

## 전기 자극을 이용한 감염된 불유합 치료의 임상 적용

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

이덕용 · 정문상 · 장재석 · 황규천

= Abstract =

### Clinical Application of Direct Current Stimulation in the Treatment of Infected Non-Unions

Duk Yong Lee, M.D., Moon Sang Chung, M.D., Jay Suk Chang, M.D. and Kyu Chun Hwang, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Seoul National University*

In the treatment of an infected ununited fractures of a long bone, it often is difficult to achieve union and eradicate the infection.

Over the past two decades, the electrical behaviour of bone has been studied with increasing interest and several reports reveal that electricity can stimulate osteogenesis.

We have experienced 11 cases of infected non-union who were treated by immobilization plus direct current stimulation from January, 1980 to July, 1982. In all cases satisfactory union occurred within averaging 8.1 months.

The results obtained are as follows:

1. The direct current stimulation has revealed to be effective with antibiotics and some kinds of immobilization in treatment of infected non union.
2. If bone graft is combined with electrical stimulation, time from beginning of electrical treatment to union is shortened, as compared with cases of electrical stimulation alone.
3. The electrical stimulation is preferable to other surgeries in treatment of infected non-union due to its effectiveness and simplicity.
4. It is considered treatment of chronic osteomyelitis with silver anode is not due to electrically generated silver ion but its electricity per se.
5. To prevent refracture and assure complete healing, continued immobilization such as cast brace, walking cast, or conventional brace is necessary after electrical stimulation for the time being.

**Key Words:** Direct current stimulation, Infected non-union, Long bone.

### 서 론

Yasuda와 Fukada (1953)<sup>33,19)</sup>에 의해서 Stress generated potential과 Friedenberg와 Brighton (1966)에 의해서 Nonstressed bone에서 Bioelectrical or Standing potential이 발견되었고, Friedenberg (1971)<sup>19)</sup>는 이러한

\* 본 논문은 1982년도 서울대학교병원 특진연구 보조비  
로 이루어진 것임.

사실을 임상적으로 이용하여 처음으로 내골과(medial malleolus)의 불유합에 전기자극으로 골유합을 성공시킨 후 지금까지 선천성 가관절증, 불유합 및 병적 골절 등에서 전기자극을 이용한 좋은 결과가 발표되어 왔다.

본 서울대학교병원 정형외과에서는 감염된 불유합(infected nonunion) 11례에 대해서 직류 전기자극을 시행한 결과 만족스런 결과를 얻었기에 문헌 고찰과 함께 보고하는 바이다.

## 대상 및 방법

1980년 1월이후부터 1982년 7월까지 본 병원 정형외과에 입원하여 전기자극 치료를 받은 감염된 불유합 11례를 대상으로 하였으며 감염된 불유합의 판정은 적어도 3개월 간격으로 촬영한 방사선 소견상 감염의 소견과 점진적인 치유(progressive healing)의 증거가 전혀 없고 동시에 임상적으로는 골절부위의 움직임과 배농의 병력이 있는 경우로 정했다.

사용한 자극기구는 자체에서 개발한 9V의 건전지 전압을 이용하여 10—20 $\mu$ A의 직류 미세 전류를 통하게 할

수 있는 Power pack과 절연된 Stainless강선으로 음극(cathode)이 1—3개, 양극(anode)이 1개 되게 반 침습(semi-invasive)방법으로 장치하였고 1주일에 한번씩 미세 전류 측정기로 전류가 10 $\mu$ A 이하로 떨어지면 건전지를 새로 교환하게 하였다.

## 수술 방법

전신 또는 척추마취하에서 수술장에서 Polyethylene 또는 Teflon으로 끝의 1cm만 남기고 절연시킨 Stainless강선을 전극(electrode)으로 사용한 후 감염된 불유합 부위를 노출시키고 1—3개의 음극을 불유합 부위에

**Fig. 1.** A) 관혈적 정복 5개월후 골감염 및 불충분 내고정으로 인한 변형소견을 보인다 B) 금속판과 나사 제거후 Steinmann pin고정 및 핀 석고고정을 시행 C) 전기자극 2개월후 X-선 소견으로 연결가골이 보인다 D) 전기자극 5개월후 양호한 선열(alignment)과 골유합 소견이 보인다.

**Fig. 2.** A) 분쇄성 개방성 상박골 골절 수술전 방사선소견 B) Rush정으로 내고정을 시도 C) Rush정 고정 3개월후 그 동안 골유합의 소견을 보이지 않아서 전기자극, 금속판 내고정 및 골이식을 시행하였다 D) 전기자극 8개월후 골유합 소견을 보인다.

직접 또는 그 부위 가까이 삽입하였다. 특히 증례 9에서는 전기자극 이외에 내고정을 금속판과 나사로 시행하였으며 금속판의 빈 나사구멍을 통해서 음극을 불유합 부위에 도달시켰다(Fig. 2). 또한 전기자극중에는 외부 골고정(external skeletal fixation), 석고붕대등으로 불유합 부위의 고정을 도모하였다.

## 증례

### 증례 1 (Fig. 1): 정○○, 남자, 29세

교통사고로 우측 경비골의 폐쇄성 골절을 받고 2주후에 금속판과 나사로 내고정을 시행한 환자로 입원 1주일 전부터 배농이 있어서 1차 수술후 5개월만에 금속판제거와 피부이식을 시행하였고 다시 3개월후에는 핀 석고고정으로 역시 골유합을 시도하였으나 실패하여 불유합 11개월만에 전기 자극을 5개월간 시행하여 골유합에 성공하였다.

### 증례 2 (Fig. 2): 박○○, 남자, 43세

우측 상박골의 개방성 골절을 받고 Rush 정으로 내고정을 시행하여 골유합을 도모하였으나 실패한 환자로 불유합 3개월만에 전기자극 및 금속판으로 내고정을 시행하였다. 전기자극 5개월만에 연결가골(bridging callus)이 관찰되어 전기자극을 중지하고 그후 3개월간 U형석

고부목(sugar tong splint)으로 추가 고정하여 시술후 8개월만에 완전한 골유합에 성공하였다.

### 증례 3 (Fig. 3): 허○○, 남자, 34세

교통사고로 우측 대퇴골의 폐쇄성 골절을 당한 후 Küntscher 정으로 관혈적 정복을 시도하였으나 골수염이 합병되어 Küntscher 정을 제거한 후 전기자극과 핀 석고고정을 시도하였다. 4개월후 전기자극을 중단하고 남아 있는 골결손 부위에 골이식을 시행하여 전기자극 시술후 16개월만에 골유합에 성공하였다.

## 증례분석 및 고찰

전기자극 치료를 받은 11례의 환자(Table 1)모두가 남자로서 그 평균연령은 31세(12—43)였으며 부위별로는 대퇴골 6례(55%), 경골이 3례(27%), 그외 요골 및 상박골이 각각 1례(9%)였다. 또 개방성 골절이 6례(55%), 폐쇄성 골절은 5례(45%)였으며 교통사고에 의한 환자가 8례(73%)로 나타났다. 증례 3은 만성 골수염에 합병된 병적 골절로 생긴 감염된 불유합이고 폐쇄성 골절 5례는 모두가 관혈적 정복에 의해서 감염이 합병된 경우였다.

평균 불유합기간은 7.7개월이며 선행 수술(previous operation)횟수가 1.5회로 나타났다. 사용한 음극의 수는 평균 2.1개이고 보통 10—20 $\mu$ A의 직류전류를 사용

**Fig. 3.** A) 대퇴골 골절을 관혈적 정복한 5개월후 골수염과 골수강 금속정(IM nailing) 고정이 불충분함을 보여준다 B) 전기자극과 핀 석고고정을 시행 C) 전기자극 및 골이식 1.3년후 골유합 소견을 보인다.

Table 1. Case analysis

Case	Sex/ Age	Site	Prior tx.	Duration of Nonunion (Mon.)	Organism	Duration of Electrical Stim. (Mon.)	Concomitant tx./ Additional tx.	Time from beginning of electr. stim. to union (Mon.)	Result	Remarks
1	M/28	Femur	O/R(PS)	3	S. aureus	7	E.S.F.	9	Healed	
2	M/34	Femur	1. O/R(PS) 2. E.S.F.	11	S. epidermidis Pseudo. E. coli	6	BG(1st.)/BG(2nd.) cast brace	11	"	Nonunion until 2nd. B.G.
3	M/36	Femur	1. O/R(PS) 2. PP	10	None	12	E.S.F./functional brace	18	"	Underlying chr. osteo. (path. fx.)
4	M/43	Radius	O/R(PS)	8.5	S. aureus	2.5	BG E.S.F.	2.5	"	Under Stimulation
5	M/20	Tibia	PP	5	S. aureus	3.5	E.S.F./Short leg brace	4.5	"	
6	M/37	Femur	1. O/R(PS) 2. PP	14	Pseudo. Proteus klebsiella	3	BG/cast brace PP/functional brace	6	"	Cast wedging due to angulation
7	M/29	Femur	1. O/R(PS) 2. PP	11	S. aureus Pseudo. Proteus	5	Long leg/Long leg cast brace	5	"	Pin tract infection (anode)
8	M/28	Femur	O/R(PS)	6	S. aureus	3.5	E.S.F.	5.5	"	
9	M/43	Humerus	O/R(RP)	3	Enterobacter Acinobacter	5	PS/brace BG	8	"	Pin tract infection (cathode)
10	M/34	Femur	O/R(IM)	8	S. epidermidis Pseudo.	4	PP/BG	16	"	
11	M/12	Tibia	1. O/R(SP) 2. E.S.F. 3. Living bone transfer	5.5	Pseudo.	4	BG/Short leg brace	4	"	

O/R: Open reduction PS: Plate & screw RP: Rush pin SP: Steinmann pin PP: Pin & plaster E.S.F.: External skeletal fixation IM: IM nailing  
BG: Bone graft

하였으며 전기자극 기간은 평균 5.0개월이었다. 전기자극시 같이 병행한 치료로는 외부 고정정이 6례, 골이식술이 5례 금속판과 나사 내고정이 1례, 핀 석고고정 2례, 그리고 석고 봉대 고정이 1례였다.

농배양 (pus culture) 결과는 대개는 혼합감염 (mixed infection)으로 제일 많은 균은 Staphylococcus aureus와 Pseudomonas 계통으로 나타났다.

핀 통로감염 (pin tract infection)이 2례 (중례 7, 9)에서 관찰되었으나 이로 인해서 전극이 저절로 빠지거나 또는 일부러 전기자극을 중단하고 제거할 정도는 아니었다.

중례 2와 10에서는 전기자극이 종결된 후에도 남아있는 골결손 (bone defect)을 메우기 위해서 골이식을 재차 시행하였고 또한 전기자극으로 골생성이 어느정도 진행한 후에는 완전한 골유합을 성취하기 위한 석고 보조구 (cast brace) (중례 2, 6)나 보행용 석고 (walking cast) (중례 7)와 재골절과 안전성을 주기 위한 보조구 (중례 3, 6, 7, 9, 11)를 착용시킨 결과 11례의 환자에서 모두 100%의 가까운 골유합율을 얻었다. 이것은 Brighton과

Friedenberg(1981)<sup>8)</sup> 등이 직류전류로 치료한 감염된 불유합 환자에서 74.4%, Paterson(1980)<sup>9)</sup> 등이 감염된 불유합 경골 골절환자에서 Implanted direct current stimulator로 치료하여 86%, Kirk(1924)<sup>23)</sup> 등이 157명의 감염된 불유합 환자에서 골이식을 시행한 결과 65.6%, Meyer와 Weiland(1975)<sup>24)</sup> 등이 64명의 감염된 불유합 환자에서 해면골이식 (cancellous bone graft)으로 치료하여 얻은 93.8%의 치유율과 비교할 때 좋은 결과라 하겠다. 또 골이식과 전기자극을 같이 시행한 경우 (2, 4, 6, 9, 11) 전기자극만 한 경우에 비해서 전기자극에서부터 골유합까지의 시간이 평균 3.4개월 (9.7-6.3) 단축을 보였으나, 중례 2의 경우는 골이식을 전기자극과 같이 병행하였어도 2차 골이식이 필요했고 또한 치유기간이 연장된 것은 불유합 부위가 0.5cm 이상으로 간격 (gap)이 컸으며 활동성 배출 골수염 (active draining osteomyelitis)의 존재와 전기자극 기구의 잘못으로 전기자극의 조건이 불충분한 것들을 원인으로 생각할 수 있겠다<sup>8, 11)</sup>.

지금까지 생체내 및 외 (in vivo & in vitro) 모형에서 입증된 사실로는

1) Stainless 강선 전극을 사용해서 적당한 전압과 전류를 주면 음극 가까이에서는 골형성이, 양극 주위에는 세포괴사가 온다.

2) 전극 사이에는 저항이 급격히 증가하기 때문에 일정한 전류를 유지하려면 Transistorized control circuit 가 필요하다<sup>18)</sup>.

3) 전기자극에 의한 골형성은  $5\mu A$  이하에서는 골형성이 일어나지 않으며  $20\mu A$  이상에서는 세포괴사를 일으키게 되고 이 사이의 전류에서는 Dose-response curve 를 나타낸다<sup>17)</sup>.

4) 음극중 전기적으로 가장 활발한 부위는 절연된 곳과 절연되지 않은 경계부위로서 그 넓이는  $0.02mm^2$ 이다<sup>4)</sup>.

최근에는 Becker<sup>6)</sup> 등에 의해서 은 양극(silver anode)을 이용한 만성 골수염의 치료를 보고한 바 있으나 아직 이것의 기전은 분명하지 않으며 이들이 주장한 발생하는 은이온 자체의 항균 효과보다는 저자들의 견해로서는 오히려 가해지는 전기조건(electricity)에 의해서 조성되는 환경(milieu)이 세균의 생존에 부적당한 것이 아닌가 생각된다.

## 결 론

본 병원 정형외과에서는 1980년 1월부터 1982년 7월까지 감염된 불유합 11례에 대해서 반침습 방법으로 전기자극을 시행한 결과 모두 100%의 골유합과 함께 다음 결론을 얻었다.

1. 직류 전기자극은 항생제 및 몇 가지 고정술과 함께 감염된 불유합 치료에 유효한 것으로 보인다.

2. 골이식을 같이 병행한 경우는 전기자극만 한 경우에 비해서 그 치유기간이 단축된다.

3. 전기자극에 의한 감염된 불유합의 치료는 다른 어떤 수술적 요법보다 치유율이 높으며 방법이 간단한 점이 장점이라 하겠다.

4. 은 양극(silver anode)을 이용한 골수염의 치료는 발생하는 은이온에 의한 것 보다는 오히려 그 자체의 전기성(electricity)에 의한 것으로 생각된다.

5. 전기자극이 끝난 후에도 골절부위의 완전치유(complete healing)와 재골절을 막기 위해서 석고 보조구, 보행용 석고, 또는 보조구등이 당분간 필요하다.

## REFERENCES

1) 이덕용, 최인호, 이상훈, 정문상 : 전기자극을 이용한 선천성 경골 가관절증. —치형 I레보고— 대한정형외과학회지, 제 15권 제 2호 : 350-355, 1980.

2) 정문상, 한문식, 이덕용, 이상훈, 김용훈 : 전기자극을 이용하여 치료한 선천성 가관절증과 불유합의 임상경험. 대한정형외과학회지, 제 16권 제 3호 : 518-527, 1981.

3) 한문식, 이도영, 김양, 최송 : 골절치유의 전기적 특성에 대한 연구. 대한정형외과학회지, 제 16권 제 3호 : 512-517, 1981.

4) Bassett, C.A.L., Pawluk, R.J. and Pilla, A.A. : *Augmentation of Bone Repair by Inductively Coupled Electromagnetic Fields. Science, 184:575-577, 1974.*

5) Bassett, C.A.L., Pilla, A.A. and Pawluk, R.J. : *A Nonoperative Salvage of Surgically Resistant Pseudoarthroses and Nonunions by Pulsing Electromagnetic Fields. Clin. Orthop. 124:129-143, 1977.*

6) Becker, R.O. and Spadaro, J.A. : *Treatment of Orthopaedic Infections with Electrically Generated Silver Ions. A Preliminary Report. J. Bone and Joint Surg., 60-A:871-881, 1977.*

7) Boyd, H.B., Lipinski, S.W. and Wiley, J.H. : *Observations on Non-Union of the Shafts of the Long Bones, with a Statistical Analysis of 842 Patients, J. Bone and Joint Surg., 43-A:159-168, March 1961.*

8) Brighton, C.T., Black, J., Friendenberg, E.B., Esterhai, I.L. and Connolly, J.F. : *A Multicenter Study of the Treatment of Non-Union with Constant Direct Current. J. Bone and Joint Surg., 63-A:2-13, 1981.*

9) 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, Oct. 1969.*

10) Brighton, C.T., Adler, Stephen, Black, Jonathan, Itada, Nobutomo and Friendenberg, Z.B. : *Cathodic Oxygen Consumption and Electrically Induced Osteogenesis. Clin. Orthop., 107:277-282, 1975.*

11) Brighton, C.T., Friendenberg Z.B., Mitchell, E.I. and Booth, R.E. : *Treatment of Nonunion with Constant Direct Current. Clin. Orthop. 124:106-123, 1977.*

12) Brighton, C.T., Friendenberg, Z.B., Esterhai, J.C., Montique, F., Mitchell, E.I. and Black, J. : *Electrically Induced Osteogenesis: Relationships of Current Density to Quantity of bone Formed. Unpublished data.*

13) Brighton, C.T., Friendenberg, Z.B., Zemsky, L.M.

- and Pollis, P.R. : *Direct-Current Stimulation of Non-Union and Congenital Pseudoarthrosis*. *J. Bone and Joint Surg.*, 57-A:368-377, April 1975.
- 14) Cieszyński, T. : *Studies on the Regeneration of Ossal Tissue. III. Influence of Positive and Negative Electricity upon Callus Formation in Humans*. *Arch. Immunol. Ther. Exp.*, 12:269-295, 1964.
  - 15) Freeland, A.E. and Mutz, S.B. : *Posterior Bone Grafting for Infected Ununited Fracture of the Tibia*. *J. Bone Joint Surg.* 58-A:653, 1976.
  - 16) Friedenber, Z.B. and Brighton, C.T. : *Bioelectric Potentials in Bone*. *J. Bone and Joint Surg.*, 48-A: 915-923, July 1966.
  - 17) Friedenber, Z.B., Zemsky, L.M., Pollis, R.P. and Brighton, C.T. : *The Response of Non-Traumatized Bone to Direct Current*. *J. Bone Joint Surg.*, 56-A: 1023-1030, July 1974.
  - 18) Friedenber, Z.B., Harlow, M.C. and Brighton, C.T. : *Healing of Nonunion of the Medial Malleolus by means of Direct Current: a case report*. *J. Trauma*, 11:883, 1971.
  - 19) Fukada, E. and Yasuda, J. : *On the Piezoelectric Effect of Bone*. *J. Physiol. Soc. Japan*. 12:1158-1162, 1957.
  - 20) Howell, D.S., Pita, J.C., Marquez, J.F. and Madruga, J.E. : *Partition of Calcium, Phosphate and Protein in the Fluid Phase Aspirated at Calcifying Sites in Epiphyseal cartilage*. *J. Clin. Invest.*, 47:1121-1132, 1968.
  - 21) Iida, H. : *Study on Dynamic and Electric Calluses of Bone in Vitro*. *J. Japanese Orthop. Surg. Soc.*, 31:645-664, 1957.
  - 22) Jørgensen, T.E. : *The Effect of Electric Current on the Healing Time of Crural Fractures*. *Acta Orthop. Scandinavica*, 43:421-437, 1972.
  - 23) Kirk, N.T. : *End Results of One Hundred Fifty-eight Consecutive Autogenous Bone Grafts for Non-Union in Long Bones*. *J. Bone and Joint Surg.*, 6:760-799, Oct. 1924.
  - 24) Kraus, V.K. and Lechner, F. : *Die Heilung on Pseudarthrosen und Spontanfrakturen durch Strukturbildende elektrodynamische Potentiale*. *Munch. Med. Wochenschr.*, 114:1814-1820, 1972.
  - 25) Lavine, L.S., Lustrin, Irving, Rinaldi, R.A. and Liboff, A.R. : *Electric Enhancement of Bone Healing*. *Science*, 175:1118-1121, 1972.
  - 26) Meyer, S., Weiland, A.J. : *The Treatment of Infected Non-Union of Fractures of Long Bones*. *J. Bone and Joint Surg.*, 57-A:836-841, Sept. 1975.
  - 27) Noguchi, K. : *Study on Dynamic Callus and Electric Callus*. *J. Japanese Orthop. Surg., Soc.*, 31:641-642, 1957.
  - 28) Norton, L.A., Rodan, G.A. and Bourret, L.A. : *Epiphyseal Cartilage cAMP Changes Produced by Electrical and Mechanical Perturbations*. *Clin. Orthop.*, 124:59-68, 1977.
  - 29) De Oliveira, J.C. : *Bone Grafts and Chronic Osteomyelitis*. *J. Bone Joint Surg.*, 53-B:672, 1971.
  - 30) Paterson, D.C., Lewis, G.N. and Cass, C.A. : *Treatment of Delayed Union and Nonunion with an Implanted Direct Current Stimulator*. *Clin. Orthop.*, 148:117-128, 1980.
  - 31) Robinson, G.A., Butcher, R.W. and Sutherland, E.W. : *Cyclic AMP*. *Ann. Rev. Biochem.*, 37:149-174, 1968.
  - 32) Weigert, M. and Werhahn, C. : *The Influence of Electric Potentials on Plated Bones*. *Clin. Orthop.*, 124:20-30, 1977.
  - 33) Yasuda, I. : *J. Japanese Orthop. Surg. Soc.*, 28:268, 1954.
  - 34) Yasuda, I. : *Study of Bone Dynamics. In Proceedings of the Japanese Society of Orthopaedic Surgery*. *J. Bone and Joint Surg.* 40-A:227, Jan. 1958.
  - 35) Yasuda, Iwao. : *Electrical Callus and Callus Formation by Electret*. *Clin. Orthop.*, 124:53-56, 1977.