

16 Interferencias electromagnéticas

TEMA 26

Interferencias electromagnéticas sobre los dispositivos implantables

ENRIQUE OREA CASTELLANO; MARGARITA RENART FURNE;
PUREZA MAINAR RUCIO

Introducción

Las **interferencias electromagnéticas** (IEM)¹⁻³ se definen como las señales eléctricas de origen no fisiológico que afectan o pueden afectar a la función normal de un marcapasos (MP). Los dispositivos implantables, al ser detectores de señales eléctricas, están sujetos a interferencias desde fuentes electromagnéticas que pueden provocar un mal funcionamiento de los mismos.

Las IEM se clasifican en:

- **Galvánicas:** Requieren contacto directo con la corriente eléctrica (en el medio hospitalario: cardioversión, desfibrilación, ablación, electrobisturí, etc.).
- **Electromagnéticas:** No requieren contacto directo (electrodomésticos, arco de soldadura, emisoras de radioaficionados, detectores de metales, etc.).
- **Magnéticas:** Requieren contacto directo con un campo magnético intenso (imanes, resonancia nuclear, puertas antirrobo, etc.).

En 1983 y 1992 fueron publicados dos trabajos donde se observaron y describieron alteraciones en el comportamiento de los marcapasos causadas por dichas interferencias. Estas investigaciones han servido para que los fabricantes de marcapasos hagan cada día sus generadores con mayor protección ante las IEM, así como el uso generalizado de electrodos bipolares.

Un MP es un dispositivo electrónico que consta de un generador y de uno, dos o tres electrodos. El generador produce los estímulos eléctricos y los electrodos transmiten estos estímulos al músculo cardíaco, además de detectar la actividad eléctrica del corazón comportándose como antenas. Las interferencias mencionadas pueden afectar al sistema de estimulación, directamente a través del marcapasos, o indirectamente a través del electrodo, que actúa como una antena. El cuerpo humano y los cables del dispositivo actúan como antenas receptoras en los que se generan corrientes inducidas.

Dependiendo del tiempo de exposición y de la intensidad del campo se puede producir un calentamiento del sistema eléctrico y, por lo tanto, microablaciones. Los campos electromagnéticos (ionizantes), a través de la emisión de partículas

subatómicas sobre el generador, pueden modificar la estructura de los semiconductores y causar daños irreversibles en los circuitos electrónicos. Estos daños son acumulativos. Los sistemas de sensado unipolar son más sensibles a las IEM que los bipolares, y los MP bicamerales son más sensibles que los monocamerales, ya que los primeros poseen dos antenas (electrodos). Los filtros de los MP/DAI y el procesado de la señal detectada proporcionan un método importante —pero no completamente satisfactorio— para discriminar los electrogramas intracardiacos (10-100 Hz) de los voltajes externos. No debemos olvidar que cada modelo de marcapasos puede reaccionar de una forma diferente ante una IEM.

Para un paciente portador de MP, las IEM son un problema, casi exclusivo, del ambiente hospitalario. Fuera del hospital son menos frecuentes y la aparición de sintomatología por este fenómeno es menor.

Las **variables** que influyen en los efectos de las IEM son:

- La intensidad del campo.
- La distancia entre las fuente de las IEM y el MP.
- La frecuencia y la forma de la onda de la señal.
- La orientación física del marcapasos.
- El tipo de sistema del marcapasos-electrodo (monopolar, bipolar, monocameral, bicameral).
- La programación del MP respecto a la sensibilidad y al modo de respuesta (disparado, inhibido, asíncrono).

Las **respuestas** del MP/DAI ante las IEM son:

1. **Marcapasos:**

- a) Inhibición de la estimulación o disparo temporal.
- b) Estimulación asíncronica.
- c) Fallo permanente de la función del MP.
- d) Reprogramación inadecuada, modo “reset” (vuelta a los parámetros típicos de función o nominales).
- e) Daño miocárdico en la interfase electrodo-endocardio.
- f) Estimulación rápida o prematura.
- g) Fallo en la detección.
- h) Detección falsa de taquiarritmias.

2. **DAI:**

- a) Inhibición de la estimulación o disparo temporal.
- b) Estimulación asíncronica.
- c) Terapia inapropiada de taqui.
- d) Inhibición de la taqui-terapia.
- e) Reprogramación inadecuada, modo “reset” (vuelta a los parámetros típicos de función o nominales).
- f) Daño miocárdico en la interfase electrodo-endocardio.

Dichos **efectos** de las IEM en los MP y DAI se pueden clasificar, según el tiempo, en:

- **Temporales:**

- Inhibición de la estimulación.
- Terapia de choque inapropiada.

- Funcionamiento en modo asíncrono A00/V00/D00.
- Cambio automático de modo de estimulación DDD(R) a VVI(R).
- **Persistentes:**
 - Cambio de funcionamiento a modo “Back Up”.
 - Modificación de umbrales.
- **Permanentes:**
 - Paciente: daño tisular (microablación).
 - Aparato:
 - Destrucción de circuitos por radiación ionizante o choque eléctrico.
 - Daños mecánicos por litotricia.

Medidas de protección. Los dispositivos actuales tienen varias medidas de protección contra las IEM:

- **Blindaje metálico con titanio**, que impiden que las IEM ingresen en el circuito del generador aunque tienen el inconveniente que no cubre el área de la conexión del cable.
- **Diodos Zener**, que limitan el voltaje de entrada a los circuitos, rechazando los voltajes superiores a 12 V. El inconveniente es que posee una capacidad máxima, por encima del cual se satura y permite el paso de altos voltajes.
- **Filtros del circuito de sensado**, que permiten el paso al circuito de sensado las frecuencias de 10 a 100 Hz. Rechazan las corrientes de alta y muy alta frecuencia; no rechazan las corrientes de baja frecuencia.
- **Sistemas de detección de ruido**, que impide la entrada de las corrientes continuas o pulsadas superior a 9 Hz y asegura, en caso de interferencia, una estimulación de seguridad en modo D00 o V00.
- **Circuito magnético**, que se activa ante la presencia de un campo magnético, rechazando las ondas que provienen de él. Tienen una acción limitada en las funciones de telemetría pudiendo, en ocasiones, facilitar los cambios en la programación del dispositivo.

Interferencias electromagnéticas en el entorno doméstico y espacios públicos

Todos los aparatos que usen electricidad o electroimanes generan un campo magnético débil y, en teoría, no producen interferencias.

Como posibilidad de producir IEM en los dispositivos implantables cabe destacar los siguientes:

1. **Electrodomésticos.** Se pueden utilizar todos, estando en correctas condiciones de funcionamiento, libres de cortocircuitos y con una correcta conexión a tierra. Los que funcionan con pilas no producen interferencias. Posibles efectos: Pueden producir interferencia, inhibición o disparo del estímulo si se colocan directamente sobre el MP o haciendo vaivén.
2. **Microondas.** En la actualidad no producen interferencias. Ello es debido fundamentalmente a que, en la actualidad, todos funcionan con la puerta cerrada, tienen menos fugas, operan con potencias más bajas y poseen una velocidad de movimiento en abanico más lento.

3. **Abrelatas eléctrico.** Es el que más interferencias puede ocasionar.
4. **Cortacésped y taladradoras.** No producen interferencias, pero las vibraciones que producen pueden originar miopotenciales cuando el sensado está programado en monopolar, o activar el biosensor de vibraciones.
5. **Dispositivos de control remoto.** Los mandos a distancia de la televisión y videos, de apertura de puertas de garajes, controladores a distancia de juguetes y algunos sistemas de alarma antirrobo son inocuos y seguros.
6. **Teléfonos:**
 - a) Los teléfonos fijos conectados a la red no producen IEM.
 - b) Los inalámbricos homologados emiten con una potencia muy baja de 0,05 vatios, por lo que es excepcional que puedan producir IEM.
 - c) Los teléfonos móviles⁴⁻⁶ pueden producir IEM debido a que son receptores y emisores radioeléctricos de ondas de frecuencias muy bajas (30-300 Khz), con potencia del emisor muy baja (0,6 vatios), que además incorporan un pequeño imán en el auricular. El teléfono “apagado” o “encendido en espera” puede provocar IEM del tipo estimulación VOO debido a la detección del imán. Al efectuar o recibir una llamada puede provocarse inhibición temporal del marcapasos o detección de ruido, sobre todo utilizando sensado monopolar, y disparo con sincronía AV en marcapasos bicamerales, fenómenos que se acentúan si se aproxima el teléfono al generador; si se toca la antena con los dedos o hace contacto con la piel o si se utiliza el sistema “manos libres”. Es improbable que se altere la programación del marcapasos. Consejos: Llevar el teléfono móvil en el lado del cuerpo opuesto a la zona del generador (a una distancia mínima de 30 cm.), no colocarlo sobre esa zona y utilizar el oído opuesto.
7. **Interruptores activados por contacto digital.** Teclados de ascensores, algunos televisores, radios, etc. Para su funcionamiento usan corriente eléctrica de baja intensidad que puede inhibir el marcapasos durante el contacto digital, pero como éste es breve, nunca es clínicamente sintomático.
8. **Mantas eléctricas, colchones y sillas magnéticas, balanzas de medidas de masa corporal.** Se recomienda no utilizarlos.
9. **Máquina de afeitar.** En los MP programados unipolares puede causar cambio de modo temporal.
10. **Señales ambientales:**
 - a) Las **líneas eléctricas** pueden interferir si transportan más de 1000 w.
 - b) Los **motores de combustión encendidos por chispa** (automóvil). Son seguros cuando se usan de manera habitual. Pueden producir inhibición si se aproxima el generador al motor del automóvil en funcionamiento. Es seguro viajar y conducir en un automóvil.
 - c) Los **radiotransmisores** no producen interferencias, siempre que transmitan a las frecuencias permitidas por la normativa española de telecomunicaciones. Si existen dudas, es aconsejable monitorizar a los pacientes al inicio de la utilización de estos equipos, sobre todos si los MP son unipolares y/o bicamerales.
 - d) Las **emisoras de radio y TV comerciales o militares.** El paseo o viaje fuera del área vallada de las instalaciones suele ser seguro. Las personas portadoras de MP empleados en las instalaciones deberán utilizar sistemas

bipolares de sensado y serán monitorizados durante el primer día de trabajo después del implante.

- e) El **radar**. El radar utilizado por los agentes de seguridad del Estado no producen interferencias.
11. **Detectores de metales y alarmas**. Son utilizados en bancos, grandes almacenes, aeropuertos, juzgados, etc. Usan campos electromagnéticos de baja frecuencia, pero pueden producir cambios menores y transitorios en la frecuencia de estimulación o reversión transitoria a VOO (inhibición del marcapasos si el portador de éste se queda parado dentro del campo de acción del detector). Pueden originar inhibición transitoria en MP bicamerales en sistema monopolar. Respecto a los sistemas antirrobo se aconseja pasar a través de ellos sin detenerse.
 12. **Sol**. Evitar exposiciones directas y prolongadas sobre el generador; si la exposición es larga puede producir calentamiento de la carcasa del generador, dando lugar a una quemadura en la piel.
 13. **Submarinismo**. La carcasa de los dispositivos está probada para aguantar una presión determinada, si se excede al sumergirse se pueden sufrir serios daños físicos. En general se considera que la inmersión no debe superar los 7 metros de profundidad.

Interferencias electromagnéticas en el entorno laboral

1. **Soldadura eléctrica de arco voltaico, hornos de inducción, plantas generadoras de energía eléctrica, subestaciones de centrales eléctricas, campos magnéticos industriales**. Todos pueden causar IEM. Pueden producir inhibición, estimulación a frecuencia fija y, en estos casos, se desconoce la distancia mínima en la cual no se detectan alteraciones. Los empleados de estas industrias deben llevar sistemas de sensado bipolar y, durante el primer día de trabajo tras el implante, estar monitorizado.
2. **Interferencias electromagnéticas en los tratamientos dentales.**^{7,8} **No se han descrito daños permanentes en los marcapasos, no dañan el MP.**
 - Posibles efectos:
 - Algunos modelos de ultrasonidos pueden inhibir el marcapasos, si se apoya el asa del instrumento sobre el generador.
 - Las vibraciones producidas por el fresado pueden aumentar la frecuencia de estimulación (biosensor cristal piezoeléctrico).
 - Normas a seguir:
 - Utilización intermitente del procedimiento de fresado o de ultrasonidos.
 - No apoyar los instrumentos sobre el generador.
 - Desprogramar la modulación de frecuencias durante las sesiones.
3. **Aplicación de un imán**. Los posibles efectos sobre el MP son:
 - **Inhibición**. La aplicación o retirada del imán causa un cambio brusco en el voltaje, pudiendo producir:
 - Pausas largas sin estímulos.
 - Inhibición mantenida cuando el imán es movido en vaivén de un lado a otro del MP.
 - Inhibición temporal al activar el programador en algunos fabricantes.

- **Disparo/estimulación.** Tras interrogar algunos marcapasos en modo DDD se autoprograman automáticamente en función magnética “apagada”, por lo que, al colocar el imán, no se comportan en modo DOO. Se produce sensado por el canal auricular y disparo sincronizado por el canal ventricular, pudiendo originar incluso taquicardia en asa cerrada. Dicha taquicardia no se corrige mediante la aplicación del imán hasta que se re programe la función magneto en “on”.
- **Interferencia** durante la programación. Dependiendo de la casa comercial fabricante y de la posición del cabezal del programador sobre el marcapasos puede suceder inhibición, estimulación del canal ventricular (si las señales son sensadas por el canal auricular de un generador DDD), estimulación asíncrona o cambio en la frecuencia de estimulación.

Interferencias electromagnéticas en Electromedicina

1. Cardioversión eléctrica/desfibrilación

La desfibrilación externa conlleva tal cantidad de energía que su proximidad al MP puede ocasionar daños en el generador y en el miocardio (quemadura miocárdica en el punto de contacto del electrodo distal). La desfibrilación interna conlleva una menor cantidad de energía, por lo que no produce daño a la función del MP y no suele interferir en su funcionamiento.

Los MP están protegidos de las corrientes producidas en la cardioversión/desfibrilación por un diodo de Zenner (regula electrónicamente el voltaje entrante) que permite al MP resistir una descarga de hasta 400 wats/seg., a una distancia de al menos 10 cm. del MP o electrodo. Sin embargo, altas energías, sobre todo en unidades unipolares, pueden causar daños en el generador y en el corazón.

La mayoría de las disfunciones, tras la cardioversión/desfibrilación, han ocurrido en sistemas de sensado unipolar y en generadores implantados en la zona pectoral derecha.

Riesgos:

- Cambio de modo (el más frecuente).
- Fallo permanente en la función del MP, tanto en modo unipolar o bipolar.
- Desplazamiento del electrodo.
- Aumento de los umbrales de estimulación agudos y crónicos.
- Infrasensado temporal.
- Reprogramación a los parámetros típicos de función o nominales: “Reset”.
- Fibrilación ventricular.

Normas de prevención:

- Usar palas en posición anteroposterior. Si no es posible, utilizar las palas precordiales en posición perpendicular a la línea de marcapaso-punta del electrodo. En ambos casos, las palas deben colocarse a una distancia mínima de 10 cm. del generador-electrodo, para evitar daño miocárdico. En los MP bicamerales hay que guiarse por el electrodo ventricular. Nunca hay que aplicar las palas sobre el MP.
- Usar la energía de desfibrilación/cardioversión más baja posible.
- Determinar el grado de dependencia del MP.

- Tener disponible el programador del MP adecuado en la sala.
- Tener disponible un marcapaso externo transcutáneo.
- Programar la salida a la máxima amplitud.
- Programar la polaridad de los electrodos en bipolar.
- Realizar una revisión completa del MP después de la técnica.
- Monitorizar al paciente durante 24 horas.

2. Electrocauterio–bisturí eléctrico

Esta técnica utiliza alto voltaje, corriente de baja energía y radiofrecuencia alta, para conseguir cortar tejidos orgánicos y la hemostasia de dichos tejidos. La hemostasia se consigue en sistema bipolar, siendo útil para coagular zonas pequeñas. Pero la incisión de los tejidos precisa, en sistema unipolar, más energía y penetra en todo el cuerpo del paciente. Su utilización puede ocasionar cualquier tipo de respuesta en el MP. La interferencia puede ser interpretada, como un impulso cardiaco (inhibición inapropiada) o como un ruido (cambio de modo).

Posibles riesgos:

- Inhibición temporal del MP de uno o varios latidos (es el riesgo más común).
- Fallo permanente en la función del MP. Inhibición total.
- “Reset” del MP (modo de reversión por ruido, modo “fall-back”).
- Incremento de la frecuencia en MP con biosensores de cristal piezoeléctrico. Puede afectar al sensado mono o bipolar.
- Conducción a través del electrodo. Aumento de umbrales y daño al miocardio (infarto de miocardio).
- Daños en la circuitería y fallos de captura.
- Fibrilación auricular o ventricular.

Normas de prevención:

- En el preoperatorio:
 - Determinar, antes de la intervención, si el paciente es no marcapasos-dependiente.
 - Desactivar el sensor y la detección de las terapias.
 - Puede programarse el MP en modo VOO. No utilizar la aplicación del imán sobre el MP.
 - Programar la detección en bipolar.
- En la intervención:
 - Monitorización de la presión de pulso. Si no es posible, utilizar monitorización ECG, aunque ésta puede ser distorsionada por el electrocauterio.
 - Tener disponible un marcapasos externo transcutáneo, un desfibrilador y el programador adecuado del MP.
 - Si se utiliza cauterio monopolar, utilizar el electrodo de masa, con suficiente pasta conductora, en la extremidad inferior o lo más alejada posible del MP.
 - Si es posible, utilizar el electrocauterio en sistema bipolar.
 - Evitar que el cuerpo del paciente esté en contacto con ningún dispositivo eléctrico.
 - Utilizar el electrobisturí de forma intermitente, usando ráfagas breves y con la potencia lo más baja posible.

- No usar a una distancia menor de 15 cm de la zona del MP o punta del electrodo, y nunca entre ambos.
- Procurar no utilizar el bisturí eléctrico en pacientes sujetos a reemplazo del generador y con signos evidentes de depleción de la batería.
- En el postoperatorio:
 - Analizar el MP con el programador inmediatamente después, a las 24 y a las 48 horas de utilizar el electrocauterio.
 - Reprogramar si fuera necesario.
 - Recambiar el generador si la circuitería hubiera sido dañada.

3. Ablación eléctrica

Inicialmente se utilizó corriente alterna que dañaba los MP tanto como la desfibrilación externa. En la actualidad se utiliza radiofrecuencia.

Posibles riesgos:

- Aumento transitorio de los umbrales de estimulación.
- Cambios transitorios de la sensibilidad.
- Inhibición o infradetección, ciclos irregulares.

Normas de prevención:

- Monitorización durante la ablación.
- Análisis de las funciones y parámetros del MP antes y después de la técnica.
- Tener disponible en la sala el programador específico y/o un imán.
- Durante la emisión de corriente de radiofrecuencia, en ocasiones es preciso colocar el imán sobre el generador, para obtener un modo asíncrono fijo.
- Reprogramación de las funciones alteradas en el generador.
- Programación de mayor voltaje de salida y/o anchura de estimulación durante 3 meses.

4. Radiación terapéutica⁹⁻¹³

El uso de la radiación como técnica diagnóstica no tiene efectos sobre los MP, pero los niveles terapéuticos pueden producir alteraciones. Los MP actuales poseen en sus circuitos integrados semiconductores de óxido de metal complementariamente (CMOS), siendo estos más sensibles a los niveles bajos de radiación que los componentes separados de los generadores antiguos. Los efectos sobre los MP pueden ser temporales o permanentes y dependen:

- a) del tipo de radiación;
- b) de la dosis total;
- c) del tipo de dispositivo;
- d) de las características de su fabricación, y
- e) de la distancia entre el MP y el campo de radiación.

El daño está en relación con la dosis de radiación acumulada, siendo indiferente aplicar la misma dosis en una única sesión que de forma fraccionada.

Las disfunciones transitorias por la utilización del acelerador lineal son producidas por las IEM y no tienen trascendencia.

Riesgos. Los daños y el efecto producido son impredecibles, pero pueden ser:

- Desprogramación, reprogramación espontánea.
- Fallo en el sensado y en la estimulación.
- Aumento de umbral.
- Desbocamiento (“Run away”).
- Fallo de salida.
- Respuesta anormal al imán.

Normas de prevención:

- Evitar la irradiación directa sobre el generador. Si no es posible, se ubicará el MP en el otro hemitórax.
- Proteger el generador durante la radiación.
- Monitorización ECG durante las sesiones. Analizar el MP antes y después de cada sesión.
- Recambiar el generador si se observa cualquier fallo, aunque este sea transitorio.

La observación de disfunciones transitorias es precursora de alteraciones más serias y permanentes.

5. Resonancia magnética nuclear (RMN)

Durante su realización se produce un gran campo magnético estático y variable en el tiempo que puede afectar al funcionamiento normal del MP. Este campo es generado por un electroimán y formado por ondas eléctricas de radiofrecuencia (30-300 Hz).

Riesgos:

- Consecuencia del campo magnético estático y variable:
 - Estimulación asíncrona.
 - Inhibición transitoria del interruptor de láminas del generador.
 - Desplazamiento del generador por tracción mecánica sobre los materiales ferromagnéticos (en los dispositivos antiguos ya que poseen mayor material ferroso).
 - Activación permanente del modo “imán” en caso de sensores tipo “Reed”.
 - Alteración en los circuitos electrónicos del generador.
 - Calor.
- Consecuencia de la radiofrecuencia:
 - Inhibición temporal o total del MP.
 - Estimulación del MP a la misma frecuencia del periodo de pulso de la radiofrecuencia.
 - En los MP bicamerales y los programados con detección monopolar se puede superar la frecuencia límite superior de protección y ocasionar desbocamiento del MP.
 - Disfunción transitoria del interruptor de láminas.
 - Detección de falsas taquicardias.
 - *Reset* del MP. Reprogramación a parámetros de “ruido”.
 - Inducción de corrientes elevadas y calentamiento de los electrodos: Altos umbrales y daño del tejido.

Normas de prevención:

1. La resonancia magnética nuclear (RMN) con campos magnéticos potentes debe ser evitada en todos los pacientes con MP, ante las complicaciones tan importantes que se pueden producir.
2. El personal que trabaje en el hospital no debe acercarse a menos de 9 metros.
3. Si es imprescindible la realización de la RMN:
 - Interrogar antes y después el dispositivo.
 - Desactivar el MP y la detección de arritmias.
 - En paciente no marcapaso-dependiente: programar el MP en VOO/DOO y voltaje de salida subumbral.
 - En paciente marcapaso-dependiente: Utilizar potencias bajas de energía, cortes únicos, baja resolución y frecuencia de absorción baja.
 - Consentimiento informado del paciente.

Se han llevado a cabo estudios para determinar las complicaciones de la RMN. En dos estudios realizados –uno con una población de 13 pacientes con un mismo modelo de generador y una energía de 2,0 T, y otro con 18 pacientes portadores de DAI y energía de 1,5 T–, y no se han presentado complicaciones en ninguno de ellos.

6. Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS)

Este método consiste en la colocación de electrodos en la piel, conectados a un generador de impulsos externo, que proporciona ondas de energía rectangulares de 20 ms de duración y 1-200 voltios. Debido a esta producción de corriente eléctrica no pulsada en contacto con los tejidos puede interferir con la función del MP. Es una técnica segura siempre que se coloquen los electrodos de forma no paralela al electrodo ventricular del MP.

Riesgos:

- No daña al MP.
- Puede inhibirse el MP cuando los electrodos del TENS se colocan paralelos al electrodo del MP.
- En MP VDD y DDD: la señal producida por el TENS puede ser sensada como actividad auricular, sincronizarla como actividad ventricular, aumentando la frecuencia ventricular.

Normas de prevención:

- Colocar los electrodos no paralelos al electrodo ventricular al MP.
- Colocar los electrodos lo más juntos posible para evitar la dispersión de la corriente.
- Situar los electrodos tan lejos como sea posible del generador y los cables.
- Programar el sensado del MP en bipolar y no usar en caso de detección monopolar.
- Monitorización durante la técnica.

7. Litotricia¹⁴

Las ondas electromagnéticas y mecánicas que genera este procedimiento pueden alterar el funcionamiento del MP. El MP está sometido a doble interferencia:

eléctrica y mecánica (ondas de choque). Las ondas de choque, son sincronizadas con la onda R o con el MP, ya que pueden dar lugar a extrasístoles ventriculares, si no se sincronizan.

Riesgos:

- Según estudios realizados cuando las ondas de choque eran síncronas, el MP no sufría inhibición. En cambio, cuando eran asíncronas, se producían inhibiciones, tanto en forma unipolar como bipolar. Este riesgo es menor en unidades unicamerales que en bicamerales.
- Taquiarritmias supraventriculares y disparos del canal ventricular en los MP bicamerales.
- Inducción de taquiarritmias auriculares.
- En MP con biosensores de cristal piezoeléctrico: Aumento de la frecuencia de estimulación al máximo y un pequeño riesgo de fractura del cristal de cuarzo por la onda de choque.

En general, sólo se han detectado daños físicos sobre el MP cuando las ondas de choque se dirigen hacia ellos. Por esto, si el generador se encuentra en el tórax, puede aconsejarse la litotricia, no así cuando esté situado en el abdomen.

Normas de prevención:

- Programar el MP en modo VVI o VOO.
- Colocar el punto focal del litotriptor a una distancia como mínimo de 15 cm. del MP.
- Sincronización de los choques con la estimulación.
- Se aconseja desactivar la función “R” durante la técnica.
- Monitorización cardiaca con control del pulso periférico durante el tratamiento.
- Revisión y reprogramación del MP después del procedimiento.

8. Diatermia

Este procedimiento utiliza alta frecuencia aplicada a los tejidos produciendo calor. Puede ser fuente de interferencias.

Riesgos:

- Por las señales de alta frecuencia su utilización puede afectar a los MP y a la zona donde esté ubicado el generador. Puede inhibir la unidad o dañarla.
- Por el calor:
 - Si se aplica cerca del generador puede alterar el circuito de forma permanente.
 - Calentamiento de la carcasa metálica del generador, llegando a producir quemadura en la piel adyacente.

Normas de prevención:

- La onda corta o diatermia está contraindicada en pacientes portadores de MP.

9. Electroshock

En esta terapia eléctrica, sólo una mínima cantidad de electricidad llega al corazón debido a la alta resistencia de los tejidos corporales. No se daña el marcapasos, es una técnica segura para sus componentes.

Posibles riesgos. En detección monopolar, la contractura muscular originada por el choque puede ocasionar suficientes miopotenciales como para inhibir transitoriamente el MP.

Normas de prevención:

- Monitorización ECG durante la técnica.
- Revisión del MP después del procedimiento.

Bibliografía

1. Oter Rodríguez R, de Juan Montiel J, Roldán Pascual T, Bardají Ruiz A, Molinero de Miguel E. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en marcapasos. *Rev Esp Cardiol.* 2000;53(07):947-966. Disponible en: www.doyma.es/cardio/ctl_servlet?_f=40&ident=10486 Consulta: 14 abril 2010.
2. Boston Scientific. A Closer Look. Interferencia electromagnética (IEM) y sistemas de dispositivos implantables. Natick (MA): Boston Scientific; 2008. Disponible en: www.bostonscientific.com/templatedata/imports/HTML/CRM/pprc_intl/acl/sp/pdfs/EMI/ES_ACL_EMI_and_Implantable_Devices_080408.pdf Consulta: 14 abril 2010.
3. Fundación Castellano-Leonesa de Cardiología. Interferencia electromagnética y dispositivos. Disponible en: www.fucalec.com/marcapasos_emi.aspx. Consulta: 14 abril 2010.
4. Jiménez A, Hernández Madrid A, Pascual J, González Rebollo G, Fernández E, Sánchez A, Ortega J, Lozano F, Muñoz R, Moro C. Interferencias electromagnéticas entre los desfibriladores automáticos y los teléfonos móviles digitales y analógicos. *Rev Esp Cardiol.* 1998;51(05):375-382. Disponible en: www.doyma.es/cardio/ctl_servlet?_f=40&ident=281 Consulta: 14 abril 2010.
5. Megía MA, Jiménez A, Hernández Madrid A, Moro C. Teléfonos móviles e interferencia con los desfibriladores automáticos implantables. Papel de la enfermería en la educación sanitaria del paciente portador del dispositivo antiarrítmico. *Enferm Cardiol.* 2001;Año VIII(22):32-34. Disponible en: www.enfermeriaencardiologia.com/revista/2202.pdf Consulta: 14 abril 2010.
6. Sanmartín M, Fernández Lozano I, Márquez J, Antorrena I, Bautista A, Silva L, Ortigosa J, de Artaza M. Ausencia de interferencia entre teléfonos móviles GSM y desfibriladores implantables: estudio in vivo. *Rev Esp Cardiol.* 1997;50(10):715-719. Disponible en: www.doyma.es/cardio/ctl_servlet?_f=40&ident=532 Consulta: 14 abril 2010.
7. Boston Scientific. A Closer Look. Equipos de odontología y marcapasos y desfibriladores implantables. Natick (MA): Boston Scientific; 2009. Disponible en: www.bostonscientific-international.com/templatedata/imports/HTML/CRM/pprc_intl/acl/sp/pdfs/EMI/ES_ACL_Dental_Equipment_020208.pdf Consulta: 14 abril 2010.
8. Brand HS, Entjes ML, Nieuw Amerongen AV, van der Hoeff EV, Schrama TAM. Interference of electrical dental equipment with Implantable Cardioverter-defibrillators. *British Dental Journal.* 2007;203:577-579.
9. Boston Scientific. A Closer Look. Radiación terapéutica y marcapasos y desfibriladores implantables. Natick (MA): Boston Scientific; 2008. Disponible en: www.bostonscientific-international.com/templatedata/imports/HTML/CRM/pprc_intl/acl/sp/pdfs/EMI/ES_ACL_Therapeutic_Radiation_121508.pdf Consulta: 14 abril 2010.
10. Steidley KD, Steidley DE. Pacemaker/ICD Irradiation Policies in Radiation Oncology. Disponible en: <http://irpa11.irpa.net/pdfs/4e26.pdf>. Consulta: 14 abril 2010.
11. Wilkinson JD, Bounds C, Brown T, Gerbi BJ, Peltier J. Cancer-Radiotherapy Equipment as a Cause of Soft Errors in Electronic Equipment. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability.* 2005;5(3):449-451.
12. Solan AN, Solan MJ, Bednarz G, Goodkin MB. Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004;59(3):897-904.
13. Hurkmans C, Schmeets I, Uiterwaal H. In regard to Solan et al.: Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy (*Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004;59:897-904). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004;60(5):1662-1663.
14. Boston Scientific. A Closer Look. Lithotripsy and Implantable Pacemaker and Defibrillator Systems. Natick (MA): Boston Scientific; 2008. Disponible en: www.bostonscientific-international.com/templatedata/imports/HTML/CRM/pprc_intl/acl/sp/pdfs/EMI/EN_ACL_Lithotripsy_103008.pdf Consulta: 14 abril 2010.