

ESTIMULACION ELECTRICA COMO TRATAMIENTO DE ELECCION EN RETARDOS DE CONSOLIDACION Y FRACTURAS NO CONSOLIDADAS

* *Dr. Carlos Prada Winkler*

* *Dr. Oscar Arias Estefan*

Se emplea un estimulador eléctrico de corriente directa constante por medio de clavos percutáneos colocados durante doce semanas en el foco de fracturas en retardo de consolidación o no consolidadas. Se presentan solamente los casos con seguimiento mayor a seis meses; se obtuvo consolidación clínica y radiológica en el 88.2% para un total de 34 fracturas.

Se confirma la bondad del método que se coloca de acuerdo a estos resultados entre los tratamientos para fracturas abiertas o cerradas, en retardo de consolidación o no consolidadas, en donde otros métodos han fracasado.

En nuestro servicio, utilizamos este método para tratamiento de fracturas con las características anotadas, desde agosto de 1980.

Palabras claves: Estimulación eléctrica, fracturas.

An electric invasive stimulator was used in delayed and non union fractures during twelve weeks.

Healings was acquired in 88.2% of 34 fractures.

Good results confirms the utility of this method even in cases where other treatments have been failed.

Key words: Electric stimulation, fractures.

* Médico especialista en Ortopedia y Traumatología de la Facultad de Medicina de la U.P.B. Medellín. Colombia, S. A.
Separata: Dr. Carlos Prada. Apartado Aéreo 1242. Medellín. Colombia.

INTRODUCCION

El hueso es una sustancia peculiar que exhibe fenómenos no explicables por disciplinas biológicas convencionales. Antes se creía que el callo óseo se formaba secundariamente a la ocurrencia de una fractura. Desde hace muchos años se conoce su formación por estímulos mecánicos, térmicos, eléctricos o por irritación química en hueso normal, actuando sobre las células formadoras de hueso en el periostio^{26,32}.

En 1812, en el Hospital St. Thomas de Nueva York, se usó electricidad para estimular la consolidación ósea³¹; en 1853, con los trabajos de Holl en una publicación inglesa "Galvanism in the Ununited Fractures", y de Alfred Garnatt en 1860 "Electrophysiology and Electrotherapeutics", se dieron los primeros pasos en este campo, cuyos principios básicos fueron desarrollados en este siglo desde 1950 por Yasuda^{31,22} y Fukada en el Japón y más tarde por Bassett² y Becker⁵, Shamos y Levine^{26,27} en Nueva York, Friedenber y Brighton^{9,10}, quienes encabezaban cuatro grandes equipos de investigación cuyos trabajos nos han permitido conocer los eventos de la cicatrización ósea, por el influjo de la estimulación eléctrica.

POTENCIALES ELECTRICOS DEL HUESO

En un hueso sometido a carga, se generan potenciales eléctricos negativos en la zona de compresión y positivos en la zona de tensión, llamados POTENCIALES DE ESTRES. Estas señales eléctricas son dadas por la sustancia orgánica y no por la mineral, pues están presentes aún en el hueso descalcificado. De acuerdo con este principio, la porción ósea sometida a compresión es electronegativa y la opuesta, aquella bajo distensión, es electropositiva^{21,28}.

Ahora bien, en el hueso vivo normal como la tibia, las regiones metafisiarias son electronegativas respecto a la diáfisis y si se produce fractura toda la superficie tibial se hace electronegativa, más aún en el foco de la misma, aumentando la actividad osteoblástica para formar callo en la zona electronegativa, hasta la

cicatrización. Entretanto hay otro pico de electronegatividad en la placa de crecimiento del otro extremo, de ahí el sobrecrecimiento del hueso fracturado^{21,32}.

Estos potenciales no se transmiten por vía vascular o nerviosa, pues están presentes aún con ligadura de vasos y denervación, pero sí depende la electronegatividad de la viabilidad celular, pues al matar las células con ondas de ultrasonido de alta frecuencia en un segmento de hueso, cae el potencial en la zona no viable. Al depender de la viabilidad celular, se llaman POTENCIALES BIOELECTRICOS. Así, podemos decir que todas las áreas de crecimiento o reparación son electronegativas y las menos activas electropositivas o neutras²¹.

OSTEOGENESIS INDUCIDA POR ELECTRICIDAD

No se conoce en última instancia, el fenómeno completo. Sus efectos posibles los agrupamos en dos:

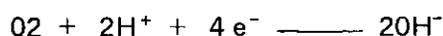
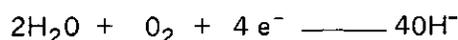
1. Cambios celulares directos:

Activación del DNA, cambio en la carga de superficie de membrana celular y en la rata de migración de iones, lo mismo que en el contenido de AMP cíclico celular (2o. mensajero); se piensa que el electrón, o la carga o el potencial, actúe como primer mensajero o como mensajero extracelular para las células óseas y cartilaginosas^{17,29}.

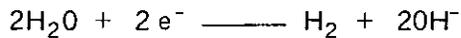
2. Cambios indirectos producidos en el microambiente:

Variación en la tensión parcial de oxígeno tisular (PO_2), en el pH y en la orientación de las fibras de colágena que se disponen perpendiculares al campo eléctrico y cerca al cátodo.

In vitro, con potencial menor o igual a un voltio se ha demostrado una baja en la tensión de oxígeno y aumento de pH, en la vecindad del cátodo.



Si el potencial se incrementa por encima de un voltio, el aumento en el consumo de oxígeno producirá liberación de hidrógeno alrededor del cátodo¹³.



Así, con potencial menor o igual a un voltio, con consumo de oxígeno y flujo de corriente apropiado, habrá osteogénesis; el radical hidroxilo que se produce en el cátodo hace alcalino el medio y la favorecerá aún más. Ahora bien, si el potencial se incrementa por encima de un voltio, se producirá hidrógeno que acidifica el pH y la osteogénesis cesa.

La presión parcial de oxígeno tisular (PO_2) baja, lleva a la formación de hueso como puede apreciarse en la unión cartílago-hueso, en la placa de crecimiento y el callo de fractura. Experimentos in vitro han logrado el máximo crecimiento óseo en ambiente con presión parcial de oxígeno baja¹³.

ELECTRICIDAD Y CICATRIZACION

Comentados los aspectos de potenciales de estrés y bioeléctricos y los principios por los cuales la electricidad induce osteogénesis y de acuerdo con estos enunciados, debemos deducir que si usamos estímulo eléctrico controlable como tratamiento para fracturas, obtendremos callo óseo de calidad y cantidad hasta cierto punto predecibles.

Sabemos por experimentación que si aplicamos un flujo de corriente en microamperios menor a 5 uA. habrá ninguna o poca formación de hueso y que si es mayor a 25 uA. sobrevendrá necrosis celular, encontrando el rango apropiado para la osteogénesis entre 5 - 20 uA para lograr con electricidad callos más duros y en lapso más corto¹².

TRATAMIENTO ELECTRICO JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

Cuando se ha ofrecido a un paciente el beneficio de un tratamiento ortopédico o quirúrgico para una solución de continuidad en un hueso por enfermedad o fractura y no se logra

su consolidación, aún cuando se combinen tratamientos en muchos casos, empieza a cerrarse el camino que nos lleva hacia tal objetivo; muchos de estos pacientes hacen retardo de consolidación y algunos definitivamente no consolidan a pesar de los resultados exitosos por medio de injerto óseo (72^o/o)^{7,8} y de injerto más osteosíntesis con placa de compresión (85^o/o)¹². Es entonces cuando cobra actualidad todo nuestro comentario precedente y se presenta la estimulación eléctrica como alternativa de tratamiento para producir una especie de "despertar" biológico en determinada porción ósea la cual necesitamos con toda su capacidad osteogénica para mejorar los resultados en este grupo de pacientes especiales, quienes a pesar de recibir tratamientos adecuados, no consolidan.

En nuestro país, el empleo de estimulación eléctrica, se inició con el meritorio trabajo de Bernal⁶, pero se estaba en el campo de la investigación experimental en la época de comenzar el presente trabajo, cuando en otros países se ofrecían estimuladores eléctricos a nivel comercial, los cuales nos llegaron importados en 1981 a precios inalcanzables y debían desecharse luego de usarlos en un paciente, al término de su tratamiento.

OBJETIVOS

Emplear la estimulación eléctrica como tratamiento para fracturas en retardo de consolidación o no consolidadas que hubieran recibido tratamiento ortopédico, quirúrgico o combinaciones de ellos, con resultados infructuosos.

Utilizar un estimulador eléctrico fabricado por nosotros, el cual por su diseño, elaboración, costo y facilidad de manejo, fuera adecuado al medio colombiano y confirmara los mismos o diera tan buenos resultados como el mejor de los sistemas publicados hasta la actualidad para disminuir morbilidad, pérdida de tiempo laborable y las secuelas para la salud, economía y bienestar del grupo humano afectado.

MATERIAL Y METODOS

Tomamos sólo aquellos pacientes cuya evolución post-estimulación eléctrica fuese mayor a seis meses, de tal forma que descartáramos como causa de error, el hecho de sacar conclusiones antes de tiempo. Esta condición era cumplida por 32 de los pacientes de nuestro grupo en estimulación eléctrica, atendidos en el servicio de Ortopedia de la Clínica León XIII de la ciudad de Medellín, en el período comprendido entre Agosto de 1980 y Junio de 1983, cuando se hizo un corte en este trabajo con el propósito de llevar sus resultados ante la Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología para presentar 32 pacientes con 34 fracturas, 19 de ellas en retardo de consolidación y 15 en no consolidación.

Clasificamos en retardo de consolidación, aquellas fracturas con evolución de seis meses sin consolidación y sin cambios radiológicos progresivos de la misma en los últimos tres meses.

Clasificamos en no consolidación a las fracturas con evolución de doce meses sin consolidación y sin cambios radiológicos progresivos de la misma, en los últimos tres meses^{9,10,11}.

De las 34 fracturas, se presentaron 30 en la tibia, dos en el fémur y dos en el húmero; de este total, fueron abiertas, 27. (Cuadro No. 1).

Todas las fracturas recibieron tratamiento ortopédico, quirúrgico o combinaciones de ambos con un promedio de tres tratamientos y el 91% habían recibido entre dos y seis tratamientos.

Se presentaba un tiempo de evolución sin consolidación con promedio de 18 meses y una mediana de 12 meses (Cuadro No. 2 - Gráfico No. 1).

Llama la atención que todas las fracturas conminutivas fueron abiertas.

Bajo inmovilización previa estable y confiable, la cual es indispensable, hacemos aplicación ininterrumpida del estimulador eléctrico, día y noche, durante doce semanas, permitiendo deambulación libre con muletas, sin apoyo para miembro inferior, o libre en el caso de miembro superior.

Se hacen cambios periódicos de la pila una vez lo avise el sistema de alarma, que fue en promedio cada 13 días.

Control clínico y radiológico mensual durante el período de estimulación y una vez terminado éste, controles trimestrales el primer año y semestrales durante el segundo y tercer años.

Permitimos apoyo libre al terminar la etapa de estimulación eléctrica en los primeros diez casos, pero al observar angulación en varo de la

Cuadro No. 1
MEDIA Y MEDIANA EN MESES DEL CONTROL POST.
TRATAMIENTO ELECTRICO SEGUN HUESO AFECTADO.

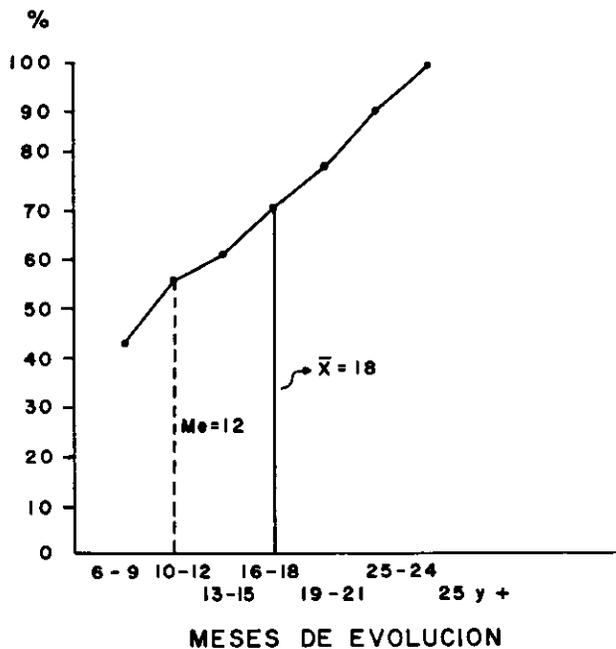
HUESO:	No. Ptes.	Promedio — X —	Mediana — me—
Tibia	30	15.8	13.7
Fémur	2	21.0	—
Húmero	2	24.0	—
TOTAL	34	16.5	15.7

Cuadro No. 2
TIEMPO DE EVOLUCION SIN CONSOLIDACION

TIEMPO EN MESES			No.	%	% ac
6	—	9	15	44.1	44.1
10	—	12	4	11.8	55.9
13	—	15	2	5.9	61.8
16	—	18	3	8.8	70.6
19	—	21	3	8.8	79.4
22	—	24	4	11.8	91.2
25	—	108	3	8.8	100.0
TOTAL			34	100	

$\bar{X} = 17.8$ Meses
me = 12.0 Meses

Gráfico No. 1
o/o ACUMULADO DE TIEMPO
DE EVOLUCION SIN
CONSOLIDACION



tibia en dos pacientes con quienes habíamos logrado buen eje y estabilidad clínica y buen callo óseo, prolongamos el período de NO APOYO durante otras doce semanas contadas a partir del retiro del estimulador eléctrico y de todo el sistema de inmovilización, como lo indican otros autores^{4,1}.

El estimulador se compone de un circuito electrónico alimentado por una batería de manganeso de nueve voltios recambiable, de uso popular; el conjunto se hace compacto adaptándole dentro de una cajilla de acrílico para fácil manejo, con dimensiones de 9 x 6 x 2 centímetros. El circuito presenta dos LED (Light Emiting Diodes) que funcionan como alarmas que anuncian interrupción del circuito o variaciones del voltaje y/o corriente (microamperaje).

Presenta cuatro alambres aislados de 35 cms. de longitud; tres llevan carga negativa y uno lleva carga positiva, y todos presentan conectores terminales; los tres primeros con carga negativa para los electrodos de acero inoxidable de 1.6 mm. de diámetro, aislados con

teflón excepto en su extremo distal, el cual está descubierto en 1.0 cms., electrodos que irán al foco de fractura, conformando así los cátodos. El cuarto alambre con carga positiva, va a una placa de acero inoxidable de 4 x 6 cms. la cual adosada a la piel, se constituirá en ánodo, cerrando el circuito.

Se emplearon arbitrariamente tres métodos para inmovilizar las fracturas, los cuales fueron pines bipolares y yeso, pines bipolares y fijador externo o simplemente cilindro de yeso según la movilidad de las articulaciones o la necesidad de rehabilitación del paciente.

Con ánimo experimental, no se inmovilizó una fractura de tibia que presentaba relativa estabilidad clínica, peroné íntegro y buena alineación sin pérdida de aposición, que consolidó con tratamiento eléctrico.

Previa incisión puntiforme en piel y por inserción percutánea, se pasan electrodos de acero a través del callo fibroso, como variante al método clásico que se llega al foco de fractura a través de hueso sano. El número de electrodos fue de tres a seis, dependiendo del trayecto y longitud de la fractura. Se les coloca el forro de teflón y se adosan doblándolos paralelos a

la superficie de la piel, fijándolos a ésta con un punto de material de sutura no absorbible en monofilamento.

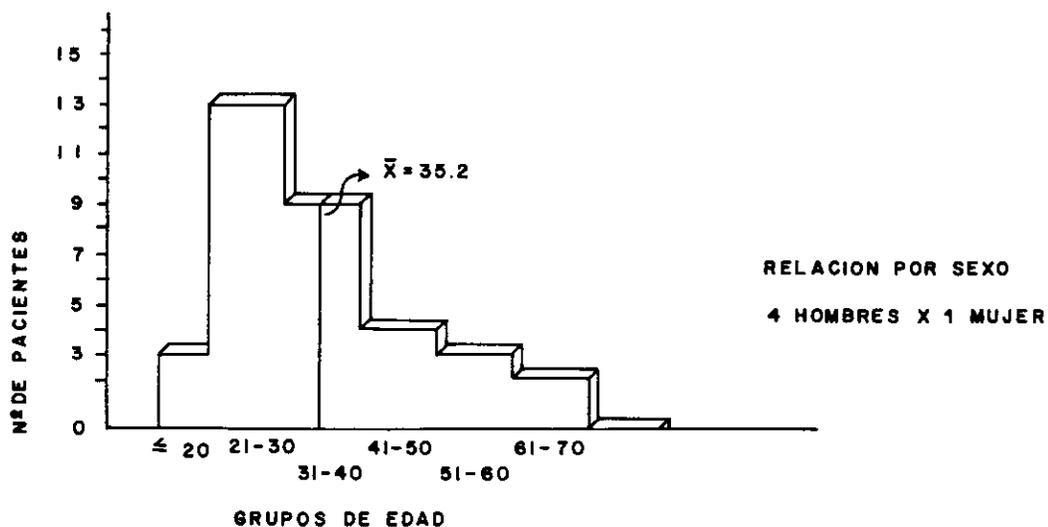
Conectamos los tres cables de carga negativa con flujo de corriente de 20 μ A, a los electrodos y el cable de carga positiva va conectado previamente a la placa de acero para constituir el ánodo, impregnándola en una gelatina conductora y fijándola a la piel con un vendaje de tela, el cual se usa a la vez para mantener en posición el sistema.

RESULTADOS

Presentamos para análisis, los resultados obtenidos en 32 pacientes con 34 fracturas sometidas a tratamiento con estimulación eléctrica y seguidas por un tiempo mayor a seis meses post-tratamiento. (Cuadro No. 1).

Encontramos una edad promedio general de 35.2 años y una relación por sexo de 4:1 con predominio de hombres (Gráfico No. 2), atribuible a que por sus actividades profesionales, están más expuestos al trauma y se encuentran en mayor número inscritos al I.S.S.

Gráfico No. 2
PACIENTES ESTUDIADOS SEGUN GRUPOS DE EDAD



Todos los pacientes habían recibido tratamientos previos infructuosos en promedio de tres y es relevante el hecho de encontrar que el 91^o/o habían recibido entre dos y seis tratamientos (Gráfico No. 3), a pesar de los cuales el promedio de evolución sin consolidación era de 18 meses (Gráfico No. 1 - Cuadro No. 1), lo cual nos muestra cómo este tipo de patología se presenta especialmente difícil en su manejo a pesar de los tratamientos escogidos y de las distintas combinaciones de los mismos.

Logramos consolidación clínica y radiológica

en el 88.2^o/o de las fracturas con marcha independiente, apoyo libre y reincorporación a las actividades normales de la vida diaria, aquellas que cada paciente desempeñaban antes de su lesión (Gráfico No. 4 - Cuadro No. 3). Apreciamos consolidación en el 95^o/o de las fracturas que estaban en retardo de consolidación y en el 80^o/o de aquellas en no consolidación.

Nos brinda seguridad este análisis, pues el promedio de seguimiento sobrepasa los 16 meses.

Gráfico No. 3
NUMERO Y TIPO DE TRATAMIENTOS PREVIOS AL TTO ELECTRICO

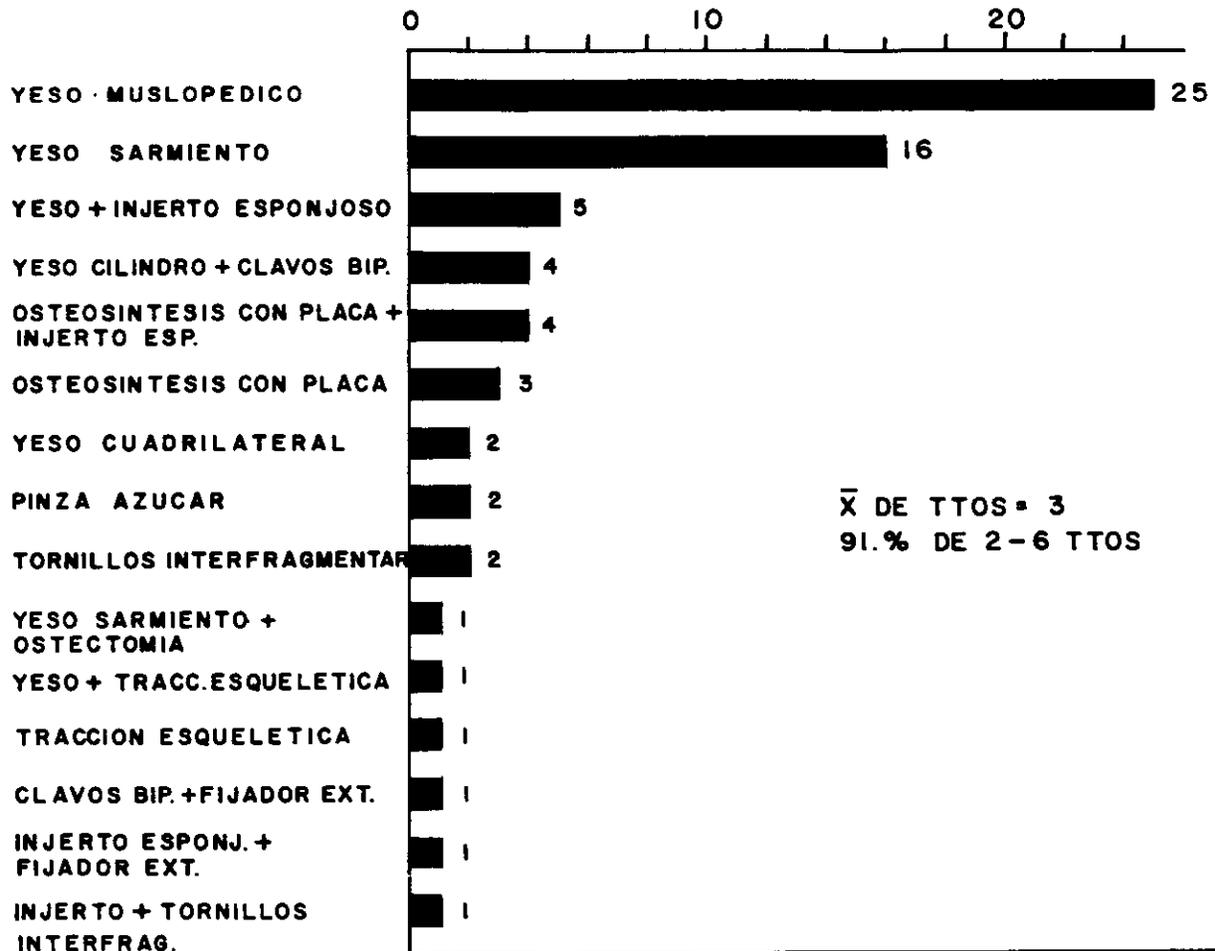
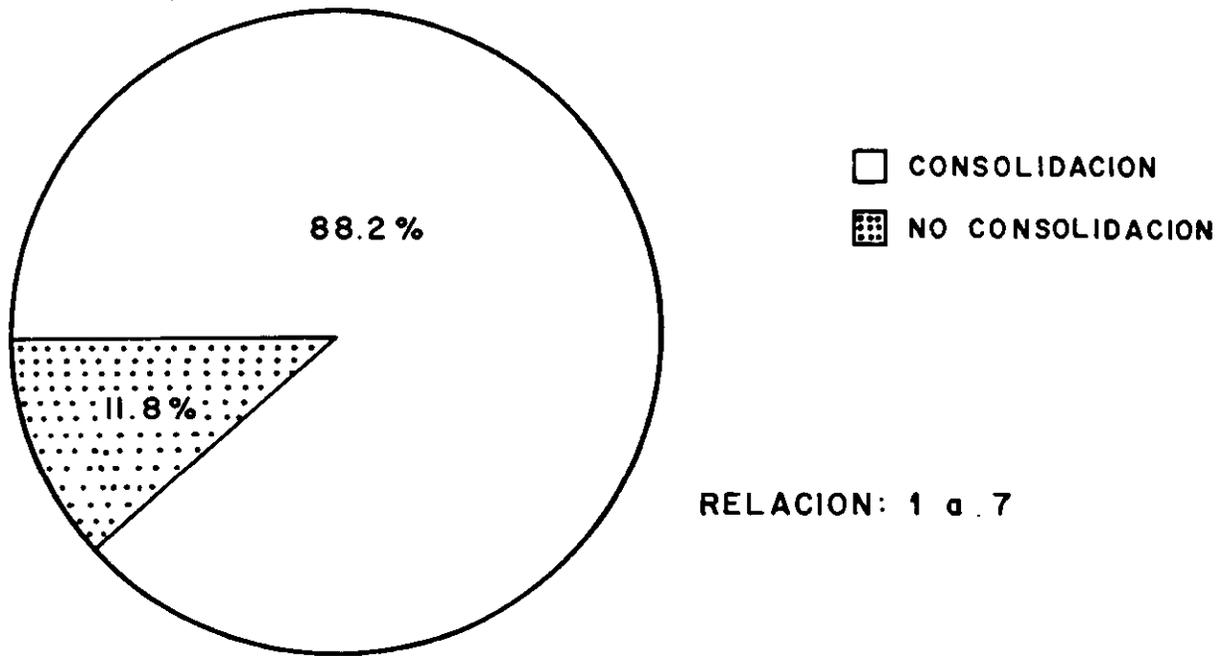


Gráfico No. 4
RESULTADOS DEL TTO ELECTRICO



Cuadro No. 3
RESULTADOS SEGUN TIPO DE TRATAMIENTO

Tto Eléctrico \ Tto Tradicional	Retardo en consolidación		No consolidación		Total	
	Ptes.	o/o	Ptes.	o/o	Ptes.	o/o
Consolidación	18	94.7	12	80.0	30	88.2
No consolidación	1	5.3	3	20.0	4	11.8
TOTAL	19	100.0	15	100.0	34	100.0

Las cuatro fallas se explican así: Un paciente se retiró el estimulador por desconfianza en el tratamiento. Un paciente hizo uso inadecuado por uso intermitente y falta de control por vivir en otra ciudad. Dos pacientes presentaron angulación en varo de la tibia, observada a largo plazo por apoyo libre precoz, como ya lo explicamos.

Aún cuando son pacientes ambulatorios, con todos los riesgos que ésto implica, las complicaciones fueron tan leves que no pasaron de dermatitis de contacto por la placa (ánodo), en cinco casos que mejoraron alternando los sitios de su aplicación. Los fenómenos de celulitis en cuatro casos y de infección de electrodos en tres casos, se atribuyeron en parte a falta de aseo y en parte movilidad de electrodos que, irritando la piel circundante, favorecerían la infección, la cual se manejó con aseo local y antibióticos orales en cuatro casos y retiro de dos electrodos en tres casos, pero no fue necesario interrumpir o suspender el tratamiento en ninguno de ellos. Las complicaciones no fueron de la técnica en sí, sino inherentes a todo paciente ambulatorio con clavos percutáneos.

DISCUSION

De acuerdo con los resultados alcanzados en las fracturas con retardo de consolidación o en no consolidación por medio de injerto óseo (72^o/o) y a los obtenidos con injerto y osteosíntesis con placa de compresión (85^o/o), vemos cómo la estimulación eléctrica se coloca entre los tratamientos de elección para este tipo de patologías.

El promedio de 35 años de edad, es un factor importante desde el punto de vista laboral, de morbilidad, de pérdida de tiempo valioso en una edad tan productiva, con expectativas de vida tan amplias, lesiona de manera importante la economía del enfermo y los suyos y quebranta el espíritu a medida que transcurre el tiempo sin solución al problema.

Las secuelas, además, cobran un tributo cada día más alto, pues la prolongada inmovilidad

causada por la lesión en sí, además de la obvia quietud a la cual se somete al enfermo tras uno y otro tratamiento, hace más sombrío el pronóstico funcional, aún cuando se logre consolidación a largo plazo.

El hecho de consolidar el 95^o/o de los pacientes en retardo de consolidación nos hace preguntarnos, ¿Será el retardo de consolidación una señal para indicarnos que debemos instaurar estímulo eléctrico antes de que la fractura entre definitivamente en no consolidación?.

El hecho de ser ambulatorio, permite al enfermo aprovechar parte de su capacidad productiva, alivia su situación económica, disminuye la morbilidad y prepara su ánimo para resistir el tiempo de tratamiento y colaborar con el médico eficazmente.

Sus ventajas las podemos enunciar de la manera siguiente:

Adaptación fácil del paciente al sistema y a su manejo.

Posibilidad de reutilizar el estimulador sin deterioro de su eficiencia.

Facilita por su diseño la deambulacion precoz sin apoyo.

Por su bajo costo del orden del 2^o/o de los estimuladores comerciales, se encuentra al alcance de muchísimos pacientes y cualquier entidad, pues de lo contrario con evoluciones tan largas y tratamientos sucesivos infructuosos, no hay a la vista otra perspectiva que combinar métodos clásicos sin mejorar el porcentaje de éxito de manera significativa.

Su fabricación con elementos disponibles en el país, elimina la necesidad de importarlos.

Con seis semanas de tratamiento, puede saberse cómo está presentándose la consolidación para el caso dado; hay cambios radiológicos que orientan acerca del pronóstico del tratamiento, el cual es corto si se compara con el tortuoso camino que estos enfermos recorren, el cual había sido en los nuestros, en promedio de 18 meses, con las implicaciones anotadas (Gráfico No. 1 - Cuadro No. 2).

Nos impusimos un plan de trabajo que nos llevara al cumplimiento cabal de nuestros objetivos. Creemos que solamente la evolución a largo plazo, tal como la hemos efectuado, el seguimiento cuidadoso y la experiencia adquirida, hace más confiable la evaluación de este trabajo, dado el carácter del mismo, el cual guardará toda su vigencia en la medida que esté al alcance de todos nuestros pacientes con esta patología, que se muestra esquiva a tantos métodos de tratamiento.

1. Bassett, C.A.L., Mitchell, S.N., Norton, L., et al. Electromagnetic repairs of nonunion. En Brighton, C.T., Black, J., Pollack, S. R. (eds): *Electrical Properties of Bone and Cartilage*, New York, Grune & Stratton, 1979, pp. 605 - 630.
2. Bassett, C.A.L., Pawluk, R.J., Becker, R.O. Effects of electrical currents on bone in vivo. *Nature*, 204: 652-655, 1964.
3. Bassett, C.A.L. Electrical Effects in bone. *Science* 213: 18. 1965.
4. Becker, R.O., Spadaro, J.A. Experience with low current silver electrode treatment of nonunion. En Brighton, C.T., Black, J., Pollack, S.R. 9 eds. "Electrical Properties of Bone and Cartilage". New York, Grune & Stratton, 1979. pp. 631-638.
5. Becker, R.O., Spadaro, J.A. Marino, A.A. Clinical experiences with low intensity direct currents stimulation of bone growth. *Clin. Orthop.*, 124: 75-83, 1977.
6. Bernal, J.V. Influencia de la electricidad aplicada en foco de la fractura sobre el proceso de formación del callo óseo. *Revista de la Facultad de Medicina U.N.* Vol. 24 No. 2. Febrero 1956.
7. Boyd, H.B., Lipinski, S.W. and Wiley, J.H. Observations on nonunion of the shafts of long bones with a statistical analysis of 842 patients. *J. Bone Joint Surg.* 43 A: 159, 1961.
8. Boyd, H.B., Anderson, L.D. and Johnston, D.S. Changing concepts in the treatment of nonunion, *Clin. Orthop.* 43:37, 1965.
9. Brighton, C.T., Adler, S., Itada, N. et al. Cathodic oxygen consumption and electrically osteogenesis. *Clin. Orthop.* 107: 277-282, 1975.
10. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B., Black, J. Evaluation of de use of constant direct current in the treatment of nonunion. In Brighton, C.T., Black, J., Pollack, S.R. (eds.): "Electrical Properties of Bone and Cartilage. New York, Grune & Stratton, 1979. pp. 519-546.
11. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B., Mitchell, E.I. et al. Treatment of nonunion with constant direct current. *Clin. Orthop.*, 124: 106-123. 1978.
12. Brighton, C.T. Biophysics of fracture healing. En Heppenstall, R.B. (ed): "Fracture Treatment and Healing", Philadelphia, Saunders Company, 1980. pp. 65-79.
13. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B. Electrical Stimulation and Oxygen tension. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 238: 314, 1974.
14. Brighton, C.T., Friedenberg, Z.B., Zemsky, L.M. and Pollis, P.R. Direct current stimulation of nonunion and congenital pseudoarthrosis. *J. Bone Joint. Surg.* 57A: 368, 1975.
15. Cappello, N. Congenital Pseudoarthrosis of tibia treated by Electrical Stimulation of Bone. *Orthop. Rev.*, Vol. 10, pp. 57-59. 1981.
16. Connolly, J.F., Hahn, H. and Jardon, O.M. The electrical enhancement of periosteal proliferation in normal and delayed fractura healing. *Clin. Orthop.*, 124: 97, 1977.
17. Friedenberg, Z.B. Brighton, C.T. Bioelectrical potentials in bone. *J. Bone Jt. Surg.*, 48-A: 915-923. 1966.
18. Friedenberg, Z.B., Zemsky, L.M., Pollis, R.P., et al. The response of non-traumatized bone to direct current. *J. Bone Jt. Surg*, 56-A1023-1030. 1974.
19. Harris, W.W., Moyon, B.J.L., Thrasher, E.L. et al. Diffe-

- rential response to electrical stimulation: A distinction between induced osteogenesis in intact tibiae and the effect on fresh fracture defects in the radii. *Clin. Orthop.*, 124: 31-40, 1977.
20. Hassler, C.R., Rybick, E.R., Diegle, R.B., et al. Studies of enhanced bone healing via electrical stimuli: Comparative effectiveness of various parameters. *Clin. Orthop.*, 124: 9-19, 1977.
 21. Heppenstall, R.B. Grisis, G., Hunt, T.K. Tissue gases and oxygen consumption in healing bone defects. *Clin. Orthop.* 106: 357-365, 1975.
 22. Inoue, S., Ohashi, T., Yasuda, I. et al. Electric induced callus formation in the rat. *Clin. Orthop.* 124: 57-58, 1977.
 23. Jacobs, J.D., Norton, L.A. Electrical Stimulation of osteogenesis in periodontal defects. *Clin. Orthop.* 124: 41-52, 1977.
 24. Jorgenson, T.E. Electrical stimulation of human fractures healing by means of a slow pulsating, asymmetrical direct current. *Clin. Orthop.* 124: 124-127, 1977.
 25. Krampen, J.F., Silver, R.A. External electromagnetic fields in the treatment of nonunion of bones. *Orthop. Rev.*, Vol. 10. pp. 33-39, 1981.
 26. Lavine, L.S., Lustrin, I., Shamos, M.H. Experimental model for studying the effect of electric current on bone in vivo. *Nature*, 224: 1112-1113, 1969.
 27. Treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia with constant direct current. *Clin. Orthop.* 124: 69-74, 1977.
 28. Masureik, C., Eriksson, Preliminary Clinical evaluation of the effect of small electrical currents on the healing of jaw fractures. *Clin. Orthop.* 124: 84-91, 1977.
 29. Norton, L.A., Rodan, G.A., Bourret, L.A. Epiphyseal cartilage CAMP changes produced by electrical and mechanical perturbations. *Clin. Orthop.* 124: 59-68, 1977.
 30. Paterson, D.C., et al. Treatment of delayed union and nonunion with an implanted direct current stimulator. *Clin. Orthop.* 148: 117-127, 1980.
 31. Peltier, L.F. A brief historical note on the use of electricity in the treatment of fractures. *Clin. Orthop.* 161: 4-7, 1981.
 32. Yasuda, I. Electrical callus and callus formation by electricity. *Clin. Orthop.* 124: 53, 1977.