

삼입성 전기 자극법을 이용한 난치성 불유합의 치료

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

유명철 · 배대경 · 이용걸 · 안덕호 · 조궁희

—Abstract—

Treatment of Intractable Nonunion of the Long Bone with the Invasive Electrical Stimulation

Myung Chul Yoo, M.D., Dae Kyung Bae, M.D., Yong Gil Rhee, M.D.,
Deok Ho Ahn, M.D., and Goong Hee Cho, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Kyung Hee Univ., Seoul, Korea.

Nonunion of the long bone is one of the difficult problems in orthopaedic surgery.

We studied the effect of the electrical stimulation. From July, 1980 to August, 1988, 30 nonunions of the long bones were treated with the invasive type electrical stimulator.

The range of follow-up period was from 3 months to 7 years(average, 25 months).

The results were as followings:

1. The good bony union has occurred in 26 cases(86.7%).
2. The previous infection was in 11 cases and its union rate was 100%.
3. The average duration of bone union in over-all cases was 5. months and in previous infected cases, was 5.5 months.
4. The average duration of bone union in open fracture was 5.5 months and in closed fracture, was 5 months.
5. The invasive electrical stimulation was a good technique to treat the intractable nonunion as the result of long bone fracture.

Key words : Nonunion, Long bone fracture, Invasive electrical stimulation

서 론

장관골의 불유합은 골절 치료에 항상 문제가 되는 합병증 중의 하나로, 특히 과거력상 감염력이 있거나 이미 여러 차례 골유합을 위해 수술적 치료

를 한 경우 그 치료에 있어 많은 문제점을 야기시킨다. 이러한 문제점의 해결을 위해 골유합을 촉진시키려는 많은 연구가 있어왔으나 그중에서도 전기자극법이 획기적인 치료방법의 하나로 등장하였다. Yasuda^{23, 24, 25} 등은 골의 압전기적(Piezoelectricity) 성질로써 Wolff 법칙을 설명하면서 골에 가한 동적에너지가 전기적 에너지로 전환 된다고 주장하였다. 장관골에 압박을 가하면 음극이 나타나고,

※ 본 논문의 요지는 1988년 대한골절학회 추계학술대회에서 발표되었음

장력을 가하면 양극의 전기적 성질이 나타나며, 음극에서는 골의 형성이 촉진되고 양극에서는 골흡수가 일어난다고 발표한 것이 실제적으로 전기자극법의 효시라고 할 수 있다. 또 Friedenbergl^{14,15)} 등은 stress 없이도 골에는 전기 잠재성이 있어 골간단에는 음성이, 골단과 골간에는 양성이 존재하며 만약 골절이 일어나면 이 부위가 음성을 나타내게 되어 이를 Bioelectricity 라고 하였다. 또한 삽입성 전기 자극법은 Dwyer¹³⁾가 posterior spine fusion에 시도함으로써 임상적으로 이용되기 시작하였다. 그 이후에도 전기자극이 골형성을 촉진한다는 가설을 뒷받침하는 많은 실험^{10, 11, 15, 17)} 및 임상연구^{7, 8, 14, 18)} 결과가 나오므로써 전기 자극법은 난치성 불유합의 치료에 있어서 큰 역할을 담당하게 되었다.

본 경희대학교 정형외과학 교실에서는 장관골의 외상성 골절로 인한 불유합 환자 30명에 대하여 삽입성 직류 전기 자극법을 이용한 치료로써 좋은 결과를 얻었기에 문헌 고찰과 함께 보고하는 바이다.

연구 대상 및 방법

연구 대상으로는 1980년 7월부터 88년 8월까지 8년 1개월간 전기자극법을 이용하여 난치성 불유합을 치료 받았던 환자 중, 삽입성 전기자극기를(Invasive electrode) 사용했던 30례를 대상으로 하였다. 전기자극기 삽입술의 적응증으로는 이전에 골이식술을 포함한 다른 수술적 치료를 받았던가, 감염이나 개방성 손상 후의 불유합이나 지연유합을 대상으로 하였고, 불유합의 판정은 수상 후 충분한 기간이 경과하였으나 임상 및 방사선 소견상 유합의 소견이 전혀 없는 경우를 대상으로 하였다. 추시기간은 최단 3개월에서 최장 7년까지 평균 25.2개월이었고, 연구에 사용되었던 전기자극기의 유형은 전예에서 삽입성 전기자극기였다.

증례 분석

연령 및 성별 분포를 보며 최소 14세에서 최장 81세로써 평균 연령은 43세였으며, 남자 24례, 여자 6례였다. 손상 측부는 우측 13례, 좌측 17례로 좌측이 더 많았고, 손상부위별로 나누어 보면 경골 1

9례, 대퇴골 7례, 상완골 3례, 척골 1례로서 경골이 가장 많았고, 특히 원위부에서 가장 많았다(Table 1).

최초 골절의 유형은 개방성 골절 15례(50%), 폐쇄성 골절 15례(50%)로서 같은 비율을 차지했다(Table 2).

전기자극기 삽입 이전에 시행받은 수술 횟수는 평균 2.13회였으며, 특히 골이식술을 시행받았던 경우가 총 30례중 18례였다.

전기자극기 삽입 이전에 감염력이 있었던 경우가 총 30례중 11례였는데 개방성 골절에서 7례, 폐쇄성 골절에서 4례였으며, 경골에서 가장 많았다. 감염력이 있는 경우나 감염이 동반된 경우는 감염이 소실되어 이학적 소견상 감염의 증후가 없어지고

Table 1. Sites of the Fracture

Sites	Proximal	Middle	Distal	Total
Tibia	2	3	14	19
Femur	4	3	-	7
Humerus	-	2	1	3
Ulna	-	-	1	1
Total	6	8	16	30

Table 2. Types of the Fracture

	Open	Closed	Total
Tibia	13	6	19
Femur	1	6	7
Humerus	-	3	3
Ulna	1	-	1
Total	15	15	30

Table 3. Previous Infection

	Open	Closed	Total
Tibia	6	-	6
Femur	1	3	4
Humerus	-	1	1
Ulna	-	-	-
Total	7	4	11

난 후 평균 6주 경과하여 전기자극기를 삽입했는데, 이때의 평균 ESR/corrected ESR치는 20.3/12.6mm/min 이었다(Table 3).

수상 후 전기자극기 삽입까지의 기간은 최단 3개월 반에서 최장 16년 3개월로서 평균 11.2개월이었는데, 여기서 수상 후 16년이 경과하여 본원에 내원하였던 예는 평균 산출에서 제외하였다.

총 30예 중 15예에서 전기자극기를 제거하였는데 제거시키는 삽입 후 최단 5개월 3주에서 최장 2년 1개월까지 평균 9.6개월이었다.

결 과

유합률(Union rate)을 보면 삽입성 전기자극기 삽입술을 시행받은 총 30예 중 개방성 골절에 의한 불유합에서 13예, 폐쇄성 골절에 의한 불유합에서 13예, 총 6예에서 임상 및 방사선 소견상 양호한 골유합을 보여 86.7%의 유합률을 나타냈고, 골절 유형에 따른 유합률은 유의한 차이가 없었다(Table 4).

또 30예 중 25예에서는 골이식술이 병행되었는데 그중 21예에서 골 유합을 보였고, 골이식이 병행되지 않았던 5례중 1례를 제외한 4례에서 골유합을 보였으나 각각의 비교는 중례차이가 너무 커서 골이식술 병행의 유효성에 대한 통계적 의의는 없는 것으로 보인다.

총 30례중 양호한 골 유합을 보인 26례에서 골유합기간은 최단 2개월에서 최장 11개월로서 평균 5.2개월이었으며, 부위별 평균 유합 기간은 경골이 6개월, 대퇴골 5.2개월, 상완골 3.6개월로 나타나 경골에서의 유합기간이 가장 긴 것으로 나타났다. 골절 유형에 따른 유합기간은 개방성 골절에 의한 불유합의 경우 평균 5.5개월이었고, 폐쇄성 골절에 의한 불유합의 경우는 평균 5개월로서 큰 차이가 없었다(Table 5).

전기자극기 삽입전 감염력이 있었던 11례중, 골유합이 전예에서 일어나 100%의 유합률을 보였고, 그 유합기간은 각각 경골 5.4개월, 대퇴골 5.9개월로 나타나 전체 평균 유합기간(5.2개월)과 큰 차이가 없었다(Table 6).

Table 4. Union Rate

	Open	Closed	Total
United	13	13	26 (86.7%)
Failed	2	2	4 (13.3%)
Total	15	15	30

* Previous infection cases : 100% union

Table 5. Union Time

Sites	Months (av.)
Tibia	6.0
Femur	5.2
Humerus	3.6
Ulna	5.0
Total	5.2

Table 6. Union time in previous infected cases

Sites	Months (av.)
Tibia	5.4
Femur	5.9
Humerus	4.5
Total	5.5

Table 7. Causes of Failure

Causes	Cases
Infection	2
Insufficient immobilization	1
Large gap of bone	1
Total	4

전기자극기 삽입술로 성공을 거두지 못했던 4예의 원인을 분석한 결과 감염으로 인한 불유합이 2례, 불충분한 고정기간 1례, 골절부위의 골간격이 너무 컸었던 1례 등으로 나타났는데 이 중 불충분한 고정기간과 과대한 골 간격으로 인한 불유합의 예에서는 전기자극기를 제거하면서 골단축술 및 급속내고정술을 골이식술과 같이 시행하여 골유합을

얻었으며, 감염으로 인한 불유합 예중 1예는 전기자극기 및 금속판을 제거하면서 소파술과 함께 Kuntscher 정 골수강내 고정술을 시행하여 골유합을 얻었으나 나머지 1례의 불유합의 경우에서 금속판 및 전기자극기 제거후 3차례의 소파술 및 한차례의 골이식술을 시행했으나 골유합을 얻지 못해 현재 석고 고정을 하면서 추시중에 있다(Table 7).

종례 보고

종례 1 : 이○웅, 남자 43세

내원 5개월전에 교통사고로 좌측 대퇴골의 분쇄상 골절에 대하여 타병원에서 금속판 내고정술을 시행받고 난 후, 계속되는 대퇴골의 감염 증상때문에 본원으로 전원되어 온 예로서, 수상 6개월에 금속판 제거술 및 Hoffmann 외고정으로 감염을 치료하다가 소파술과 골이식술을 한번 시행하고 나서 1년 3개월동안 석고고정을 하다가 Hoffmann 을 제거했으나 골유합의 소견이 보이지 않아 그로부터 1개월 후 금속판 내고정 및 삼입성 전기자극기 2개를 삽입하면서 골이식술을 같이 시행하고 난

Fig. 1. **A** : Initial open, segmental, comminuted fracture at left femur. **B** : Immediate postop. radiograph after the open reduction & internal fixation. **C** : Posttrauma 6Mon, Fixatives removal & Hoffmann external fixation. **D** : Posttrauma 1Yr 9Mon, Hoffmann fixatives removal, the evidence of bony union was not seen. **E** : Radiograph after 2 electrodes insertion, internal fixation & bone graft. **F** : Postop. 8Mon, the evidence of bony union could be seen.

Fig. 2. **A** : Radiograph of pathologic fracture of right humerus shaft, posttrauma 3Mon. **B** : Posttrauma 4Mon, Rush pin IM nailing. **C** : Posttrauma 7Mon, Monofixateur external fixation. **D** : Posttrauma 18Mon, Vascularized fibular graft. **E** : the electrode insertion & bone graft with Rush pin IM mailing. **F** : the last follow-up radiograph after the removal of the electrode.

후, 4개월의 석고고정 끝에 8개월만에 골유합을 얻었다(Fig. 1).

증례 2 : 이○석, 남자 45세

수상 약 1개월전에 발열과 함께 우측상박부에 동통 및 압통이 심하여 한방 치료로 증상이 소실된 병력이 있는 환자로서, 수상 당일 골프 스윙중에 갑자기 우측 상박부에 심한 동통이 발생하여 타병원에서 우 상박골 골절로 진단받고 Rush pin을 이용한 골수강내 고정술을 시행하였으나 계속 불유합의 소견을 보고 본원에서 수상 7개월째에 Monofixateur 을 이용하여 외고정술을 시행하였으나, 감염 및 valgus angulation이 점점 더 심해 외고정 1개월 만에 생비골 이식술을 시도했으나 계속적인 배농과 불유합이 소견을 보여 수상후 1년 8개월만에 감염의 소견이 소실된 후 K-강선 내고정과 Rush pin의 골수강내 고정술 및 전기자극기 삽입술과 골이식술을 시행한 결과 수술후 5개월만에 X-선 소견상 골유합의 소견을 보여 수술후 8개월만에 전기자극기

를 제거하였다(Fig. 2).

증례 3 : 황○남 여자 54세

내원 약 16년전에 교통사고로 우측 대퇴골 전자하부 골절에 대하여 타병원에서 3회의 관혈적 정복 및 금속내고정술과 3회의 골이식술을 시행받은 바 있으나 지속되는 불유합을 주소로 본원에 전원되어 온 환자로서, 이미 타병원에서 시행받은 Küntscher 골수정과 금속판 등의 금속들을 제거하고 난 다음, Judet 금속판으로 고정하고 자가 골 이식술 및 pyrost 를 이용한 이식술을 2개의 전기자극기 삽입술과 동시에 시행하여 수술 7개월만에 양호한 골유합을 얻었다(Fig. 3).

증례 4 : 박○선, 여자 48세

교통사고에 의한 우측 대퇴골 간부의 폐쇄성 분절 골절에 대하여 타병원에서 금속판 내고정술을 시행받았으나 지연유합이 계속되어 수상 9개월만에 삽입성 전기자극기 삽입술 및 골이식술을 시행하였다. 분절 골절 부위중, 원위부에 전기자극기의

Fig. 3. A,B : Posttrauma 16 Yrs, the radiograph of the open reduction & internal fixation state. The bony union was not accomplished. **C :** 2 electrodes insertion & bone graft. **D :** Radiograph of postop. 10Mon, the satisfactory callus formation around the fracture site.

Cathode를 삽입시켜 놓았는데 수술후 원위부의 유합은 비교적 잘 진행되었으나 근위부골절의 유합 소견을 잘 보이지 않았다. 수술 9개월째에 근위부 불유합의 병적골절이 일어나면서 감염의 소견을 보여 수술후 1년3개월만에 금속판을 제거하고 소파술을 시행한 뒤, Interlocking intramedullary nailing 을 시행하여 6개월만에 골유합을 얻었다(Fig. 4).

증례 5 : 이○민, 남자 20세

길 건너다 택시에 부딪혀 수상당한 환자로서

우측 대퇴골 간부의 폐쇄성 골절에 대하여 골전인후 금속판 내고정과 골이식술을 시행하였으나 수술 10개월에 금속판이 loosening 소견을 보이면서 lateral angulation이 점차 심해지고 감염의 소견 보여 수술후 1년 5개월만에 금속판을 제거하였다. 그후 체중을 부하하여 보행하다가 낙상하여 병적골절이 일어나 2주간 골 전인하다가 Monofixateur 로 외교정을 시행했으나 골유합이 되지 않고 감염이 계속되어, 감염이 소실된지 4개월만에 삽입성 전기

Fig. 4. **A :** Posttrauma 5 Mon, the state of th internal fixation. The bony union was mot accomplished. **B :** Posttrauma 9 Mon, the electrode insertion & bone graft were performed. **C :** Postop. 9 Mon, the pathologic fracture was happened with the continuous pus discharge at the proximal fracture site. **D,E :** Postop. 1Yr 3Mon, the electrode & plate removal and interlocking intramedullary nailing were performed. **F :** Good union process was seen in the last follow-up radiograph.

Fig. 5. **A :** Initial radiograph of right femur shaft colsed fracture. **B :** Open reduction & internal fixation with bone graft. **C :** Posttrauma 1 Yr 6Mon, the plate & screws removal due to plate loosening & infection. **D :** Posttrauma 1 Yr 7Mon, the pathologic fracture was happened. **E :** Monofixateur external fixation. **F :** 4 Mon after the external fixation, the electrode insertion & bone graft were performed. **G,H :** In the last follow-up radiograph, the good bony union process was seen.

양호한 골유합을 얻을 수 있었다(Fig. 5).

고 찰

전기자극으로 골형성을 촉진시킬 수 있다는 것은 기초 연구 및 임상실험을 통해서 입증되었으며, Connolly¹²⁾에 의하면 이러한 전기자극은 골형성 기간을 단축시키는 것은 아니고, 골형성의 유도에 도움을 주며 유도 후 골유합까지의 기간은 일반적으로 골절치유에 소요되는 기간과 같다고 하였다.

전기자극의 종류에는 여러가지가 있는데 준삽입성 직류전기 자극법(Semiinvasive electrical stimulation)은 1971년 Friedenber¹⁴⁾이 10 μ A의 직류를 이용하여 경골 원위부 내과 불유합의 치료에 성공한 최초의 예를 보고하였고, 1975년 Brighton 등은 준삽입성 전기자극으로 83.7%에서 성공하였다고 보고하였다.

Basset등은 비삽입성 전기자극법으로서의 Electromagnetic field가 직접적인 골형성 보다는 오히려 섬유연골성 불유합에 있어서의 석회화 과정을 자극함으로써 골형성을 유발시킨다고 주장하면서 127례의 경골 불유합에서 87%의 성공율을 발표하였다.

본 논문에서 사용하였던 삽입성 전기자극법은 1974년 Dwyer¹³⁾가 Posterior spinal fusion에 시도한 이래 1980년 Paterson²⁰⁾등이 삽입성 전기자극법으로 85.7%의 유합률을 발표한 바 있어 본 논문에서의 유합률과 거의 비슷하였다.

삽입성 직류전기 자극기는 무게 10.6g으로 매우 가볍고 45mm \times 22mm \times 6mm로 크기도 적으며 길은 순수한 티타늄으로 처리되어 있다. 또 전원 연결시 최소한 8개월 이상은 계속 전류를 방출하게 되어있다. 이 삽입성 직류전기 자극법의 장점은 체내에 삽입하는 휴대용으로서 환자의 협조가 필요 없는 점과 척추 가관절증에도 사용 가능하다는 점 등이 있고, 금속고정술이나 골이식술을 동시에 시행할 수 있다는 것이 또한 장점이다. 단점으로는 수술을 두번 해야하고, 그에 따른 감염의 위험성이 크고 제거시 음극을 골내에 남기게 되며 적정량의 전류가 흐르고 있는지의 여부를 측정할 수 없다는 점

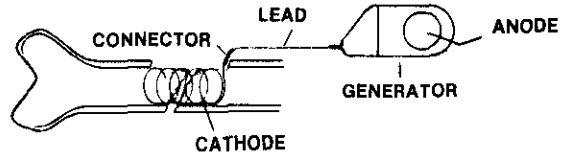


Fig. 6. Characteristics of electrical stimulator

Power source; Lithium iodine cell of 220 mAh capacity.

Electronics; Solid state circuitry maintaining cathod current at a constant 20 μ A regardless of changes in bone / tissue resistance over a range of 0-100K Ohms.

Anode; Circular, Platinized for anodic function surface area 201mm.

Lead; 15cm length of drawn brazed stranded 316 LVM and Ag, insulated with silicon and terminating in a titanium connector socket.

Cathod; 25cm of 3-strand titanium wire, terminating at one end in a titanium connector pin.

Deliver its full rated current for at least 8 months.

등이 있다(Fig. 6).

전기자극법의 적응증으로는 이전에 골이식술을 포함한 다른 수술적 치료를 했거나, 감염 또는 개방성 손상이후에 오는 불유합이나 지연유합이 해당된다. 여기서 골절 후 불유합으로 판정하는 시기가 문제시 되는데 Jackson and Nicoll^{16,20)} 등은 조기 골이식술을 반대하여 골이식 전 최소한 6개월간의 경과를 보아야 한다고 하였다. 한편 Charnley and Soutter^{9,22)} 등은 골절 3~4개월 이후라도 골절부에 명백한 가운데동이 있을시, 불유합으로 판정하고 즉시 이에 대한 치료를 시행해야 더 좋은 기능적 결과를 얻을 수 있다고 하였다. 본 논문에서는 수상 후 전기자극기 삽입까지의 기간이 평균 약 11개월로서 매우 지연된 것으로 나타나 있는데 대부분의 예에서 불유합이 진행된 후 본원에 내원한 까닭으로 생각된다.

감염된 불유합에 있어서의 전기 자극요법은 저자에 따라 성적차이가 있는데, Meyer and Weiland¹⁾ 등은 93.8%의 성공률을 보고 하였고, Paterson²¹⁾ 등은 86%로 발표하였으나 여러 저자들은 감염된 불유합의 경우 골유합에 실패한 것으로 보고한 바

있다. 또한, Boyd⁵⁾는 배농이 멈춘후 최소한 6개월 이상 경과해야 골이식수술이 가능하다고 보고하였는데, 본 논문에서는 active한 감염의 증후가 있는 상태에서는 삽입성 전기자극법을 적용시키지 않았으며, 감염의 증후가 소실되고 나서 약 6주 경과하여 검사상 ESR치가 정상이 되고 난후, 삽입성 전기자극법을 시행한 결과 100%의 유합률을 보였다. 이로써 감염된 불유합에서도 삽입성 전기자극법이 유효하다는 것을 강력히 시사하고 있다.

전기자극의 실패 원인으로는 Paterson²⁾이 주장한 음극의 위치가 좋지 않은 경우, 조기에 고정물 제거한 경우, 전기자극의 기간이 불충분한 경우 등의 중요한 원이 이외에도 전류량이 불충분한 경우, 환자의 협조가 미흡한 경우, steroid 투입이나 감염이 동반될 경우, 마지막으로 원인불명 등을 들 수 있으며, 그 실패요인을 감소시킴으로써 보다 높은 성공률을 이룰 수 있을 것으로 보인다.

결 론

본 경희대학교 정형외과학교실에서 30예의 난치성 불유합 환자에 대하여 삽입성 전기 자극법을 시행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 30예의 난치성 불유합에서의 삽입성 전기자극을 시행 결과, 86.7%의 골유합률을 나타냈다.

② 전기자극기 삽입이전에 감염을 동반했던 11예에서의 골유합률은 100%였다.

③ 전기자극기 삽입 후, 골유합에 소요되는 기간은 평균 5.2개월이었다.

④ 감염을 동반했던 예의 유합기간은 평균 5.5개월로서 전체 평균과 큰 차이가 없었다.

⑤ 골절의 유형에 따른 개방성 및 폐쇄성 골절에 의한 불유합간의 골유합기간상 차이도 없었다.

이상에서 난치성 불유합의 치료로써 전기자극을 이용한 삽입성 전기자극법은 매우 좋은 방법으로 사료된다.

REFERENCES

1. 정문상, 한문식, 이덕용, 이상훈, 김용훈: 전기자극

을 이용하여 치료한 선천성 가관절증과 불유합의 임상경험. 대한정형외과학회지, 16:519, 1981.

2. 유명철, 배대경, 김종관, 안용성: 전기자극법을 이용한 장관골의 불유합 치료. 대한정형외과학회지, 18:1177, 1983.

3. 최인호, 이덕용, 이지호, 이은용: 생체 정상전위와 골내 유도전위에 관한 연구. 대한정형외과학회지, 21:979, 1986.

4. Bassett, C.A.L., Mitchell, S.N. and Gaston, S.R.: *Treatment of Ununited Tibial Diaphyseal Fractures with pulsating Electromagnetic Fields*. J. Bone and Joint Surg., 63-A:511-523, 1981.

5. Boyd, H.B. and Lipinsky, S.W.: *Causes and treatment of Non-union of the shaft of long Bones, with a Review of 741 patients. Instructional course lectures, the American Academy of Orthopedic Surgeons* 17:165-183. St. Louis, C.V. Mosby, 1960.

6. Brighton, C.T., Black, J., Friedenberg, Z.B., Esterhai, I.L. and Connolly, J.F.: *A Multicenteric study of the Treatment of Non-union with constant Direct current*. J. Bone and Joint Surg., 63-A:2-13, 1981.

7. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B., Day, Clark, R.N. and Connolly, J.E.: *Treatment of Non-union with Direct current: A Multicenter study*. J. Bone and Joint Surg. 63A:2-11, 1981.

8. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B., Zemsky, L.M. and Pollis, P.R.: *Direct current stimulation of Non-union and congenital pseudoarthrosis*. J. Bone and Joint Surg., 57A:368-377, 1975.

9. Charnley, J.: *The closed treatment of common fractures*, Edinberg, London, E.S. Livingston Ltd. 1957, 1963.

10. Ciezynski, Y.: *Studies on the Regeneration of Ossal Tissue. II. Treatment of Bone Fractures in Experimental Animals with Electric Energy*. Arc. Immunol. Ther. Exp., 11:199-217, 1963.

11. Connolly, J.F., Hahn, Henry, and Jardon, J.O.: *The Electrical Enhancement of periosteal proliferation in Normal and Delayed Fracture Healing*. Clin. Orthop., 124:97-105, 1977.

12. Connolly, J.F.: *Selection, Evaluation, and Indication for Electrical stimulation of Ununited Fractures*. Clin. Orthop., 161:39, 1981.

13. Dwyer, A.F.: *Direct current stimulation in spinal*

- fusion. Med. J. Aust. 1:73. 1974.*
14. Friedenbergl, Z.B., Harlow, M.C. and Brighton, C.T. : *Healing of Non-union of the Medial Malleolus by means of Direct Current: A case report. J. Trauma, 11:883, 1971.*
 15. Friedenbergl, A.B., Roberts, P.G. Jr., Didizain, N.H. and Vrighton, C.T. : *Stimulation of fracture Healing by Direct Current in the rabbit Fibula. J. Bone and Joint Surg., 53A:1400-1408, 1971.*
 16. Jackson, R.W. and Macnab, I. : *Fractures of the shaft of the tibia. Am. J. Surg., 97:543, 1959.*
 17. Lavine, L.S., Lustrin, I. and Shamos, N.H. : *Experimental Model for Studying the Effect of Electric Current on Bone in vivo. Nature, 224:1112-1113, 1969.*
 18. Masureik, C. and Erickson, C. : *Preliminary Evaluation of the effect of Small currents on the Healing of Jaw Fracture. Clin. Orthop., 124:84-91, 1977.*
 19. Meyer, S. and Weiland, A.J. : *The Treatment of Infected Non-union of Fracture of Long Bone. J. Bone and Joint Surg. 57A:836-841, 1975.*
 20. Nicoll, E.A. : *Fractures of the tibia shaft: A Survey of 705 cases. J. Bone and Joint Surg. 46:373, 1963.*
 21. Paterson, D.C., Lewis, G.N. and Gass, C.A. : *Treatment of Delayed Union and Non-union with an Implanted Direct Current stimulator. Clin. Orthop., 148:117, 1983.*
 22. Souter, W.A. : *Autogenous Cancellous Strip graft in the Treatmnt of Delayed union of long Bone Fractures. J. Bone and Joint Surg., 51B:63, 1969.*
 23. Yasuda, I. : *Elcetrical callus and callus formation by Electret. Clin. Orthop., 124:53, 1977.*
 24. Yasuda, I. : *Fundamental Aspects of Fractures Treatment. Clin. Orthop., 124:5, 1977.*
 25. Yasuda, I. and Fukuda, E. : *On Piezoelectric Effect of Bone. J. Physiol. Soc. Jap., 12:1158. 1957.*