesion was healed, but bone resorption was occurred along the second screw from the distal end and angulation deformity progressed. **F** ; after removal of the fixative and bone graft, satisfactory union was obtained finally.

A B C D

Fig. 2. Case 4, Female, 2 years and 3 months old. **A** ; Initial radiograph shows anterolateral bowing of the tibia, bone defect and sclerotic change at the distal third of the tibia. **B** ; 4 months after vascularized fibular graft, the distal part of the grafted bone was united but the proximal site failed to unite. **C** ; Invasive type of electrode was inserted. **D** ; After 6 month, good bony union was obtained. **E** ; The Follow-up radiograph after 1 year and 5 months revealed more solid bony union.

이루어지지 않아(Fig. 1-C) 다시 삽입성 전기자극기를 시술하여(Fig. 1-D) 48주만에 가관절부의 유합은 되었으나(Fig. 1-E) 원위부에서 두번째 금속 나사를 따라 골흡수가 일어나는 소견을 보여 전기자극기와 금속내고정을 제거하면서 골이식을 시행하여 양호한 골유합을 얻었다(Fig. 1-F).

증례 2 : 이○진, 여, 2년 3개월.

1 세 때 경미한 외상으로 하퇴부 골절이 생긴후로 계속 유합이 되지 않아 타병원에서 골이식 수술을 1 회 받았으나 8개월이 지나도록 유합이 되지 않았다. 본 원에 내원당시 방사선소견상 경골의 원위 1/3에 골피질의 팽창 및 골결손, 골절부의 전방만

있었다. 이학적 소견상 cafe-au-lait반점이 있었다. 선천성 가관절증의 진단하에 혈관부착 생이식술을 받고 4개월만에 이식골의 원위부는 골유합이 되었으나 근위부에는 계속적인 고정치료에도 불구하고 계속 불유합이 지속되어(Fig. 3-A) 생비골이식술 8개월만에 준삽입성 전기자극기를 시술하여(Fig. 3-B) 15주만에 골유합을 얻었고(Fig. 3-C) 6개월후 원격추시소견에서는 더욱 견고한 골유합을 보였다(Fig. 3-D). 3년후 원격추시 소견에서는 완전한 유합을 보여주고 있다(Fig. 3-E).

증례 4 : 송○근, 남자, 5세.

출생후 점차적으로 좌 하퇴부 굴곡변형이 있었고 1년 6개월때 외상으로 좌하퇴부 골절이 생겨 타병원에서 수차례 석고고정 및 골이식수술을 받은 병력이 있었다. 본 원에 내원당시 골절부에 가운뎃이 있었다(Fig. 4-A). 1981년 11월 본원에서 혈관부착 생비골이식술을 시행받았다(Fig. 4-B). 이식골의 원위단은 수술후 4개월만에 유합이 이루어졌으나 역시 근위부에 계속적으로 유합의 소견이 나타나지 않고 가운뎃을 보여 비골이식 6개월만에 삽입성 전기자극기를 삽입하여(Fig. 4-C) 20주만에 양호한 골유합을 얻었다(Fig. 4-D). 1년 6개월후의 원격추시에서는 더욱 완전한 골유합과 이식골의 remodelling을 보여주고 있다(Fig. 4-E).

III. 결 과

총 8례중 7례에서 양호한 골유합을 얻었다. 8례중 6례는 삽입성 전기자극방법으로 치료하여 전례에서 유합을 얻었고 2례는 준삽입성 전기자극 방법으로 치료하여 1례는 성공하고 1례는 실패하였다.

양호한 골유합을 보인 7례에서 골유합기간은 최단 15주에서 최장 48주로 평균 28주였다.

합병증으로는 전 예에서 창상감염이나 정맥염 등의 심각한 합병증은 없었으나 준삽입성 전기자극기로 치료한 2례에서는 anode pad부착부위에 피부 자극에 의한 염증이 생겼고 1례에서는 전극을 따라 pin tract infection이 있었다(Table 2). 또 삽입성 전기자극기로 치료한 1례에서는 가관절 유합은 되었으나 plate를 고정한 원위부의 screw를 따라 bo-

ne resorption이 일어나서 점차적으로 굴곡변형(angular deformity)을 유발하였다(Table 2).

저자들이 치료하여 유합에 성공한 7례중에서 재골절이 된 경우는 없었으나 원격추시중에도 재골절이나 점진적인 굴곡변형의 위험성을 항상 염두에 두고 보조기를 사용하여 골유합부를 보호하도록 하였다.

IV. 고 찰

선천성 가관절증에 관해서는 아직 그 원인이 확실히 규명되어 있지 않고 그 치료도 상당히 어렵다. 치료가 어려운만큼 여러가지 많은 치료방법이 소개되고 있다. 어떤 저자들은 일단 골절이 되어 가관절이 형성되면 보존적 치료는 소용이 없으므로 prophylactic bracing³⁹⁾이나 prophylactic bone grafting²⁴⁾을 권장하기도 하나 결과는 아직 미지수이다. 또 Boyd^{5,6)}는 cortical bone을 사용하여 골 이식과 견고한 외고정의 2중 효과를 동시에 얻을 수 있는 dual-onlay bone graft로 좋은 결과를 얻었다고 하였고 Moore²⁹⁾ 실험적으로 지연골이식시 골형성이 증가한다하여 지연자가 골이식을 주장하였다. McFarland²⁷⁾는 mechanical bowing에 의해 가관절이 지속적으로 잔존한다고 보고 "by-pass" 골이식에 의한 견고한 기계적인 strut를 제공함으로써 이러한 요인을 없앨 수 있다고 하였다. 또 Sofield³⁷⁾ 다발성 전골술 및 골수강내 금속정 삽입술을 강조하였으며 Farmer¹⁷⁾는 cross-leg pedicle bone grafting 방법을 사용하였는데 이는 이식골이 계속 혈액공급을 받는 생골이라는 점에서 종래의 방법과는 상당히 다른 것이었다. Morrisy³⁰⁾는 골이식 수술후 이식골이 가능한 많이 남아있을 경우 예후가 좋고 빨리 흡수되면 예후가 나쁘다고 하였는데 Farmer의 방법으로 수술을 했을 경우 많은 이식골이 장기간 잔존하는 것을 볼 수 있어 계속적인 혈액공급은 이식골의 생존에 중요한 것으로 생각되었고 따라서 이러한 관점에서 미세수기를 이용한 생골이식수술은 선천성 가관절증 치료에 매우 고무적인 것으로 생각되었다.

미세수기를 이용한 생골이식술은 최초로 McKee²⁸⁾가 1970년 늑골의 일부를 이용하여 하악골 성형술에 성공한 이래 Ikuda²¹⁾가 1977년 처음으로 2례의 선천성 가관절증에 미세수기를 이용한 늑골 이식수술을 시행하여 성공하였으며 1979년 Chen^{13,14)} 등이 12명의 선천성 가관절증 환자에 혈관부착 생비골이식술을 시행하여 80%에서 성공하였으며 최근에 43명의 환자에 시술하여 비슷한 성공율을 얻었다고 발

Table 2. Complications

Pin tract infection	1
Loosening of fixation due to bone resorption	1
Skin sloughing	1
Total	3

표한 바 있다. Gilbert¹⁸⁾ 역시 비골을 사용하여 21례의 선천성 가관절증 환자를 치료하여 19례에서 양호한 유합을 얻었다고 하였다. 그후로도 Tamai³⁸⁾, Weiland and Daniel⁴⁰⁾ 등이 좋은 결과를 발표하였다.

한편 1950년대 초반 Yasuda와 Fukuda^{38,39)}가 골의 전기적 특성을 발표한 이래 전기자극치료는 각종 불유합은 물론 선천성 가관절증에 사용되게 되어 비교적 좋은 결과들이 발표되었다.^{4,8,33)}

전기자극이 골생성을 촉진하는 기전은 잘 알려져 있지 않으나 음극부위의 조직산소분압이 낮아지고 조직 pH가 상승한다고 알려져 있으며⁹⁾ 이러한 저조직산소분압이 골생성에 관여하는 것으로 되어 있는데 그 이유로는 첫째 골단성장판¹⁰⁾과 골절시 생긴 가골^{11,20)}에서 산소분압이 낮다는 것이고 둘째 실험적으로 in Vitro에서 소산소상 상태에서 최고의 골성장률을 얻을 수 있으며¹¹⁾ 세째로 골단성장판의 연골세포나^{16,22)} 골세포^{7,15)}는 대개 저산소 상태에서 대사 과정을 거친다는 것이다. 이러한 음극부위의 microenvironment의 변화가 세포에 영향을 주어 골생성을 촉진시킨다는 가설 이외에 Norton³²⁾ 등은 전기자극이 골세포와 연골세포에 직접 작용하여 세포의 C-AMP system을 활성화하고 활성화된 C-AMP system은 세포내의 여러가지 enzyme system을 다시 활성화 함으로서 세포의 특수한 생리적 반응을 가져와서 골생성을 촉진한다고 하였다. 선천성 가관절증에 전기자극치료가 처음 사용된 것은 1970년대 초반이고^{23,35)} 그 후로 여러 저자들이 삽입성 또는 준삽입성 전기자극기를 사용하여 비교적 양호한 결과를 얻었다고 발표했고 특히 Paterson³³⁾은 7례의 선천성 가관절증을 전기자극법으로 치료해서 6례에서 유합에 성공했다고 보고한 바 있다. 국내에서도 이¹⁾ 등이 선천성 가관절증 1례를 Boyd의 dual-onlay bone graft 방법과 전기자극치료를 병행하여 4개월만에 견고한 유합을 얻었다고 보고한 바 있으며 정²⁾ 등은 불유합과 함께 4례의 경골의 선천성 가관절증을 준삽입성 전기자극기로 치료하여 모두 유합에 성공하였다고 보고하였다.

저자들은 총 8례의 선천성 가관절증을 치료하여 7례에서 양호한 골유합을 얻었다. 이중 4례에서는 순수한 가관절에 전기자극치료를 하였으나 4례에서는 혈관부착 생골이식술 후 이식골의 근위 혹은 원위부의 유합이 이루어지지 않아 그 부위의 유합을 도모하기 위해 전기자극치료를 하여 모두 유합에 성공하였다. 이러한 생비골 이식수술 후 유합이 되지 않은 부위가 단순한 불유합인지 또는 선천성 가관절증의 병소가 남아있는지를 알기위해 전기자극기

삽입당시 불유합 부위의 생검을 조직학적으로 검사해 본 결과 osteoblastic activity는 아주 경미하고 osteoclastic activity는 상당히 증가되어 있으면서 원래의 섬유성종의 소견을 보였는데 이는 병소부위와 정상조직과의 명확한 경계가 없이 서서히 이행되므로 수술시 병소를 완전히 제거하지 못하여 원래의 병소가 남아있는 것인지 아니면 새로 생긴 것인지는 알 수 없었다.

또한 이러한 전기자극법으로 선천성 가관절증을 치료하여 방사선소견 및 임상소견상 골유합이 잘된 것 같아도 다시 재골절이 되는 경향이 높고 골괴변형이 점차적으로 초래될 위험이 있기 때문에 유합부의 골성숙이 완전히 될때까지 하지보조기 등으로 장기간 골유합부 보호가 바람직하며 계속적인 추적검사가 필요하다.

V. 결 론

본 경희대학교 의과대학 정형외과학교실에서는 총 7명 8례의 선천성 가관절증 환자에 전기 자극치료를 시행하여 7례에서 평균 28주만에 양호한 골유합을 얻으므로 다른 수술적 방법보다 비교적 높은 유합율을 보여 선천성 가관절증의 치료에 권장할 수 있는 우수한 방법이라고 생각된다.

REFERENCES

- 1) 이덕용, 최인호, 이상훈, 정문상 : 전기 자극을 이용한 선천성 경골 가관절증 치험 1례보고, 대한 정형외과학회지, 제15권 제2호 350-354, 1980.
- 2) 정문상, 한문식, 이덕용, 이상훈, 김용훈 : 전기 자극을 이용하여 치료한 선천성 가관절증과 불유합의 임상경험, 대한정형외과학회지, 제16권 제3호 518-527, 1981.
- 3) Anderson, K.S. : *Congenital Pseudarthrosis of the Leg. J. Bone and Joint Surg.*, 58-A:657, 1976.
- 4) Basset, C.A.L., Pilla, A.A., and Pawluk, R.J. : *A Non-operative Salvage of Surgically-resistant Pseudarthrosis and Non-unions by Pulsing Electromagnetic Field. Clin. Orthop.*, 124:128-140, 1977.
- 5) Boyd, H.B. : *Congenital Pseudarthrosis; Treatment by Dual Bone Graft. J. Bone and Joint Surg.*, 23:497-515, 1941.
- 6) Boyd, H.B. and Sage, F.P. : *Congenital Pseu-*

- arthrosis of the Tibia. *J. Bone and Joint Surg.*, 40-A:1245-1270, 1958.
- 7) Borle, A.B., Nicholas, N., and Nicholas, G., Jr. : *Metabolic Studies of Bone in Viteo. I. Normal Bone.* *J. Biol. Chem.*, 235:1206-1210, 1960.
 - 8) Brighton, C.T., Friedenber, Z.B., Zemsky, L. M., and Pollis, P.R. : *Direct Current Stimulation on Non-union and Congenital Pseudarthrosis.* *J. Bone and Joint Surg.*, 57-A:368-390, 1975.
 - 9) Brighton, C.T., Adler, S., Itada, N., Black, J., and Friedenber, Z.B. : *Cathodic Oxygen Consumption and Electrically Induced Osteogenesis.* *Clin. Orthop.*, 107:277-281, 1975.
 - 10) Brighton, C.T., and Heppenstall, R.B. : *Oxygen Tension in Zones of Epiphyseal Plate, the Metaphysis and Diaphysis; An in Vitro and in Vivo Study in Rats and Rabbits.* *J. Bone and Joint Surg.*, 53-A:719-728, 1971.
 - 11) Brighton, C.T., Ray, R.D., Soble, L.W., and Kuettner, K.E. : *In Vitro Epiphyseal Plate Growth in Various Oxygen Tensions.* *J. Bone and Joint Surg.* 51-A:1383-1396, 1969.
 - 12) Charnley, J. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia Treated by Intramedullary Nailing.* *J. Bone Joint Surg.* 38-A:283-290, 1956.
 - 13) Chen, C-W. : *Presentation at the Sixth Symposium of the International Society of Reconstructive Microsurgery, Melbourne, Australia, February 15, 1981.*
 - 14) Chen, C-W., Yu, Z-J., and Wan, Y. : *A New Method of Treatment of Congenital Tibial Pseudarthrosis Using Free Vascularized Fibular Graft.* *Ann. Acad. of Med. Singapore* 8:465, 1979.
 - 15) Deiss, W.P., Jr., Holmes, L.B., and Johnson, C.C., Jr. : *Bone Matrix Biosynthesis in Vitro. I. Labelling of Hexoamine and Collagen of Normal Bone.* *J. Biol. Chem.*, 237:3555-3559, 1962.
 - 16) Eeg-Larsen, Nicolay : *An Experimental on Growth and Glycolysis in the Epiphyseal Cartilage in Rats.* *Acta Physiol. Scandinaviaca, Supplementum* 128, 1956.
 - 17) Farmer, A.W. : *The Use of Composite Pedicle Graft for Pseudarthrosis of the Tibia.* *J. Bone and Joint Surg.*, 34-A:591-600, 1952.
 - 18) Gilbert, A. : *Treatment of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia with Free Vascularized Bone Graft.* *Clin. Orthop.* 166:28-33, 1982.
 - 19) Harding, K. : *Congenital Anterior Bowing of the Tibia.* *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 51:17, 1972.
 - 20) Heppenstall, R.B., Grisliis, G., and Hunt, T. K. : *Tissue Gas Tension and Oxygen Consumption in Healing Bone Defect.* *Clin. Orthop.*, 106:357-365, 1977.
 - 21) Ikuda, Y. : *Presentation at Japanese Association of Microsurgery, 1977.*
 - 22) Krane, S.M., Parson, V., and Kunin, A.S. : *Studies of the Metabolism of Epiphyseal Cartilage; In Cartilage Degeneration and Repair.* pp. 43-58. Edited by C.A.L., Basset, Washington National Academy of Science, National Research Council, 1967.
 - 23) Lavine, L.S., Lustrin, I., Shamos, M.H., Rinaldi, R.A., and Liboff, A.R. : *Electric Enhancement of Bone Healing.* *Science*, 175:1118-1121, 1975.
 - 24) Lioid-Roberts, G.C., and Shaw, N.E. : *The Prevention of Pseudarthrosis in Congenital Kyphosis of Tibia.* *J. Bone and Joint Surg.*, 51-B:100-105, 1969.
 - 25) Masserman, R.L., Peterson, H.A., and Bianco, A.J. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia.* *Clin. Orthop.*, 99:140-145, 1974.
 - 26) McBride, A.M., Jr., and Stelling, F.H. ; *Infantile Pseudarthrosis of the Tibia.* *J. Bone and Joint Surg.*, 54A:1354-1355, 1972.
 - 27) McFarland, B. : *Pseudarthrosis of the Tibia.* *J. Bone and Joint Surg.*, 33B:36-46, 1951.
 - 28) Mckee, D.M. : *Microvascular Bone Transplantation.* *Clin. Plast. Surg.* 5:283, 1978.
 - 29) Moore, J.R. : *Delayed Autogenous Bone Graft in the Treatment of Congenital Pseudarthrosis.* *J. Bone and Joint Surg.*, 31:23-29, 1949.
 - 30) Morrisy, R.T. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia; Factors that Affect the Results.* *Clin Orthop.* 166:21-27, 1982.
 - 31) Murray, H.H., and Lovell, W.W. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia. A long-term Follow-up Study.* *Clin. Orthop.*, 166:14-20, 1982.
 - 32) Norton, L.A., London, G.A., and Bourret, L.

- A. : *Epiphyseal Cartilage c-AMP Changes Produced by Electrical and Mechanical Perturbations*. *Clin. Orthop.*, 124:59-68, 1977.
- 33) Parterson, D.C., Lewis, G.N., and Gass, C.A. : *Treatment of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia with Direct Current Stimulation*. *Clin. Orthop.*, 148:129-135, 1980.
 - 34) Riseborough, E.J., Morrissy, R.T., Hall, J.E., Bernal, J., and Trott, A.W. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia; Results in Forty Patients*. *J. Bone and Joint Surg.*, 56-A:1312, 1974.
 - 35) Sage, F.P. : *Congenital Anomalies*. In *Campbell's Operative Orthopedics*. St. Louis, C.V. Mosby Co.
 - 36) Sofield, H.A. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia*. *Clin. Orthop.*, 76:33-42, 1971.
 - 37) Sofield, H.A. :, and Miller, E.A. : *Fragmentation, Realignment and Intramedullary Rod Fixation in Living Bones in Children*. *J. Bone and Joint Surg.*, 41-A:1371-1391, 1959.
 - 38) Tamai, S., Fufui, A., and Shimizu, T. : *Presentation at the Sixth Symposium of the International Society of Reconstructive Microsurgery*. Melbourne, Australia, February 5, 1981.
 - 39) Van Nes, C.P. : *Congenital Pseudarthrosis of the Leg*. *J. Bone and Joint Surg.*, 48-A:1467-1483, 1966.
 - 40) Weiland, A.J., and Daniel, R.K. : *Congenital Pseudarthrosis of the Tibia: Treatment with Vascularized Autogenous Fibular Grafts: A Preliminary Report*. *John Hopkins Med. J.*, 147:89, 1980.
 - 41) Yasuda, I., and Fukuda, E. : *On the Piezoelectric Effect of Bone*. *J. physiol. Soc. Jap.*, 12: 1158, 1957.
 - 42) Yasuda, I. : *Fundamental Aspects of the Fracture Treatment*. *J. Kyoto Med. Soc.*, 4:395-406 1953.