

Copyright 1980, McMahon Publishing Company

Reimpreso de SURGICAL PRACTICE NEWS, Vol 9, Núm. 8, Agosto - 1980

LA ELECTRICIDAD INDUCE
LA OSTEOGENESIS,
Y SUELDA LA DESUNION

(*) FDA = Adv. de Food and Drug Administration (EU.), la Dirección de

Aparte de que hay una mayor extensión de las implicaciones, sin

bilidades son extraordinarias.

todavía en la fase de investigación fundamental, pero las posi-
y el cartilago, sino también en otros tejidos. Este tema está
mecanismos se pueden inducir no sólo en las células del hueso
y, por lo tanto, los procesos celulares especializados. Tales
nar como primeros mensajeros, activando la producción de CAMP
la idea de que determinados potenciales eléctricos pueden funcio-
En la pasada década se han aducido varias razones para apoyar

vista con Surgical Practice News.
de Medicina de la Universidad de Pensilvania, durante una entre-
Presidente del Departamento de Cirugía Ortopédica de la Facultad
para tratar las desuniones". Así lo dijo el Dr. Carl T. Brighton
tricidad se está convirtiendo en sustituta del injerto óseo
En opinión de uno de los pioneros del procedimiento, "la elec-

para el tratamiento de desuniones de fracturas.
del método como técnica clínica aprobada, que está indicada
información de este avance ha sido la confirmación de la FDA(*)
ha avanzado hasta una fase nueva y más dinámica. La fuente de
FILADELFIA -- La estimulación eléctrica del crecimiento óseo

LA ELECTRICIDAD INDUCE LA OSTEOGENESIS, Y SUELDA LA DESUNION

embargo los beneficios anticipables con el uso de las corrientes eléctricas solamente para estimular la osteogénesis en los casos de desunión, son extraordinarios. El valor de la técnica se puede estimar desde la perspectiva múltiple de la patología humana y de la economía. Anualmente se producen unos dos millones de fracturas de huesos largos en Estados Unidos; en alrededor del 5% de las mismas hay desuniones. La desunión es dos veces mayor en los hombres que en las mujeres, y la media de edad de los pacientes con fractura que tienen desunión es de 40 años. La duración media de las desuniones (hasta el momento del tratamiento con estimulación eléctrica, según se ha medido en una serie que recibió ese tratamiento); es de unos 3 años. La pérdida anual de horas de trabajo supera el equivalente del trabajo de 200.000 hombres/mujeres. Incluso con requerimientos de selección y un porcentaje de éxitos de 75-80% de la terapia con estimulación eléctrica, el potencial recuperador es claramente enorme. Los costos totales (médicos, compensaciones, legales, etc.) de las desuniones, antes del tratamiento con electricidad, se han estimado en unos 145.000 dólares por cada paciente.

En cuanto al mérito de la estimulación eléctrica en la reparación del 95% de fracturas de huesos largos que se consolidarían con los métodos usuales de tratamiento (reducción, inmovilización y tratamiento funcional) el Dr. Brighton dijo que "todavía se tiene que comprobar, pero deben esperarse ventajas, puesto que parece probable que la estimulación eléctrica podría acelerar

el proceso de consolidación, quizás doblar el porcentaje de consolidaciones". Con respecto a las fracturas de cadera en personas de edad avanzada -entre cuyos casos el promedio de desuniones es del 15-20%- , doce equipos de cirugía ortopédica participarán de todas partes de Estados Unidos en un estudio "preliminar" que se está preparando actualmente, para examinar la situación de la estimulación eléctrica en cuanto a su capacidad de reducir la patología en este grupo de pacientes. También se van a efectuar investigaciones sobre la posible validez de la estimulación eléctrica en la interrupción o la regresión de la osteoporosis.

La idea de utilizar la electricidad terapéuticamente en sistemas vivos tiene antecedentes problemáticos en Estados Unidos. Su progreso quedó obstruido primero por la oposición irrazonada de los eruditos. Después parecieron cesar las advertencias de las autoridades cuando estas modalidades fueron adoptadas por los curanderos (quacks = curanderos, matasanos, medicastro). "Pero han habido dificultades desde poco después de la II Guerra Mundial" -dijo el Dr. Brighton- "persisten focos de oposición hasta hoy, pero se están terminando".

A principios de los años 50 se empezaron a efectuar estudios serios con el descubrimiento del fenómeno piezoeléctrico en huesos con presiones de carta, por el Dr. Iwao Yasuda, cirujano ortopédico, y su colega, el físico E. Fukada; demostraron que

Esto llevó a efectuar experimentos con animales en los que se insertaron alambres y se aplicaron corrientes eléctricas al hueso, descubriéndose que en efecto la osteogénesis ocurría en la región del cátodo. Friedenberg, Brighton y los miembros de su equipo, demostraron después con conejos que el efecto osteogénico era dependiente de la dosificación, en una escala definida (desde 5 μ A hasta poco menos de 20 μ A), y que la

las áreas de hueso en compresión se volvían electronegativas mientras que las áreas en tensión se volvían electropositivas. Anteriormente se había especulado que la compresión induce la osteogénesis, y que la tensión induce la reabsorción del hueso. Sin embargo, ahora estos efectos se han asociado con las condiciones eléctricas. El estudio de estos potenciales de carga generados en el hueso por la presión de carga, fue profundizado por los doctores C.A.L. Bassett (Universidad de Columbia) y Robert O. Becker (Universidad de Siracusa), y por los doctores Maurice Shamos y Leroy Lavine (Universidad del Estado de Nueva York, Centro Médico Downstate). El Dr. Z. B. Friedenberg y el Dr. Brighton, de la Universidad de Pensilvania trabajaron con hueso sano (vivo), sin presión de carga. Descubrieron que el hueso era electronegativo en la metafisis y en el callo de fractura, y electropositivo en la diáfisis. Estos potenciales fueron calificados como potenciales bioeléctricos, en distinción por contraste con respecto a los potenciales generados por la presión de carga.

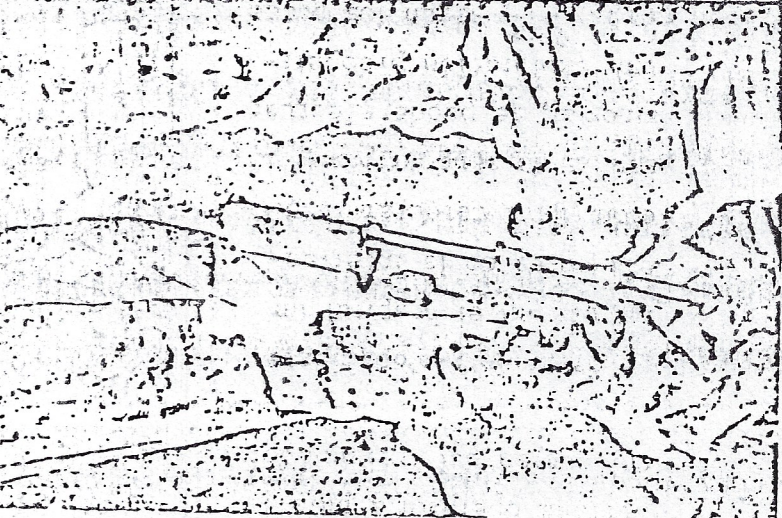
continuidad (constancia) de la corriente, era esencial para mantener el efecto osteogénico. Se demostró que una corriente de menos de 5 μA no tenía ningún efecto, y que una corriente que supere los 20 μA (que produce el máximo efecto osteogénico) produce necrosis celular y -muy importante- no induce la formación ósea. También demostraron que, con los bajos potenciales aplicados, desde aproximadamente 0.6v hasta 1.0 v., el oxígeno se consume en el cátodo y se producen radicales (o raíces) de hidroxilo. Con voltajes que superan alrededor de 1.5 v., se induce un efecto electrolítico y se libera hidrógeno en el cátodo. Sin embargo, con la producción de radicales de hidroxilo en los voltajes más bajos, la zona más próxima se hace alcalina (pH, aproximadamente de 7.75).

La técnica de la estimulación eléctrica del crecimiento óseo, la aplicaron por primera vez los Brighton y Friedenberg para tratar a un paciente en 1970. Hacia 1977, el equipo había tratado a 200 pacientes en Pensilvania y, a finales de 1979 ya se había tratado más de 400. En 1977, empezaron a aplicar la estimulación eléctrica a 16 grupos de trabajo de Estados Unidos para producir la osteogénesis en el tratamiento de las desuniones. Los promedios que se informaron sobre la consolidación de las fracturas, oscilaban entre el 80 y el 85 %. Los resultados del grupo de Pensilvania, junto a los de los 12 grupos de trabajo mencionados constituyeron la base para la aplicación que aprobó la FDA en 1979.

para suministro de potencia.

comprobarse con el contador de prueba la integridad del dispositivo QUADPAK™ control radiológico o de amplificación de imágenes. Antes de la intervención debe La técnica se lleva a efecto bajo condiciones de esterilización del quirófano, con

exploración será "caliente"/"frío"/"caliente". la desunión. Si hay líquido sinovial en la abertura de la desunión, el patrón de la (oscuras) en la abertura de y exhiben zonas "calientes" muestran una mayor actividad Todas las zonas de desunión dimientos operatorios.

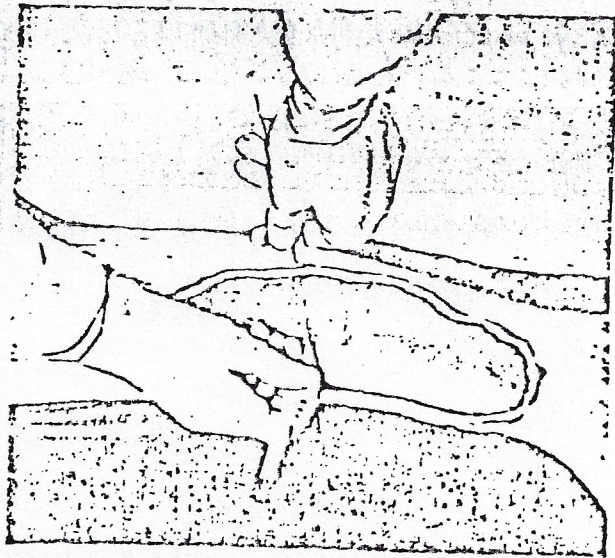


Operación del perforador especial, para insertar catodos en el foco de la fractura con desunión

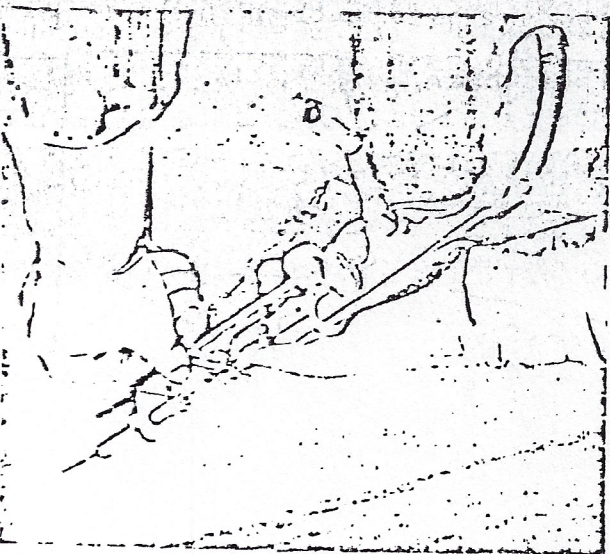
99m, según los proce- una exploración preopera- sinovial, se puede efectuar sencia de pseudoartrosis ción. Para detectar la pre- día antes de la interven- de desunión : el paciente crecimiento óseo en un caso colocación del estimulador de Técnica operatoria para la

Hasta la fecha se han desarrollado tres sistemas quirúrgicos para la aplicación de la corriente eléctrica como medio de esti- mulación del crecimiento óseo. El primer sistema es el desarro- llado y aplicado por el Dr. Brighton y su grupo de trabajo.

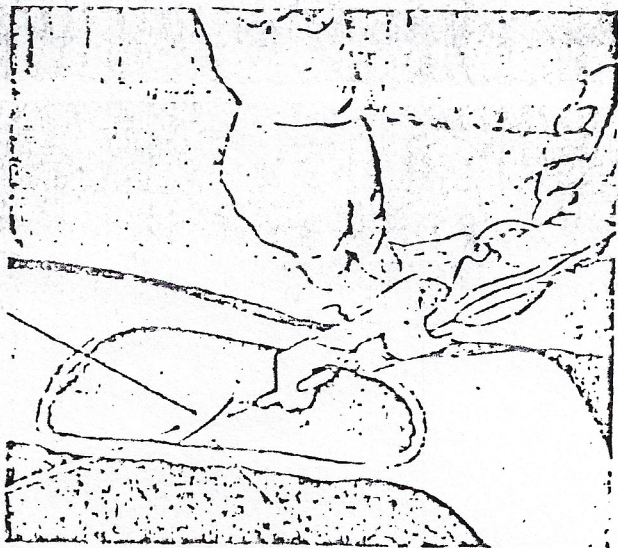
1.- Después de la apropiada preparación y cubrimiento de la extremidad afectada, se determina la situación exacta de la desunión con la ayuda del amplificador de imágenes. Se traza en la piel una línea con una pluma marcada- ra estéril para definir la posición y el plano de la desunión. Se inyectan los puntos en los que se van a insertar los cátodos con un 1 por ciento de XYLOCAINE (ml) sin epinefrina, o con otro anestésico local adecuado. Después se vuelve a inyectar en el tejido blando, en el perostio y en la zona de la desunión de los lugares antes inyectados.



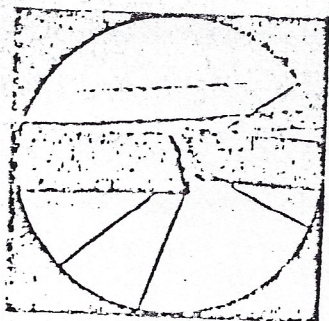
2.- El extremo romo del cátodo aislado se monta en el portabrocas de insertor de cátodos, teniendo cuidado en no dañar el recubrimiento de TEFLON del cuerpo del cátodo. La barra deslizante situada en la parte frontal del insertor debe estar apioxi- madamente a 2'5 cm. de la extensión total, situándose el tubo-guía DELRIN a mitad de la barra de esa estabiliza- ción frontal. Con este posicionamiento, debe ajustarse el extremo del cátodo para que sobresalga unos 2'5 - 3'75 cm. del extremo del soporte. La llave del portabrocas se gira para asegurar el apriete del portabrocas sobre el cuerpo del cátodo.

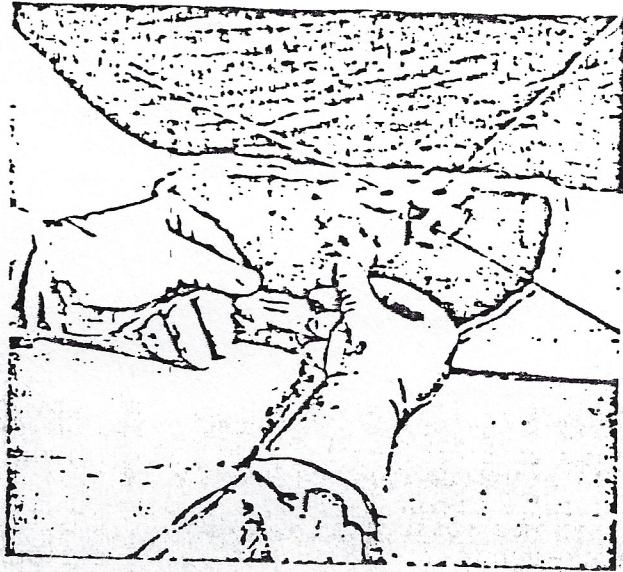


3.- Si es necesario un mayor largo del cuerpo del cátodo, se puede retraer la barra de estabilización hacia el porta-brocas. Caso de necesitar todavía más largo del cátodo, se puede desatornillar el tubo-guía, que tiene una ranura longitudinal, y elevarlo para permitir un mayor movimiento. (Hay que observar que el vástago del cátodo no se inserta en el extremo descubierto de la tibia, sino lateralmente, a través de tejido blando. También es preferible perforar en una cortical para asegurar el cátodo en el lugar de la desunión).

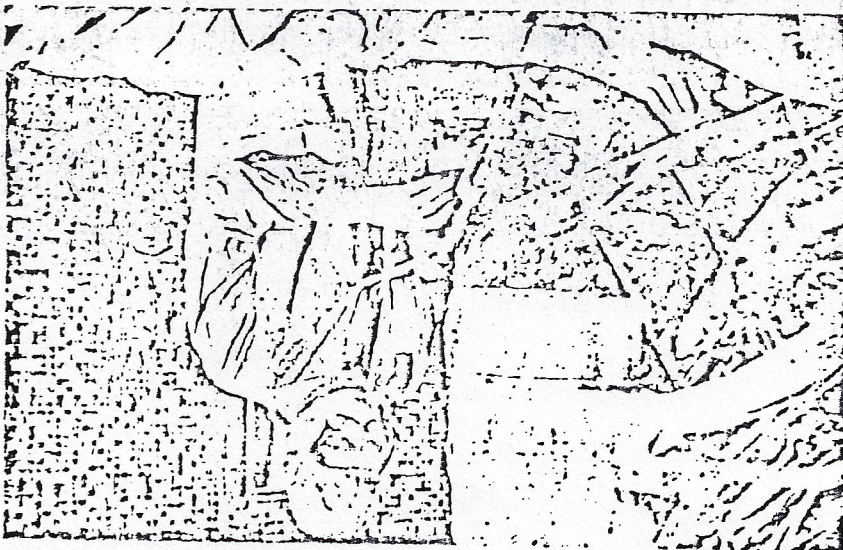


4.- El extremo del cátodo que no tiene recubrimiento debe descansar directamente en el lugar de la desunión. La distancia óptima entre las puntas de los cátodos es de 0'5 cm. La posición de los cátodos en el punto de la desunión se verifica en diversos ángulos con el amplificador de imagen o con rayos X.



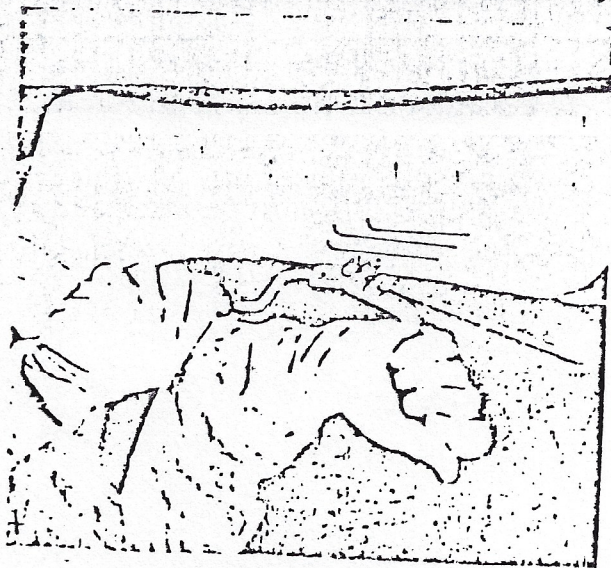


5.- Después se aplica pomada BETADINE (mr) en el punto de entrada de cada cátodo, para ayudar a evitar la irritación local. Sobre el cátodo se colocan pequeñas piezas cuadradas de vendaje estéril, en el punto de entrada.

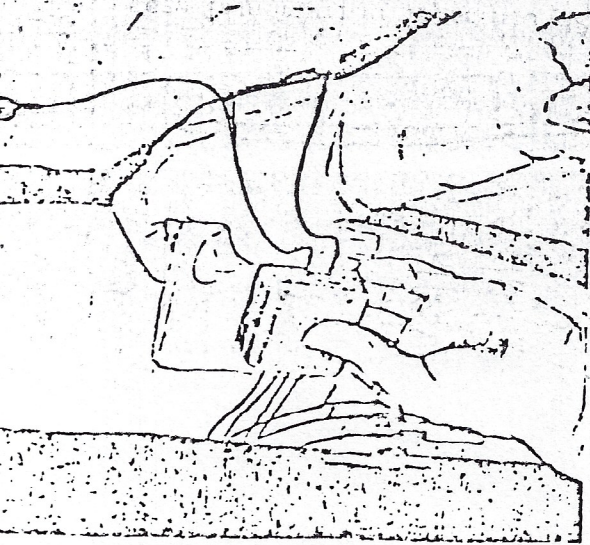


El amplificador de imagen ayuda al Dr. Carl Brighon para colocar el cátodo correctamente.

6.- Se utiliza el instrumental especial de doblamiento para doblar los vástagos de los cátodos, de forma que queden paralelos con respecto a la diátesis de la extremidad. (Los cátodos que se doblan en cualquier otro ángulo tienen tendencia a aflojarse). El vástago del cátodo se desliza entre los dos cilindros pequeños del instrumento de doblado, y se comprime con el cilindro grande, doblándose en la dirección del punto en el que se va a situar el cátodo; después se corta con una cizalla corta-clavos standard, dejando aproximadamente unos 2'5 cm. en la parte distal con respecto al doblamiento.



7.- Se cubre el miembro con WEBRIL esterilizado; los conductores de los cátodos, que salen de la fuente de alimentación QUADPAK (mr), se conectan a los cátodos. Se colocan almohadillas de vendaje WEBRIL debajo de cada conector y debajo de la fuente de alimentación para ayudar a evitar la necrosis por presión. Ni el QUADPAK, ni sus conectores protegidos con almohadillas, deben descansar sobre puntos en los que sólo hay una capa fina de tejido blando, como en el caso de la superficie anterior de la tibia.

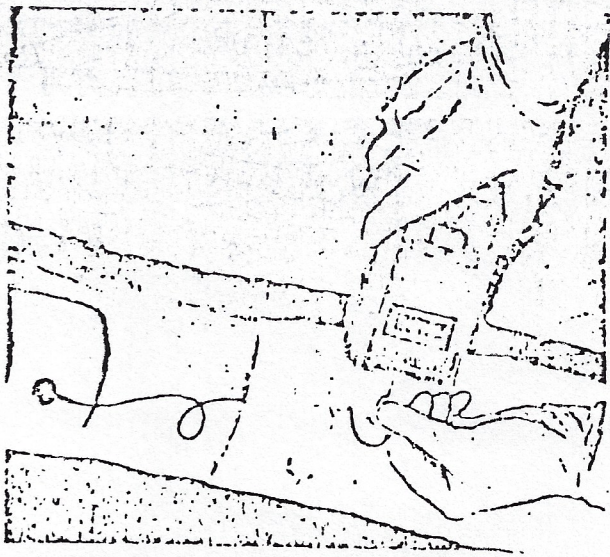




9.- Se aplica un enyesado sin soporte de peso de forma habitual, teniendo cuidado en no apretar el enyesado sobre los cátodos. Es importante que el paciente no tenga apoyo de peso sobre la desunión durante la duración del tratamiento eléctrico; de lo contrario los cátodos se pueden romper o deslizar.

8.- Se estabiliza la fuente de alimentación y los conectores protegidos con almohadillas, con una capa gruesa de WEBRIL. La almohadilla autoadhesiva del ánodo se coloca sobre la piel y se conecta al conductor del ánodo de color rojo. No de existir tensión en los cables conductores de los ánodos o de los cátodos, incluso el paciente flexiona la extremidad afectada.

Se efectúa una comprobación final de la alimentación de corriente con el dispositivo QUADPAK (mr). Debido a que puede variar la resistencia inicial de la piel a flujo de corriente, puede ser que la lectura que se mida en esos momentos sea baja. Por ejemplo, si en un ensayo realizado antes de la intervención se obtiene la lectura esperada de $80 \mu A \pm 5\%$ ($20 \mu A$ por conductor), podemos esperar que haya una lectura más baja (p. ejemplo, entre 50 y $60 \mu A$) cuando se conecta este componente al enfermo. En el término de unas pocas horas la lectura subirá hasta los límites normales.



se implantaba un solo electrodo; sin embargo, desde hace varios
corriente continua en la técnica "semi-invasiva". Al principio
ciones de los diseños iniciales del estimulador eléctrico de
conseguido adelantos considerables y un buen número de modifica
Durante los últimos años, el equipo de Brighton y Zimmer han

durante ese periodo.

horas diarias, requiriendo que el paciente esté inmobilizado
queda bajo el campo magnético inducido, durante unas 12 - 16
ción electromagnética; la zona en la que ha ocurrido la desunión
el potencial y la corriente se producen por medio de la induc-
se fabrica en Australia. El tercer sistema es "no invasivo";
eléctrico, incluida la fuente de alimentación. Este dispositivo
en el cual se implanta subcutáneamente todo el dispositivo
el dispositivo a Zimmer - USA. El segundo sistema es "invasivo"
mento, la Marina concedió la licencia exclusiva para producir
a una organización industrial capaz de su producción. En su mo-
res de Pensilvania solicitaron a la Marina que cediera la pater-
sidad de poner en producción esos dispositivos, los investigadores
desarrollados por el grupo de Brighton. En 1974, viendo la necesi-
terio conserva los derechos de las patentes de los instrumentos
tuvo con subvenciones de la Marina de Estados Unidos, este minis-
el trabajo de investigación inicial (que empezó en 1961) se efec-
je en la superficie externa de la parte afectada. Debido a que
alimentación y los conectores, simplemente se sujetan con vend
en el foco de la desunión, mientras que el ánodo, la fuente de
Es un sistema "semi-invasivo", en el que los cátodos se insert

años lo usual ha sido implantar 4 cátodos (agujas de Kirschner de 1'2 mm, aisladas con Teflón menos por 1cm en cada extremo). A veces se ha hecho necesario extraer una aguja por causa de una irritación; se ha descubierto que el efecto terapéutico no disminuye si se han colocado 3 cátodos. Se han modificado los clips de la fuente de alimentación para hacer más fácil su conexión a los cátodos. Los primeros ánodos de acero inoxidable causaron algunos problemas, y han sido sustituidos por almohadillas de gel de cloruro-plata-plata; estos ánodos son desechables y se deben cambiar cada 48 horas.

Han sido mínimas las complicaciones con la estimulación eléctrica de la osteogénesis con corriente continua constante; las infecciones en superficie se pueden desarrollar alrededor de los puntos de entrada de los cátodos. Cuando esto ocurría antes, se sacaban los cátodos y se trataban las infecciones sin incidentias. Usualmente, el exceso de utilización del miembro afectado por parte del paciente, es causa de una irritación. Puede ser suficiente abrir una ventana en el yeso para tratar estas irritaciones. La utilización excesiva del miembro afectado - o la colocación inadecuada de los cátodos - también puede resultar en un desanclaje de los cátodos.

Aproximadamente el 25% de los pacientes de la serie seleccionada y tratada con estimulación eléctrica en la Clínica de Desuniones de la Universidad de Pensilvania, ingresaron con osteomielitis

anterior. Mientras que está claro que esta terapia no debe ser aplicada cuando hay infección generalizada, existe una controversia sobre su seguridad cuando hay infección activa localizada en el foco de la desunión. Se dice que esta infección local no es una contraindicación para la utilización del sistema de acoplamiento inductivo electromagnético. "Sin embargo -dijo el Dr. Brighton-, es nuestra práctica no insertar los cátodos hasta haber controlado una infección local". En cuatro casos de entre los cerca de 100 pacientes que habían tenido osteomielitis antes de la estimulación eléctrica, se extendió la infección del hueso. Entonces fue necesario extraer los cátodos y no volver a reanudar la terapia osteogénica hasta haber controlado la infección. No se dieron casos de nueva infección intensa en los pacientes a quienes se les había tratado la infección previamente. La estimulación eléctrica está también contraindicada (y/o no producirá resultados terapéuticos), si la abertura entre los bordes del hueso desunido supera el 50% del diámetro del hueso afectado, o si hay pseudoartrosis sinovial (como ocurre en el 5-10% de las desuniones, especialmente en el húmero); o si no se puede contar con el paciente, cuando sea ambulatorio, para que coopere totalmente en llevar adelante el régimen, en particular durante el primer periodo (hasta 12 semanas), durante el cual es crítica la inmovilidad de la parte afectada para mantener la estabilidad de los electrodos. El Dr. Brighton sugirió que para algunos pacientes que no cooperan se podría tomar en consideración un sistema totalmente invasivo. La presencia de placa

LA ELECTRICIDAD INDUCE

LA OSTEOGENESIS,

Y SUELDA LA DESUNION

Reimpreso de SURGICAL PRACTICE NEWS, Vol 9, Núm. 8, Agosto - 1980

Copyright 1980, McMahon Publishing Company



LA ELECTRICIDAD INDUCE LA OSTEOGENESIS, Y SUELDLA LA DESUNION

FILADELFIA .- La estimulación eléctrica del crecimiento óseo ha avanzado hasta una fase nueva y más dinámica. La fuente de información de este avance ha sido la confirmación de la FDA(*) del método como técnica clínica aprobada, que está indicada para el tratamiento de desuniones de fracturas.

En opinión de uno de los pioneros del procedimiento, "la electricidad se está convirtiendo en substituta del injerto óseo para tratar las desuniones". Así lo dijo el Dr. Carl T. Brighton, Presidente del Departamento de Cirugía Ortopédica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Pensilvania, durante una entrevista con Surgical Practice News.

En la pasada década se han aducido varias razones para apoyar la idea de que determinados potenciales eléctricos pueden funcionar como primeros mensajeros, activando la producción de cAMP y, por lo tanto, los procesos celulares especializados. Tales mecanismos se pueden inducir no sólo en las células del hueso y el cartílago, sino también en otros tejidos. Este tema está todavía en la fase de investigación fundamental, pero las posibilidades son extraordinarias.

Aparte de que hay una mayor extensión de las implicaciones, sin

(*) FDA = Abv. de Food and Drug Administration (EU.), la Dirección de Alimentos y Medicinas

embargo los beneficios anticipables con el uso de las corrientes eléctricas solamente para estimular la osteogénesis en los casos de desunión, son extraordinarios. El valor de la técnica se puede estimar desde la perspectiva múltiple de la patología humana y de la economía. Anualmente se producen unos dos millones de fracturas de huesos largos en Estados Unidos; en alrededor del 5% de las mismas hay desuniones. La desunión es dos veces mayor en los hombres que en las mujeres, y la media de edad de los pacientes con fractura que tienen desunión es de 40 años. La duración media de las desuniones (hasta el momento del tratamiento con estimulación eléctrica, según se ha medido en una serie que recibió ese tratamiento), es de unos 3 años. La pérdida anual de horas de trabajo supera el equivalente del trabajo de 200.000 hombres/mujeres. Incluso con requerimientos de selección y un porcentaje de éxitos de 75-80% de la terapia con estimulación eléctrica, el potencial recuperador es claramente enorme. Los costos totales (médicos, compensaciones, legales, etc.) de las desuniones, antes del tratamiento con electricidad, se han estimado en unos 145.000 dólares por cada paciente.

En cuanto al mérito de la estimulación eléctrica en la reparación del 95% de fracturas de huesos largos que se consolidarían con los métodos usuales de tratamiento (reducción, inmovilización y tratamiento funcional) el Dr. Brighton dijo que "todavía se tiene que comprobar, pero deben esperarse ventajas, puesto que parece probable que la estimulación eléctrica podría acelerar

el proceso de consolidación, quizás doblar el porcentaje de consolidaciones". Con respecto a las fracturas de cadera en personas de edad avanzada -entre cuyos casos el promedio de desuniones es del 15-20%- , doce equipos de cirugía ortopédica participarán de todas partes de Estados Unidos en un estudio "preclínico" que se está preparando actualmente, para examinar la situación de la estimulación eléctrica en cuanto a su capacidad de reducir la patología en este grupo de pacientes. También se van a efectuar investigaciones sobre la posible validez de la estimulación eléctrica en la interrupción o la regresión de la osteoporosis.

La idea de utilizar la electricidad terapéuticamente en sistemas vivos tiene antecedentes problemáticos en Estados Unidos. Su progreso quedó obstruido primero por la oposición irrazonada de los eruditos. Después parecieron cesar las advertencias de las autoridades cuando estas modalidades fueron adoptadas por los curanderos (quacks = curanderos, matasanos, medicastros). "Pero han habido dificultades desde poco después de la II Guerra Mundial" -dijo el Dr. Brighton- "persisten focos de oposición hasta hoy, pero se están terminando".

A principios de los años 50 se empezaron a efectuar estudios serios con el descubrimiento del fenómeno piezoeléctrico en huesos con presiones de carta, por el Dr. Iwao Yasuda, cirujano ortopédico, y su colega, el físico E. Fukada; demostraron que

las áreas de hueso en compresión se volvían electronegativas mientras que las áreas en tensión se volvían electropositivas. Anteriormente se había especulado que la compresión induce la osteogénesis, y que la tensión induce la reabsorción del hueso. Sin embargo, ahora estos efectos se han asociado con las condiciones eléctricas. El estudio de estos potenciales de carga generados en el hueso por la presión de carga, fue profundizado por los doctores C.A.L. Bassett (Universidad de Columbia) y Robert O. Becker (Universidad de Siracusa), y por los doctores Maurice Shamos y Leroy Lavine (Universidad del Estado de Nueva York, Centro Médico Downstate). El Dr. Z. B. Friedenberg y el Dr. Brighton, de la Universidad de Pensilvania, trabajaron con hueso sano (vivo), sin presión de carga. Descubrieron que el hueso era electronegativo en la metáfisis y en el callo de fractura, y electropositivo en la diáfisis. Estos potenciales fueron calificados como potenciales bioeléctricos, en distinción por contraste con respecto a los potenciales generados por la presión de carga.

Esto llevó a efectuar experimentos con animales en los que se insertaron alambres y se aplicaron corrientes eléctricas al hueso, descubriéndose que en efecto la osteogénesis ocurría en la región del cátodo. Friedenberg, Brighton y los miembros de su equipo, demostraron después con conejos que el efecto osteogénico era dependiente de la dosificación, en una escala definida (desde $5 \mu\text{A}$ hasta poco menos de $20 \mu\text{A}$), y que la

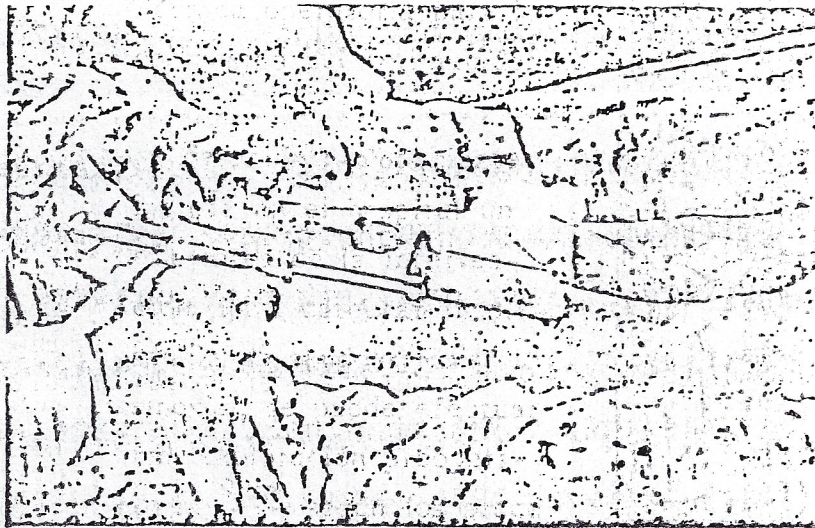
continuidad (constancia) de la corriente, era esencial para mantener el efecto osteogénico. Se demostró que una corriente de menos de 5 μ A no tenía ningún efecto, y que una corriente que supere los 20 μ A (que produce el máximo efecto osteogénico), produce necrosis celular y -muy importante- no induce la formación ósea. También demostraron que, con los bajos potenciales aplicados, desde aproximadamente 0'6v hasta 1'0 v., el oxígeno se consume en el cátodo y se producen radicales (o raíces) de hidroxilo. Con voltajes que superan alrededor de 1'5 v., se induce un efecto electrolítico y se libera hidrógeno en el cátodo. Sin embargo, con la producción de radicales de hidroxilo en los voltajes más bajos, la zona más próxima se hace alcalina (pH, aproximadamente de 7'75).

La técnica de la estimulación eléctrica del crecimiento óseo, la aplicaron por primera vez los Brighton y Friedenberg para tratar a un paciente en 1970. Hacia 1977, el equipo había tratado a 200 pacientes en Pensilvania y, a finales de 1979 ya se habían tratado más de 400. En 1977, empezaron a aplicar la estimulación eléctrica 16 grupos de trabajo de Estados Unidos para producir la osteogénesis en el tratamiento de las desuniones. Los promedios que se informaron sobre la consolidación de las fracturas, oscilaban entre el 80 y el 85 %. Los resultados del grupo de Pensilvania, junto a los de los 12 grupos de trabajo mencionados constituyeron la base para la aplicación que aprobó la FDA en 1979.

Hasta la fecha se han desarrollado tres sistemas quirúrgicos para la aplicación de la corriente eléctrica como medio de estimulación del crecimiento óseo. El primer sistema es el desarrollado y aplicado por el Dr. Brighton y su grupo de trabajo.

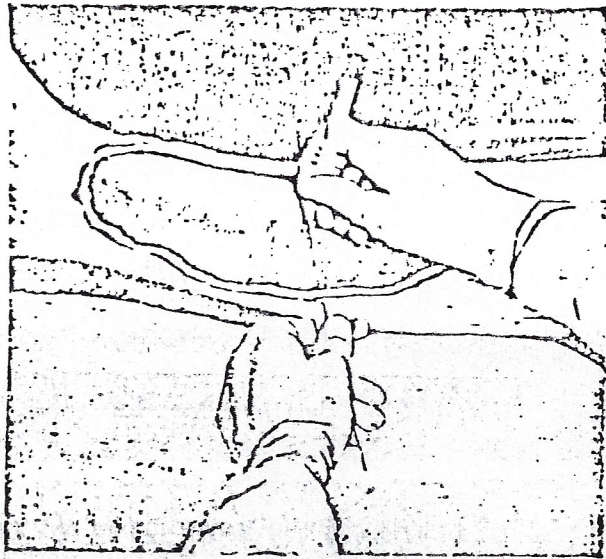
Técnica operatoria para la colocación del estimulador de crecimiento óseo en un caso de desunión: el paciente ingresa en el hospital un día antes de la intervención. Para detectar la presencia de pseudoartrosis sinovial, se puede efectuar una exploración preoperatoria ^{99m}, según los procedimientos operatorios.

Todas las zonas de desunión muestran una mayor actividad y exhiben zonas "calientes" (oscuras) en la abertura de la desunión. Si hay líquido sinovial en la abertura de la desunión, el patrón de la exploración será "caliente"/"frío"/"caliente".

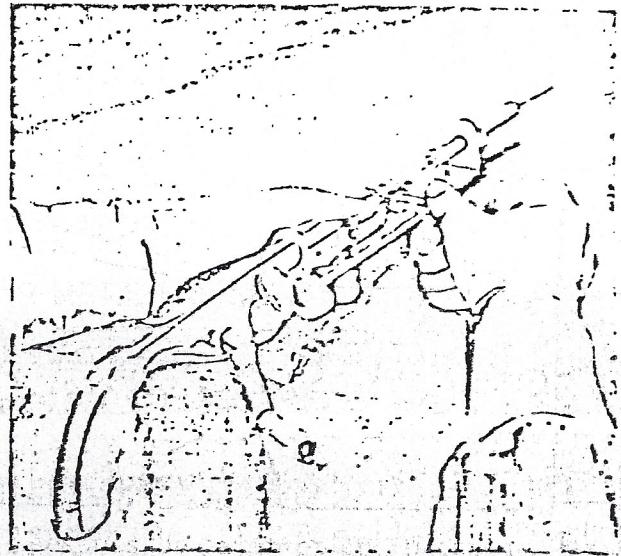


Operación del perforador especial, para insertar cátodos en el foco de la fractura con desunión

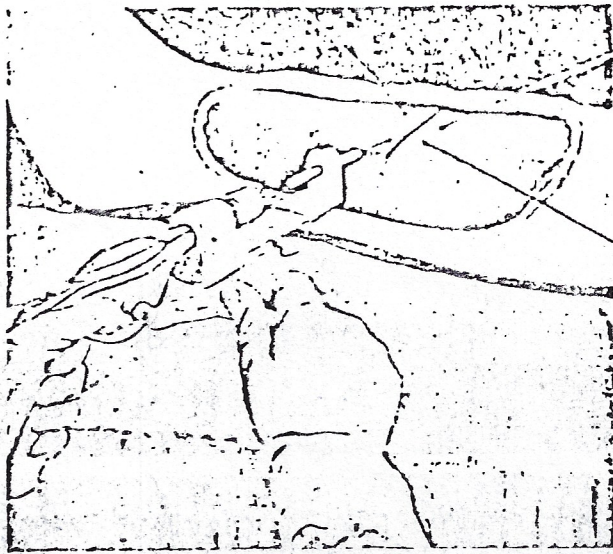
La técnica se lleva a efecto bajo condiciones de esterilización del quirófano, con control radiológico o de amplificación de imágenes. Antes de la intervención debe comprobarse con el contador de prueba la integridad del dispositivo QUADPAK ^{mr} para suministro de potencia.



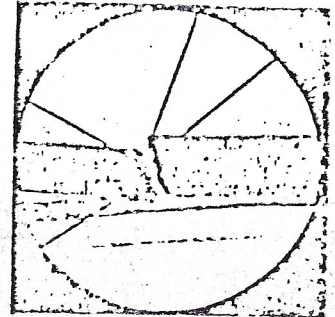
1.- Después de la apropiada preparación y cubrimiento de la extremidad afectada, se determina la situación exacta de la desunión con la ayuda del amplificador de imágenes. Se traza en la piel una línea con una pluma marcador estéril para definir la posición y el plano de la desunión. Se inyectan los puntos en los que se van a insertar los cátodos con un 1 por ciento de XYLOCAINE^(mr) sin epinefrina, o con otro anestésico local adecuado. Después se vuelve a inyectar en el tejido blando, en el periostio y en la zona de la desunión de los lugares antes inyectados.



2.- El extremo romo del cátodo aislado se monta en el portabrocas del insertor de cátodos, teniendo cuidado en no dañar el recubrimiento de TEFLON del cuerpo del cátodo. La barra deslizante situada en la parte frontal del insertor debe estar aproximadamente a 2'5 cm. de la extensión total, situándose el tubo-guía DELRIN a mitad de la barra de esa estabilización frontal. Con este posicionamiento, debe ajustarse el extremo del cátodo para que sobresalga unos 2'5 - 3'75 cm. del extremo del soporte. La llave del portabrocas se gira para asegurar el apriete del portabrocas sobre el cuerpo del cátodo.



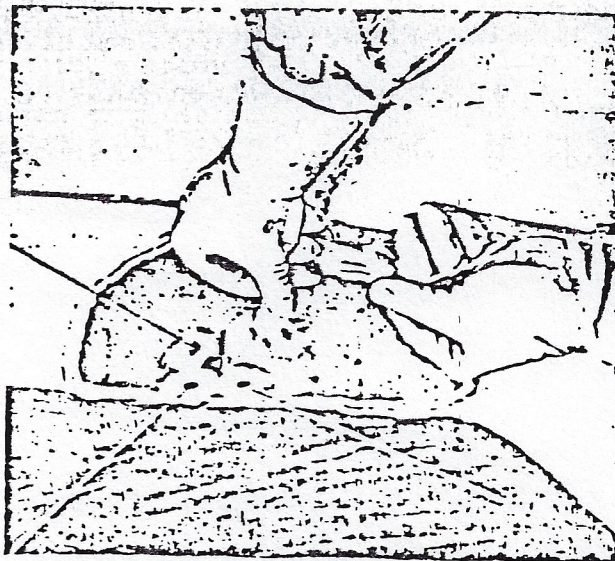
3.- Si es necesario un mayor largo del cuerpo del cátodo, se puede retraer la barra de estabilización hacia el porta-brocas. Caso de necesitar todavía más largo del cátodo, se puede desatornillar el tubo-guía, que tiene una ranura longitudinal, y elevarlo para permitir un mayor movimiento. (Hay que observar que el vástago del cátodo no se inserta en el extremo descubierto de la tibia, sino lateralmente, a través de tejido blando. También es preferible perforar en una cortical para asegurar el cátodo en el lugar de la desunión).



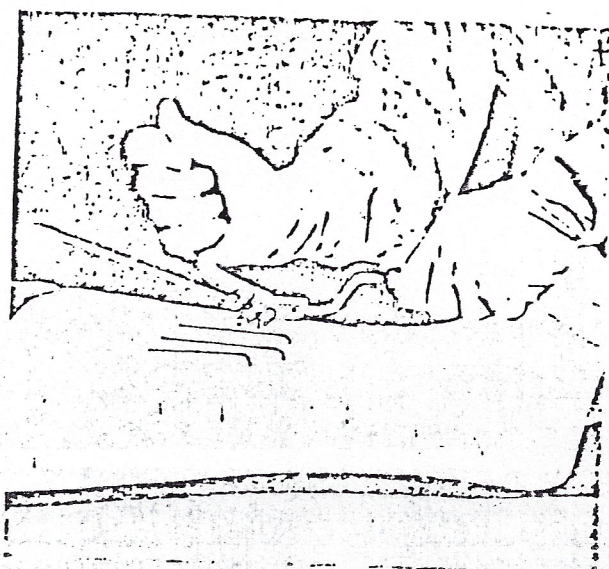
4.- El extremo del cátodo que no tiene recubrimiento debe descansar directamente en el lugar de la desunión. La distancia óptima entre las puntas de los cátodos es de 0'5 cm. La posición de los cátodos en el punto de la desunión se verifica en diversos ángulos con el amplificador de imagen o con rayos X.



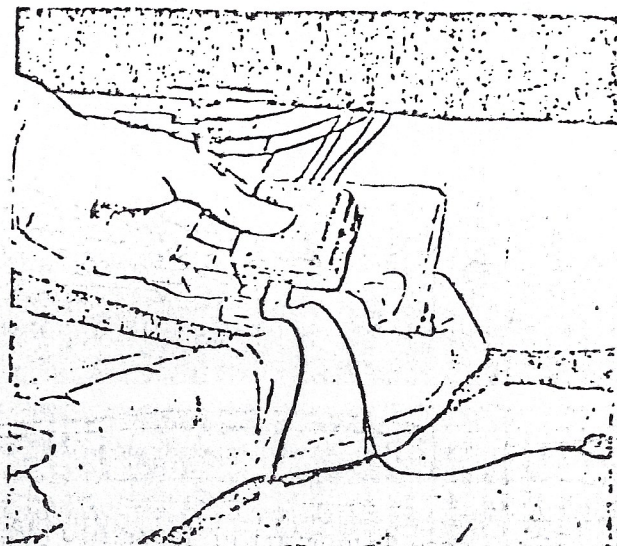
El amplificador de imagen ayuda al Dr. Carl Brighton para colocar el cátodo correctamente.



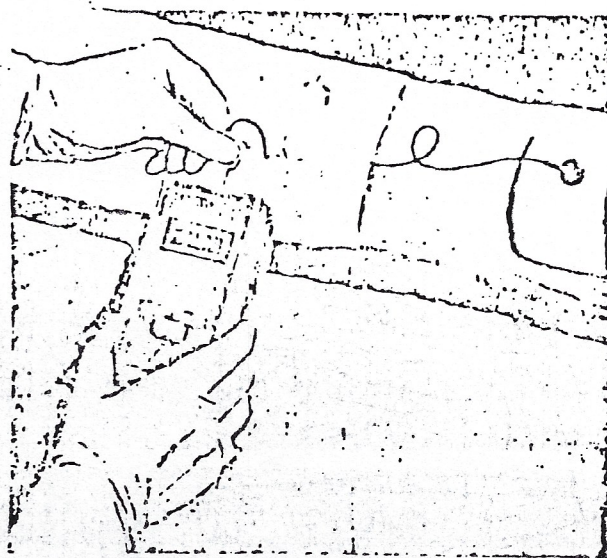
5.- Después se aplica pomada BETADINE^(mr) en el punto de entrada de cada cátodo, para ayudar a evitar la irritación local. Sobre el cátodo se colocan pequeñas piezas cuadradas de vendaje estéril, en el punto de entrada.



6.- Se utiliza el instrumental especial de doblamiento para doblar los vástagos de los cátodos, de forma que queden paralelos con respecto a la diáfisis de la extremidad. (Los cátodos que se doblan en cualquier otro ángulo tienen tendencia a aflojarse). El vástago del cátodo se desliza entre los dos cilindros pequeños del instrumento de doblado, y se comprime con el cilindro grande, doblándose en la dirección del punto en el que se va a situar el cátodo; después se corta con una cizalla corta-clavos standard, dejando aproximadamente unos 2'5 cm. en la parte distal con respecto al doblamiento.



7.- Se cubre el miembro con WEBRIL esterilizado; los conductores de los cátodos, que salen de la fuente de alimentación QUADPAK^(mr), se conectan a los cátodos. Se colocan almohadillas de vendaje WEBRIL debajo de cada conector y debajo de la fuente de alimentación para ayudar a evitar la necrosis por presión. Ni el QUADPAK, ni sus conectores protegidos con almohadillas, deben descansar sobre puntos en los que sólo hay una capa fina de tejido blando, como en el caso de la superficie anterior de la tibia.



8.- Se estabiliza la fuente de alimentación y los conectores protegidos con almohadillas, con una capa gruesa de WEBRIL. La almohadilla autoadhesiva del ánodo se coloca sobre la piel y se conecta al conductor del ánodo de color rojo. No debe existir tensión en los cables conductores de los ánodos o de los cátodos, incluso si el paciente flexiona la extremidad afectada.

Se efectúa una comprobación final de la alimentación de corriente con el dispositivo QUADPAK^(mr). Debido a que puede variar la resistencia inicial de la piel al flujo de corriente, puede ser que la lectura que se mida en esos momentos sea baja. Por ejemplo, si en un ensayo realizado antes de la intervención se obtiene la lectura esperada de $80 \mu A \pm 5\%$ ($20 \mu A$ por conductor), podemos esperar que haya una lectura más baja (p. ejemplo, entre 50 y $60 \mu A$) cuando se conecta este componente al enfermo. En el término de unas pocas horas la lectura subirá hasta los límites normales.



9.- Se aplica un enyesado sin soporte de peso de forma habitual, teniendo cuidado en no apretar el enyesado sobre los cátodos. Es importante que el paciente no tenga apoyo de peso sobre la desunión durante la duración del tratamiento eléctrico; de lo contrario los cátodos se pueden romper o desfijar.

Es un sistema "semi-invasivo", en el que los cátodos se insertan en el foco de la desunión, mientras que el ánodo, la fuente de alimentación y los conectores, simplemente se sujetan con vendaje en la superficie externa de la parte afectada. Debido a que el trabajo de investigación inicial (que empezó en 1961) se efectuó con subvenciones de la Marina de Estados Unidos, este ministerio conserva los derechos de las patentes de los instrumentos desarrollados por el grupo de Brighton. En 1974, viendo la necesidad de poner en producción esos dispositivos, los investigadores de Pensilvania solicitaron a la Marina que cediera la patente a una organización industrial capaz de su producción. En su momento, la Marina concedió la licencia exclusiva para producir el dispositivo a Zimmer - USA. El segundo sistema es "invasivo", en el cual se implanta subcutáneamente todo el dispositivo eléctrico, incluida la fuente de alimentación. Este dispositivo se fabrica en Australia. El tercer sistema es "no invasivo": el potencial y la corriente se producen por medio de la inducción electromagnética; la zona en la que ha ocurrido la desunión queda bajo el campo magnético inducido, durante unas 12 - 16 horas diarias, requiriendo que el paciente esté inmovilizado durante ese periodo.

Durante los últimos años, el equipo de Brighton y Zimmer han conseguido adelantos considerables y un buen número de modificaciones de los diseños iniciales del estimulador eléctrico de corriente continua en la técnica "semi-invasiva". Al principio se implantaba un solo electrodo; sin embargo, desde hace varios

años lo usual ha sido implantar 4 cátodos (agujas de Kirschner de 1'2 mm, aisladas con Teflón menos por 1cm en cada extremo). A veces se ha hecho necesario extraer una aguja por causa de una irritación; se ha descubierto que el efecto terapéutico no disminuye si se han colocado 3 cátodos. Se han modificado los clips de la fuente de alimentación para hacer más fácil su conexión a los cátodos. Los primeros ánodos de acero inoxidable causaron algunos problemas, y han sido sustituidos por almohadillas de gel de cloruro-plata-plata; estos ánodos son desechables y se deben cambiar cada 48 horas.

Han sido mínimas las complicaciones con la estimulación eléctrica de la osteogénesis con corriente continua constante; las infecciones en superficie se pueden desarrollar alrededor de los puntos de entrada de los cátodos. Cuando esto ocurría antes, se sacaban los cátodos y se trataban las infecciones sin incidencias. Usualmente, el exceso de utilización del miembro afectado por parte del paciente, es causa de una irritación. Puede ser suficiente abrir una ventana en el yeso para tratar estas irritaciones. La utilización excesiva del miembro afectado -o la colocación inadecuada de los cátodos- también puede resultar en un desanclaje de los cátodos.

Aproximadamente el 25% de los pacientes de la serie seleccionada y tratada con estimulación eléctrica en la Clínica de Desuniones de la Universidad de Pensilvania, ingresaron con osteomielitis

anterior. Mientras que está claro que esta terapia no debe ser aplicada cuando hay infección generalizada, existe una controversia sobre su seguridad cuando hay infección activa localizada en el foco de la desunión. Se dice que esta infección local no es una contraindicación para la utilización del sistema de acoplamiento inductivo electromagnético. "Sin embargo -dijo el Dr. Brighton-, es nuestra práctica no insertar los cátodos hasta haber controlado una infección local". En cuatro casos de entre los cerca de 100 pacientes que habían tenido osteomielitis antes de la estimulación eléctrica, se extendió la infección del hueso. Entonces fue necesario extraer los cátodos y no vuelve a reanudar la terapia osteogénica hasta haber controlado la infección. No se dieron casos de nueva infección intensa en los pacientes a quienes se les había tratado la infección previamente.

La estimulación eléctrica está también contraindicada (y/o no producirá resultados terapéuticos), si la abertura entre los bordes del hueso desunido supera el 50% del diámetro del hueso afectado, o si hay pseudoartrosis sinovial (como ocurre en el 5-10% de las desuniones, especialmente en el húmero); o si no se puede contar con el paciente, cuando sea ambulatorio, para que coopere totalmente en llevar adelante el régimen, en particular durante el primer período (hasta 12 semanas), durante el cual es crítica la inmovilidad de la parte afectada para mantener la estabilidad de los electrodos. El Dr. Brighton sugirió que para algunos pacientes que no cooperan se podría tomar en consideración un sistema totalmente invasivo. La presencia de placas

y tornillos de intentos anteriores para reparar la desunión por métodos convencionales, no es una contraindicación para la estimulación eléctrica con el sistema "semi-invasivo".

La evidencia cualitativa y cuantitativa demuestra que estos fenómenos ocurren juntos cuando se aplica al hueso una pequeña corriente continua exógena con un potencial bajo : la tensión de oxígeno disminuye (quizá hasta 20 mm Hg.); aumenta el pH; tiene lugar la osteogénesis. "Todavía no sabemos lo que sigue después" -dijo el Dr. Brighton-. "Todavía no está claro cómo se produce exactamente el efecto. Pero los resultados clínicos son indiscutibles y, obviamente, es beneficioso. También es indiscutible que estos resultados aconsejan la aplicación de la corriente eléctrica".

El Dr. Brighton dijo que la disciplina ortopédica ha sufrido en cierto modo de una falta de conocimiento fundamental. Sugirió que puede haber sido esta la causa, porque la función del hueso es tanto física como biológica. Parece razonable, por lo tanto, que sea de prever que haya un desarrollo considerable en el conocimiento de la biología del hueso, como consecuencia de la aplicación de la electricidad al hueso. "Esta es la situación. Aparte del gran beneficio clínico que es el que estamos en disposición de curar la mayoría de los casos de desunión, la tecnología que ha hecho posible este beneficio está abriendo un nuevo horizonte completo en la comprensión del crecimiento, la reparación y el mantenimiento del hueso".