

## EFFECTO DE LA ESTIMULACION CON CAMPOS ELECTROMAGNETICOS EN LA REGENERACION DEL NERVIIO CIATICO DE LA RATA

ARTURO REYES

BJORN HOLMGREN

Dpto. semiconductores

Dpto. Fisiología

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA

### RESUMEN

En el presente trabajo se investigó el efecto que tiene la estimulación electromagnética de la extremidad inferior, en la regeneración del nervio ciático después de una lesión por compresión. Se formaron dos grupos (23 y 40 días) para probar la estimulación con campos magnéticos dinámicos (1.5 mV/cm) que se compararon con dos grupos control (23 y 40 días) con regeneración espontánea. Su evolución fue seguida mediante el índice funcional del ciático (IFC) y la velocidad de conducción nerviosa.

El IFC, que consiste en el análisis de la marcha de las patas posteriores, presentó una evolución semejante en todos los grupos lo que sugiere un mismo tipo de lesión.

Los resultados de la velocidad de conducción presentaron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control ( $\bar{x} = 17$  m/seg.) y los grupos tratados con campos magnéticos ( $\bar{x} = 32$  m/seg.,  $p = 0.05$ ).

Los resultados sugieren que el efecto que tiene la estimulación con campos magnéticos podría ser una disminución en la degeneración retrograda que evitara una disminución mayor en el diámetro de los axones o bien una mejoría en su "maduración" mas que un efecto directo en la velocidad de crecimiento axonal durante la regeneración.

### INTRODUCCION

Se ha estudiado poco la posible influencia que tiene la estimulación eléctrica con campos electromagnéticos sobre la regeneración de nervios periféricos. Los resultados existentes son aún motivo de controversia.

Se ha reportado que los conos de crecimiento y el tejido óseo generan corrientes eléctricas (Freeman y cols., 1981; Borgens, 1984). Cuando estas corrientes son aumentadas artificialmente, la regeneración

axonal en lesiones de la médula espinal se ve favorecida, y en las fracturas se produce una consolidación ósea precoz. (Brighton y cols., 1979; Borgens y cols., 1981; Roederer y cols., 1983).

Los campos electromagnéticos parecen tener una influencia positiva en la regeneración nerviosa, aunque la naturaleza de su acción es desconocida y los estudios en este sentido recién se están iniciando (Wilson y cols., 1974, Kort y cols., 1980). En forma casual Wilson y cols. en 1974, encontraron una disminución en el tiempo de recuperación de lesiones nerviosas de 21 a 10 días aplicando un campo electromagnético con una frecuencia de 27 MHz. y una potencia de  $5 \text{ mW/cm}^2$  (miliwatts por centímetro cuadrado). Kort y cols. (1980) encontraron que con el tratamiento de estimulación eléctrica en fracturas óseas en ratas y con nervio lesionado, había un efecto positivo en la regeneración del nervio. El campo aplicado fue de  $1.5 \text{ mV/cm}$ . con una potencia de  $0.1 \text{ mW/cm}^2$ . Ellos no se pronuncian sobre la naturaleza de este efecto.

Numerosos trabajos efectuados después de las guerras mundiales avalaron el efecto positivo de la estimulación eléctrica en el músculo desnervado. Una lista de estos trabajos es aportada por Sunderland, 1985. Se requieren contestar aún preguntas como: Ayuda la estimulación electromagnética a la regeneración de nervios periféricos?, y si es así, De qué manera?.

#### MATERIAL Y METODO

Para el presente trabajo se formaron grupos de ratas Wistar, lesionadas por compresión nerviosa, para ser tratadas con campos magnéticos.

Las ratas fueron obtenidas del bioterio de la Universidad Autónoma de Puebla. Al momento de la lesión tuvieron un peso de  $370 \pm 50 \text{ grs}$ .

Los grupos formados fueron los siguientes:

I GRUPO TESTIGO (19 ratas). - Fue dividido a su vez en dos grupos:

- a) Grupo para determinar velocidad de conducción del nervio ciático normal (n=7).

b) Grupo con lesión nerviosa y sin tratamiento (n=12).

## II GRUPO CON COMPRESION NERVIOSA Y TRATAMIENTO CON CAMPOS MAGNETICOS (n=12).

Su evolución fue seguida mediante el índice funcional del ciático (IFC) determinado por la marcha del tren posterior y la velocidad de conducción nerviosa (VCN).

Bajo anestesia con pentobarbital intraperitoneal (35 mg/Kg.) se hizo compresión cinco milímetros por encima de su división en las ramas tibial, sural, y peronea, mediante una pinza mosquito 20 segundos hasta la primera traba. Se sigue la evolución de la marcha hasta un determinado día (21 a 23 ó 40 a 43 días después de la lesión), luego del cual se registra el potencial de acción. Para obtener el índice funcional del ciático se utilizó el método de De Medinaceli modificado utilizando la siguiente ecuación:

$$IFC = \left[ \frac{DPOE - DPON}{DPON} + \frac{LHN - LHE}{LHE} + \frac{ETE - ETN}{ETN} + \frac{DIE - DIN}{DIN} \right] \times 2.2 \times \frac{100}{4}$$

donde:

- DPOE = DISTANCIA AL PIE OPUESTO EXPERIMENTAL
- DPON = DISTANCIA AL PIE OPUESTO NORMAL
- LHN = LONGITUD DE LA HUELLA NORMAL
- LHE = LONGITUD DE LA HUELLA EXPERIMENTAL
- ETE = EXTENSION TOTAL EXPERIMENTAL
- ETN = EXTENSION TOTAL NORMAL
- DIE = DEDOS INTERMEDIOS EXPERIMENTAL
- DIN = DEDOS INTERMEDIOS NORMAL

Los valores considerados normales están entre +11 y -11 y el valor de lesión completa es -100 %.

Para determinar la velocidad de conducción se hicieron registros del potencial de acción.

### Método de tratamiento con campos magnéticos

Se realiza con un estimulador óseo de campos construido por A.

Papaqui en el depto. de Semiconductores del ICUAP. Tiene una frecuencia de 72 Hz y un campo eléctrico de 1.5 mV/cm.

Para este tratamiento la rata es colocada en una caja de madera de 20.7 cm. de largo, 11.5 cm. de ancho y 9.5 cm. de alto; dentro de la cual se colocan las bobinas de inducción en forma paralela y separadas del animal por paredes de cartón. Una vez colocada la rata dentro de la caja, ésta se cierra mediante una tapa de cartón ranurada. El campo es dirigido únicamente a la región pélvica por un tiempo de 30 minutos, luego de los cuales la rata es devuelta a su jaula. El tratamiento es aplicado diariamente durante 10 días.

## RESULTADOS

### *Indice Funcional del ciático*

Se encontró que los primeros quince días después de la lesión el IFC permanecía alrededor de -100 %. En los siguientes cinco a seis días se presentó una recuperación rápida para llegar al valor normal dentro de los días 24 a 25 después de la lesión.

La evolución del IFC que se encontró en los grupos tratados con campos magnéticos fue semejante. Se caracteriza por un período de 14 a 16 días en que el IFC se mantiene por debajo de -50 %, para que en los siguientes 4 a 6 días se recupere rápidamente (Figs. 1). No hubo diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo testigo. ( $p = 0.5$ ).

### *Velocidades de conducción nerviosa.*

La velocidad de conducción encontrada en 7 ratas normales presentó una media de 62 m/seg. con una desviación estándar de 7. La velocidad de conducción promedio en las ratas lesionadas y sin tratamiento fue de: 17 m/seg a los 20 a 22 días después de la lesión y de 20 m/seg. a los 40 a 42 días. Estos valores representan respectivamente un 27 % y un 32 % de la velocidad de conducción promedio normal. (Tabla I y II).

El grupo tratado con campos magnéticos presentó los valores promedios de: 32 m/seg. a los 20 a 22 días, y de 41 m/seg. a los 40 a 42 días; y son respectivamente el 51 % y 66 % del valor promedio de la

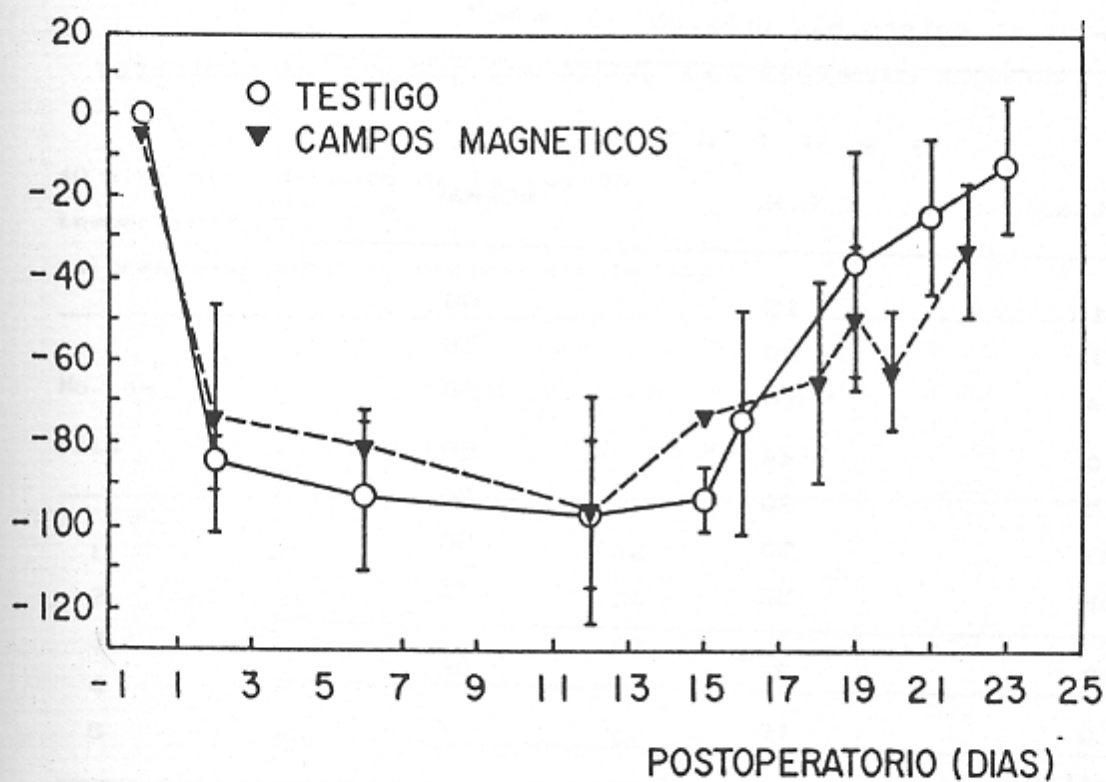
COMPARACION DEL IFC ENTRE RATAS TESTIGO  
Y RATAS TRATADAS CON CAMPOS MAGNETICOS

Fig. 1 La evolución del índice funcional del ciático entre el grupo tratado y el testigo no presentó diferencias estadísticamente significativas.

TABLA I

## VELOCIDAD DE CONDUCCION EN LOS DIVERSOS GRUPOS

( m / seg. )

Registros realizados de los 20 a los 22 días

después de la lesión

Temperatura  $30 \pm 1$  °C

valores ajustados al entero más próximo

No. de rata	sin tto.	G R U P O S	
		C. E. M.	NORMAL
1	11	15	66
2	11	20	66
3	14	16	60
4	10	44	59
5	10	30	60
6	33	50	50
7	28	52	75
Media	17	32*	62
D. E.	9	16	7
% de recuperación vs control.		24	
% de velocidad vs normal	27	51	

sin tto - grupo testigo sin tratamiento

C. E. M. - grupo tratado con campos electromagnéticos

\*  $P < 0.05$

velocidad de conducción normal encontrada. Este grupo se contrastó con el grupo testigo mediante la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov ( $p = 0.05$ ) a los 20 a 22 días, y ( $p = 0.01$ ) a los 40 a 42 días. Lo que indica una diferencia estadísticamente significativa. Con respecto al grupo control (lesionadas y sin tratamiento) representa un 24 % de mejoría a los 20 a 22 días y de 34 % a los 40 a 42 días después de la lesión. (Tabla I y II).

TABLA II

## VELOCIDAD DE CONDUCCION ENTRE LOS DIVERSOS GRUPOS

( m / seg. )

40 a 42 días después de la lesión

temperatura  $30 \pm 1$  °C

valores ajustados al entero más próximo

No. de rata	G R U P O S	
	sin tto.	C. E. M.
1	16	24
2	21	66
3	21	40
4	23	32
5	20	47
Media	20	41*
D. E.	2	14
% de recuperacion vs control.		34
% de velocidad vs normal	32	66
sin tto. - grupo testigo sin tratamiento		
C. E. M. - grupo tratado con campos electromagnéticos		
* $p=0.01$		

### *Relación del IFC y velocidad de conducción*

El registro de los potenciales de acción durante la evolución del IFC mostraron que mientras éste se encuentre por debajo de -50 % el nervio no conduce. El IFC llegó a los valores considerados normales aún con velocidad de conducción baja. No se encontró una relación entre la recuperación del IFC y la recuperación de la velocidad de conducción en ninguno de los grupos.

### DISCUSION

El que en ninguno de los grupos en nuestro estudio (tratados o no tratados) se encuentren diferencias en su evolución entre sí o con respecto a los lesionados por compresión en el estudio De Medinaceli y cols. (1982) indica que tienen una lesión comparable con endoneuro intacto.

Los trabajos de la velocidad de crecimiento axonal publicados por otros autores, (Warszawski y cols.1982; Mallart y Augaut-Petit,1988) y el presente trabajo hace pensar que hay una cierta la relación entre el período de latencia (período en el que todavía no hay recuperación de IFC) y el crecimiento axonal, entonces, el hecho de no encontrarse diferencias en este período en el IFC implicaría que no se acelera el crecimiento axonal y en ese caso el efecto podría ser interpretado vía "maduración" de los axones en regeneración.

### CONCLUSIONES

- 1).- Nuestros resultados confirman lo encontrado por otros autores, en el sentido de que la estimulación con campos magnéticos dinámicos, ejercen un efecto positivo en la regeneración del nervio ciático en la rata después de una lesión por compresión.
- 2).- El índice funcional del ciático se recupera aún con velocidades de conducción nerviosa bajas.



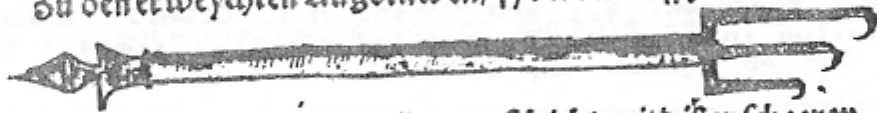
## BIBLIOGRAFIA

- Borgens, R.B., Roederer, E., and Cohen, M.J. (1981) *Enhanced spinal cord regeneration in lampreys by applied electric field.* Science 213: 611-617.
- Borgens, R.B. (1984) *Endogenous ionic currents traverse intact and damaged bone.* Science, 225: 478-482.
- Brighton, T.C., Black, J. and Pollack, R.S. (1979) *Electrical properties of bone and cartilage.* Grune & Stratton, Inc. New York.
- De Medinaceli, L., Freed, W. J. and Jed, W. R. (1982) *An index of the functional condition of rat sciatic nerve based on measurements made from walking tracks.* Exp. Neurol. 77: 634-643.
- Freeman, J.A., Weiss, J.M., Snipes, G.J., Mayes, B. and Norden, J.J. (1981) *Growth cones of goldfish retinal neurites generate D.C. currents and orient in an electric field.* Soc. Neurosci. Abstr. 11: 550.
- Kort, J., Ito, H. and Bassett, C.A.L. (1980) *Effects of pulsing electromagnetic fields on peripheral nerve regeneration.* J. Bone J.t. Surg. Orthop. 4: 238-242.
- Mallart, A. and Angaut-Petit, D. (1988) *An electrophysiological study of regenerating motor endings in the mouse.* Ed. Gordon, Stein, Smith. En *The Current Status of peripheral Nerve Regeneration.* Alan R. Liss, Inc pag. 53-61.
- Roederer, E., Goldberg, N.H., and Cohen, M.J. (1982) *Retrograde degeneration of cut central axons is inhibited by applied electric current.* Soc. Neurosci. Abstr. 12: 870.
- Sunderland, S. (1985) *Nervios periféricos y sus lesiones.* 2da. edición, ED Salvat, Barcelona.
- Warszawski, M., Toppet, N., Durdu, J., Graff, G.L.A. and Coërs, C. (1975) *The early stages of neuromuscular regeneration after crushing the sciatic nerve in the rat. Electrophysiological and histological study.* J. Neurol. Sci. 24: 21-32.
- Wilson, D.H., Jagadeesh, p., Newman, P. and Harrison, D. (1974) *The effects of pulsed electromagnetic energy on peripheral nerve regeneration.* Ann. N.Y. Acad. Sci. 238: 575-585.

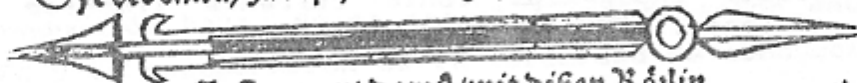
viiij

## Der Alten Wundärzetz

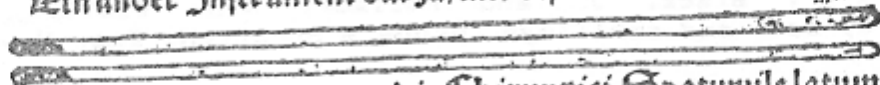
Zu den erweychten Augbrauwen/ sye wider vff zürichten.



Sye ordenlich zubeschneiden/ geschicht mit dieser scheeren



Ein ander Instrument darzu/ mit diesen Kölin

Spatumile  
Latum.

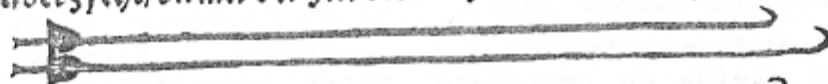
Dis Instrument nennen die Chirurgici Spatumile latum/ brauchen sye auch zum Augenschnidt. Spatumile aber subtile/ ist der massen gestaltet

Subtile.

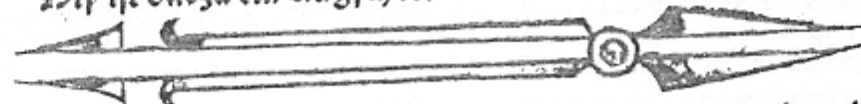


Sebel.

Sebel/ seind bey dē Arabischē genant/ die rote fell so die Augen siberzyehē/ vñ mit der zeit blendē. zu dē brauchen sye diese häcklin



Dis ist darzu ein Augscheer



Dis Instrument braucht man zur fistelen/ das beyn damit zu schaben/ nach dem die fessichte vffgezogen

Asperi des  
haubts.

Ein augen fistel Boer

Spatumile,  
Aiberid.- Fleysch vff  
der Nasen/ Po-  
lypus genant/  
zu zuehen/ In-  
strument