



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO DE ESPECIALIDADES MÉDICAS

CONSIDERACIONES ANESTÉSICAS PERIOPERATORIAS EN EL PACIENTE
ADULTO PORTADOR DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO CARDÍACO
IMPLANTABLE SOMETIDO A CIRUGÍA NO CARDÍACA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A LA CONSIDERACIÓN DEL
COMITÉ DE LA ESPECIALIDAD DE ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN
PARA OPTAR POR EL GRADO Y TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN

AUTORA: DRA. HELEN FERNÁNDEZ VENEGAS
RESIDENTE DE ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mis padres Azucena Venegas y Rodolfo Fernández, por todo su amor y por motivarme a seguir adelante, todos mis logros se los debo a ellos. También a mis hermanas, por brindarme su apoyo incondicional.

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, llenándome de paciencia, fortaleza, sabiduría y valor. A la Doctora Shirley Acuña y los Doctores Henry Araya y Kwok Ho Sánchez Suen por el tiempo y apoyo dedicado durante todo el proceso de este trabajo final de graduación. A mis profesores del posgrado por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Helen Fernández Vengas, con cédula de identidad 114690608, en mi condición de autor del TFG titulado Consideraciones Anestésicas perioperatorias en el paciente adulto portador de un dispositivo electrónico cardíaco implantable sometida a Cirugía no cardíaca

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Helen Fernández Vengas

Número de Carné: 1399873 Número de cédula: 114690608

Correo Electrónico: rasmhia@hotmail.com

Fecha: 12/10/23 Número de teléfono: 84269503

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Dra Shirley Acuña

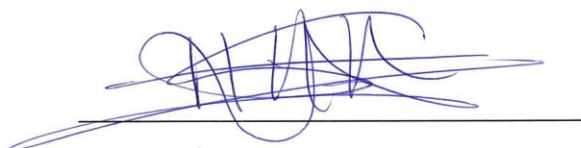
FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

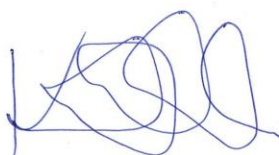
"Esta Tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en **Anestesiología y recuperación** de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en el Programa de Posgrado **Anestesiología y recuperación**"



Dra. Shirley Acuña Chinchilla. Anestesióloga
Tutora/Profesora Guía



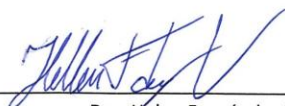
Dr. Henry David Araya Rauda. Anestesiólogo
Lector 1



Dr. Kwok Ho Sánchez Suen . Anestesiólogo
Lector 2



Dr. Alan Borges Bolaños director
Programa de Posgrado en la Especialidad en Anestesia



Dra. Helen Fernández Venegas
Sustentante

Carta de revisión filológica



M. L. Vilma Isabel Sánchez Castro
Bachiller y Licenciada en Filología Española, U.C.R.



A QUIEN INTERESE

Yo, Vilma Isabel Sánchez Castro, Máster en Literatura Latinoamericana, Bachiller y Licenciada en Filología Española, de la Universidad de Costa Rica; con cédula de identidad 6-054-080; inscrita en el Colegio de Licenciados y Profesores, con el carné N° 003671, hago constar que he revisado el siguiente documento. Y he corregido en él los errores encontrados en ortografía, redacción, gramática y sintaxis. El cual se intitula

**CONSIDERACIONES ANESTÉSICAS PERIOPERATORIAS EN EL PACIENTE
 ADULTO PORTADOR DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO CARDÍACO
 IMPLANTABLE SOMETIDO A CIRUGÍA NO CARDÍACA**

HELEN FERNÁNDEZ VENEGAS

**ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN
 SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
 PROGRAMA DE POSGRADO DE ESPECIALIDADES MÉDICAS
 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Se extiende la presente certificación a solicitud de la interesada en la ciudad de San José a los dos días del mes de agosto de dos mil veintitrés. La filóloga no se responsabiliza por los cambios que se le introduzcan al trabajo posterior a su revisión.

Vilma Sánchez Castro
 M.L. Vilma Isabel Sánchez Castro
 Máster en Literatura Latinoamericana. UCR.
 Bachiller y Licenciada en Filología Esp. UCR.
 Cédula 600540080-Carné 003671

Teléfonos 2227-8513. Cel 8994-76-93 Apartado 563-1011 Y griega
 Correo electrónico: vilma_sanchez@hotmail.com-info@chavesysanchezfilologos.com
 Página Web: Chaves y Sanchez filólogos
 Waze Chaves y Sánchez filólogos

Tabla de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Carta de aprobación de Tutor.....	iv
Carta de aprobación del lector	v
Carta de revisión filológica	vi
Resumen	xi
Summary	xii
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiii
Abreviaturas	xv
Introducción	1
Justificación	2
Pregunta de investigación	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	4
Metodología preliminar	5
Metodología	5
Capítulo 1. Datos relevantes de la historia evolutiva de la estimulación cardíaca permanente	6
Capítulo 2. Anatomía y fisiología del sistema de conducción cardíaca	12
Anatomía del sistema de conducción cardíaca	12
<i>Nodo sinusal</i>	12
<i>Fascículos internodales</i>	12
<i>Nodo atrioventricular</i>	13
<i>Haz de His</i>	13
<i>Rama izquierda del haz de His</i>	13
<i>Rama derecha del haz de His</i>	14
Propiedades electrofisiológicas de las células cardíacas	14
<i>Automatismo</i>	14
<i>Excitabilidad</i>	15

<i>Conductividad</i>	15
<i>Periodo refractario</i>	15
Control neuronal.....	16
<i>Efecto de la estimulación parasimpática en el ritmo cardíaco</i>	16
<i>Efecto de la estimulación simpática en el ritmo cardíaco</i>	16
Registro de activación cardíaca en el electrocardiograma	17
Capítulo 3. Conceptos básicos de la estimulación cardíaca	18
Generalidades funcionales	18
<i>Batería</i>	22
<i>Diseño del cable</i>	22
Tipo de dispositivo según polaridad	23
Tipos de dispositivo según cámara que estimula	25
Modos de estimulación	25
<i>Modo sincrónico</i>	27
<i>Modo asincrónico</i>	31
Capítulo 4. Descripción específica de los dispositivos de estimulación cardíaca ..	34
Marcapaso	34
<i>Definición</i>	34
<i>Bradicardia persistente</i>	35
Marcapasos sin cables	38
Desfibrilador automático implantable	40
Desfibrilador automático cardíaco implantable subcutáneo	41
Terapia de resincronización cardíaca	42
Capítulo 5. Uso del imán en pacientes con dispositivos electrónicos cardíacos implantables	45
Perspectiva histórica	45
Consideraciones técnicas	45
<i>Interruptor de láminas magnéticas</i>	45
<i>Características y posicionamiento de los imanes</i>	46
Respuesta DECI al imán	48
<i>Respuesta de un marcapaso al imán</i>	48

<i>Respuesta de un dispositivo con terapia de resincronización cardíaca al imán</i>	49
<i>Respuesta de los Desfibriladores automáticos implantables al imán</i>	49
<i>Respuesta del Desfibrilador automático implantable subcutáneo (DCI-S) al imán</i>	50
<i>Respuesta de un marcapasos sin cables al uso de imán</i>	51
Precauciones sobre el uso de imanes clínicos	51
Capítulo 6. Consideraciones anestésicas en el perioperatorio	53
Consideraciones preoperatorias	53
<i>Evaluación preoperatoria</i>	53
<i>Preparación preoperatoria</i>	55
Consideraciones intraoperatorias	57
<i>Monitoreo intraoperatorio</i>	57
<i>Prevención de eventos que generen disfunción del DECI</i>	58
<i>Soporte de frecuencia cardíaca y cardiodesfibrilador externo</i>	58
<i>Agentes anestésicos</i>	59
Consideraciones posoperatorias	59
Capítulo 7. Dispositivos de estimulación cardíaca y circunstancias especiales	62
Electrocauterio y anestesia	62
Resonancia magnética	63
Ablación por radiofrecuencia	66
Radioterapia	67
Terapia electroconvulsiva	68
Litotricia	69
Cauterización eléctrica endoscópica	69
<i>Cápsula endoscópica</i>	69
<i>Neumología intervencionista</i>	70
Procedimientos dentales y limpieza ultrasónica	70
Sistemas magnéticos de anclaje y guiado	71
Capítulo 8. Recomendaciones para cardioversión o desfibrilación de emergencia	

.....	72
Cardioversión	72
Desfibrilación externa	72
Discusión	74
Conclusiones	77
Ficha técnica	79
Referencias bibliográficas	80

Resumen

La incidencia en el uso de dispositivos electrónicos cardiacos implantables, que incluyen marcapasos, desfibriladores automáticos implantables y dispositivos de resincronización cardíaca viene en aumento, convirtiéndose en un reto para el anestesiólogo debido a que implica un conocimiento integral que abarca su funcionamiento, las indicaciones que llevaron a su implante y las implicaciones que se deben abordar en el perioperatorio.

Las guías clínicas actuales recomiendan un manejo multidisciplinario. Sin embargo, en muchas ocasiones no es posible, por lo tanto, es necesario que el equipo quirúrgico como anestésico esté familiarizado con estos dispositivos y de esta manera sean capaces de brindar un manejo perioperatorio seguro y efectivo. Las recomendaciones perioperatorias son individualizadas a cada paciente, tipo de dispositivo y procedimiento quirúrgico al que será sometido, por lo que una única recomendación no es apropiada para todos los casos. En esta revisión se describen las principales consideraciones para el manejo perioperatorio de estos pacientes.

Summary

The incidence of the use of implantable cardiac electronic devices, which include pacemakers, implantable cardioverter-defibrillators, and cardiac resynchronization devices, has been increasing, becoming a challenge for the anesthesiologist because it implies comprehensive knowledge that covers their operation, the indications they led to your implant and the implications that must be addressed in the perioperative period.

Current clinical guidelines recommend multidisciplinary management. However, in many cases it is not possible, therefore, it is necessary for the surgical team as an anesthetic to be more familiar with these devices and thus be able to provide safe and effective perioperative management. Perioperative recommendations are individualized for each patient, type of device, and surgical procedure to which they will be subjected, so a single recommendation is not

appropriate for all cases. This review describes the main considerations for the perioperative management of these patients.

Índice de tablas

Tabla 1. Nomenclatura de los DECI.	26
Tabla 2. Código genérico de los DAI.	27
Tabla 3. Recomendaciones sobre estimulación para la disfunción del nodo sinusal.	36
Tabla 4. Recomendaciones sobre estimulación para el bloqueo atrioventricular. .	38
Tabla 5. Recomendaciones para la estimulación cardíaca con un marcapasos sin cables.	39
Tabla 6. Recomendaciones para terapia de resincronización cardíaca para pacientes con ritmo sinusal.	44
Tabla 7. Frecuencia de estimulación de los dispositivos electrónicos cardíacos implantables a la aplicación del imán según la duración de la batería disponible y del fabricante.	49
Tabla 8. Aspectos por considerar en la evaluación preoperatoria.	53
Tabla 9. Riesgos potenciales de la resonancia magnética en pacientes con dispositivos electrónicos cardíacos implantados.	65

Índice de figuras Figura 1. Dispositivo de Hyman. Generador accionable a manivela.....**Error! Bookmark not defined.**

Figura 2. Marcapaso y desfibrilador de Electrodyne desarrollado por Paul Zoll	8
Figura 3. Primer marcapaso implantado en 1958	9
Figura 4. Sistema de conducción cardíaca	14
Figura 5. Componentes de un marcapaso	19
Figura 6. Tipos de dispositivos electrónicos cardíacos implantables permanentes. A: Marcapaso con electrodos en epicardio. B: marcapaso con electrodo en ventrículo derecho	20
Figura 7. Disposición de electrodos. A: marcapaso bicameral, electrodo en atrio y ventrículo derecho con dos bobinas de choque. B: marcapaso unicameral, electrodo localizado en ventrículo derecho.....	21
Figura 8. Radiografía de tórax donde se muestra un resincronizador cardíaco con dos bobinas de choque. A: proyección oblicua. B: proyección anteroposterior.....	21
Figura 9. (A) Cable de fijación pasiva. Se identifica por su estructura cónica en la punta. (B) Cable de fijación activa por su estructura atornillada en la punta	23
Figura 10. Estimulación unipolar y bipolar	24
Figura 11. (A) Electrocardiograma que muestra espiga de estimulación ventricular con configuración unipolar. Nótese que la espiga es amplia o de alto voltaje. (B) Espiga de estimulación bipolar	25
Figura 12. Modo de estimulación AAI. Ritmo de marcapasos atrial unicameral.....	28

Figura 13. Modo de estimulación VVI	29
Figura 14. Modo de estimulación VDD.....	30
Figura 15. Modo de estimulación DDD	31
Figura 16. Estimulación monocameral. Modo AOO	32
Figura 17. Estimulación monocameral. Modo VOO	33
Figura 18. Marcapaso cardíaco.....	35
Figura 19. Marcapaso sin cables	39
Figura 20. Desfibrilador automático implantable	40
Figura 21. Desfibrilador cardíaco subcutáneo implantable	42
Figura 22. Generador de un marcapaso con terapia de resincronización cardíaca.	43
Figura 23. Interruptor magnético de láminas.....	46
Figura 24. Imanes clínicos y su colocación adecuada según las recomendaciones del fabricante	47
Figura 25. Posicionamiento recomendado de los parches de desfibrilación en personas con dispositivos implantables	73

Abreviaturas

ASA: American Society of Anesthesiologists

DAI: Desfibrilador automático implantable

DAI-S: Desfibrilador automático implantable subcutáneo

DECI: Dispositivo electrónico cardíaco implantable

FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos

FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo

NAV: Nodo atrioventricular

TRC: Terapia de resincronización cardíaca

TRC-P: Terapia de resincronización cardíaca y Marcapasos

RM: Resonancia magnética

Introducción

Los anestesiólogos, al valorar el riesgo de complicaciones perioperatorias del paciente, deben considerar el manejo preoperatorio, la atención intraoperatoria y posoperatoria sin aumentar el riesgo de complicaciones o eventos adversos.

Los dispositivos cardíacos electrónicos implantables modernos tienen grandes avances tecnológicos, pero esta funcionalidad tiene el costo de la complejidad. La sofisticación de estos dispositivos, la multitud de problemas complejos que rodean el manejo perioperatorio del paciente con un dispositivo electrónico cardíaco implantable (DECI) y las condiciones cambiantes del paciente, pueden aumentar la dificultad en la atención, especialmente para los médicos (incluidos médicos de familia, internistas, anestesiólogos y cirujanos) que no son expertos en DECI. Los desafíos específicos para los médicos incluyen tecnología en evolución, capacidades de dispositivos especializados, características patentadas específicas del fabricante y falta de estandarización entre los fabricantes de dispositivos. (Schulman et al., 2013a)

La planificación perioperatoria a menudo necesita considerar la interferencia electromagnética intraoperatoria. La interferencia electromagnética puede provocar la desactivación del marcapasos (y un paro cardíaco en pacientes dependientes de marcapasos), descarga inapropiada de un desfibrilador automático implantable (DAI) o taquicardia del sistema de marcapasos. Para disminuir estos problemas, puede ser posible cambiar el plan quirúrgico y sustituir dispositivos que produzcan poca o ninguna interferencia como la electrocirugía bipolar. (Chakravarthy et al., 2017)

Esta revisión comienza abordando la función básica de los DECI, las indicaciones para la implantación y los modos de estimulación. Luego, describe las principales consideraciones y controversias involucradas en la preparación preoperatoria y el manejo perioperatorio de estos pacientes. Después de completar esta revisión, los lectores comprenderán las consideraciones anestésicas para el manejo perioperatorio seguro y eficaz de los pacientes con un DECI.

Justificación

Actualmente, cada vez más personas tienen dispositivos cardíacos electrónicos implantables, incluidos marcapasos, desfibriladores automáticos implantables y dispositivos de resincronización cardíaca, favoreciendo que con más frecuencia se presenten para la realización de diferentes procedimientos quirúrgicos no cardíacos electivos o de emergencia. Una de las principales preocupaciones, cuando estos pacientes llegan a sala de operaciones, es la exposición a interferencias electromagnéticas que pueden provocar un funcionamiento inadecuado del dispositivo, incluido la suspensión de la función de marcapasos o de las terapias de choque. (H. Thomas et al., 2022)

Al tratar a los pacientes portadores de estos dispositivos para cirugías no cardíacas, los problemas específicos relacionados con las características del equipo y la resolución de problemas debe ser una prioridad para los anestesiólogos. Existe la posibilidad de que los dispositivos no funcionen adecuadamente y se produzcan resultados no deseados durante el periodo perioperatorio. Por lo tanto, se considera de gran importancia comprender la fisiopatología, las características del dispositivo y la resolución de problemas asociados a su uso. (Chakravarthy et al., 2017)

Cuando nos enfrentamos a un paciente con un dispositivo electrónico cardíaco implantable es necesario realizar una evaluación preoperatoria teniendo en cuenta algunas variables como, por ejemplo: ¿cuál es el tipo de dispositivo, la indicación para la colocación?, conocer si dependen del mismo y determinar la configuración actual. Además, es necesario conocer si el dispositivo se encuentra funcionando correctamente, ya sea obteniendo el informe de interrogación más reciente o interrogando al dispositivo cardíaco electrónico implantable. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

En respuesta a estos desafíos, la British Heart Rhythm Society, la American Society of Anesthesiologists, la Sociedad Europea de Cardiología y otras sociedades de anestesiología y cardiología han publicado documentos destinados a guiar a los médicos en el manejo perioperatorio de pacientes portadores de estos dispositivos.

Por todos los aspectos anteriormente mencionados, el siguiente trabajo de graduación tiene como objetivo principal proporcionar una revisión y un resumen sobre las recomendaciones actuales en cuanto al manejo anestésico perioperatorio de pacientes adultos portadores de dispositivos electrónicos cardíacos implantables, como son el marcapasos, el cardiodesfibrilador y los dispositivos de resincronización ventricular, y de esta manera permitir brindar un abordaje seguro y eficiente a los pacientes adultos que se someten a un procedimiento quirúrgico no cardíaco.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las consideraciones anestésicas que se deben tener en el perioperatorio en el paciente adulto portador de un dispositivo electrónico cardíaco implantable sometido a cirugía no cardíaca según las recomendaciones actuales?

Objetivo general

Integrar las recomendaciones actuales sobre las consideraciones anestésicas perioperatorias en el paciente adulto portador de un dispositivo electrónico cardíaco implantable sometido a cirugía no cardíaca.

Objetivos específicos

1. Describir la anatomía y fisiología del sistema de conducción cardíaca.
2. Comprender las generalidades del funcionamiento de los dispositivos electrónicos cardíacos implantables, así como las indicaciones de implantación, tipos de modo de estimulación cardíaca y complicaciones.
3. Revisar la literatura sobre las recomendaciones actuales para el correcto manejo preoperatorio, intraoperatorio y posoperatorio de los dispositivos cardíacos electrónicos implantables.
4. Conocer los cuidados perioperatorios que se deben tener según los distintos procedimientos que se realizan y que pueden afectar el funcionamiento de los dispositivos cardíacos electrónicos implantables.
5. Establecer las pautas importantes para la resucitación cardiopulmonar o desfibrilación externa en pacientes portadores de marcapasos o desfibriladores.
6. Proponer un algoritmo de consideraciones anestésicas en el perioperatorio del paciente adulto portador de un dispositivo electrónico cardíaco implantable sometido a cirugía no cardíaca.

Metodología preliminar

Tipo de estudio:

Este documento es una revisión bibliográfica de publicaciones sobre las consideraciones anestésicas perioperatorias en el paciente adulto portador de un dispositivo electrónico cardíaco implantable sometido a cirugía no cardíaca. A través de la información obtenida se pretende estandarizar el conocimiento del manejo de estos pacientes en el perioperatorio, y permitir la realización segura de procedimientos quirúrgicos no cardiacos en la población adulta.

Metodología

Se utilizaron, para la realización de esta búsqueda, las bibliotecas BINASSS para la obtención de artículos; bases de datos médicas como “Pubmed”, SciELO, libros de texto y patentes de libre acceso al público en Google. Se eligieron las publicaciones de no más de diez años de antigüedad, utilizando los siguientes términos MeSH para la búsqueda: “Pacemaker”, “Anesthesia”, “Cardiac resynchronizer therapy”, “Implantable cardioverter defibrillator”, “Cardiac implantable electronic devices”, además de las guías actuales de recomendaciones realizadas por la American Society of Anesthesiologists, la British Heart Rhythm Society y la Sociedad Europea de Cardiología.

Capítulo 1. Datos relevantes de la historia evolutiva de la estimulación cardíaca permanente

Durante un experimento en 1780, el médico y fisiólogo italiano Luigi Galvani observó cómo las patas de las ranas desprendidas se contraían cuando entraban en contacto con una chispa eléctrica. Con este conocimiento, estableció los principios esenciales de la estimulación eléctrica en el cuerpo animal. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

En 1798, durante la Revolución francesa, Marie F. Bichat se le concedió permiso para estudiar los efectos de la electricidad en el cuerpo de guillotinado, en donde descubrió que después de que el corazón se detenía, este podía reiniciar su contracción mediante la aplicación directa de estímulos eléctricos. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

En 1864 Julius Althaus conseguía la estimulación eléctrica del corazón de perros utilizando una aguja que insertaba a través de la pared torácica. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

En 1882, Hugo W. Von Ziemseen realizó experimentos destinados a aumentar y disminuir la frecuencia cardíaca mediante estimulación cardíaca directa. En su estudio, utilizó a una paciente, Catharina Serafin, a quien, como consecuencia de la resección de un tumor benigno de la pared torácica, se le podía ver el corazón latiendo bajo una delgada capa de piel lo que permitía realizar observaciones directas. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

En 1932, el médico Albert Hyman probablemente diseñó y construyó el primer estimulador eléctrico cardíaco, dándole el nombre que hoy se conoce como marcapaso cardíaco artificial (ver figura 1). Este dispositivo electromecánico usaba una manivela para generar una corriente eléctrica cuyos impulsos se transmitían hasta el atrio derecho del paciente, a través de un electrodo de aguja que atravesaba la caja torácica. El equipo pesaba 7,2 kilogramos y debía cargarse hasta seis minutos, empleaba un magneto y debía dársele cuerda cada seis minutos para mantenerlo funcionando. Se utilizó con éxito en la reanimación de pacientes que

habían sufrido un paro cardíaco. En su presentación el dispositivo enfrentó el escepticismo profesional y las acusaciones por parte de algunos grupos al considerarlo una máquina que interfiere con la voluntad de Dios, por lo que dejó de utilizarse. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Figura 1. Dispositivo de Hyman. Generador accionable a manivela.



John Launer, 2017.

En 1952 Paul M. Zoll, un médico cardiólogo, mientras trabajaba en el ejército estadounidense en la Segunda Guerra Mundial, notó que el corazón era fácilmente excitable durante las intervenciones para extraer fragmentos de proyectiles alojados en su seno (ver figura 2). Basado en la investigación de Hyman y en su experiencia estudió la excitabilidad cardíaca en función de diferentes amplitudes y duraciones del impulso eléctrico administrando corriente eléctrica desde un generador a través de unos discos de metal de una pulgada de diámetro colocados sobre el tórax. Posteriormente empleó dos parches externos aplicados a ambos lados de la región precordial. Sin embargo, la estimulación prolongada producía quemaduras en la piel, además de ser doloroso y requerir sedación, por lo que este modelo de marcapaso transcutáneo perdió interés. (Jesús Rodríguez García & Raul Coma Samartín, 2005) (Ball & Featherstone, 2019)

Figura 2. Marcapaso y desfibrilador de Electrodyne desarrollado por Paul Zoll.

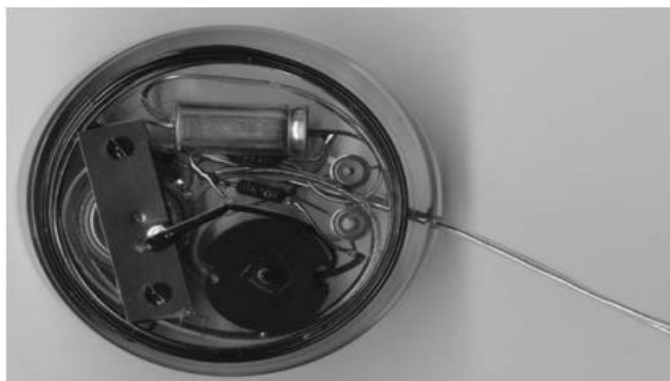


Ball & Featherstone, 2019.

El año 1958 fue un año muy productivo para el desarrollo de la estimulación cardíaca eléctrica, el 8 de octubre tuvo lugar la primera implantación de marcapasos en el Instituto Karolinska de Estocolmo. La intervención fue realizada por el cirujano cardíaco Ake Senning, con la colaboración técnica de Rune Elmquist. El dispositivo tenía una forma circular que medía 55 mm de diámetro y 15 mm de grosor, disponía de dos transistores de silicio y de una batería de níquel-cadmio recargable por medio de un sistema de inducción externo, además de dos electrodos que se suturaban al epicardio (ver figura 3).

El paciente receptor, Arne Larsson, de 43 años, sufría un bloqueo cardíaco secundario a una miocarditis vírica y llevaba meses ingresado por síncope recurrentes, se convirtió en el primer paciente en recibir un marcapaso implantable, durante su vida requirió 23 recambios de marcapasos y murió en Estocolmo en diciembre del 2001 a los 86 años por enfermedad no cardíaca. (Jesús Rodríguez García & Raul Coma Samartín, 2005)

Figura 3. Primer marcapasos implantado en 1958



Jesús Rodríguez García y Raúl Coma Samartín, 2005.

También en 1958, Seymour Furman, logró por primera vez la estimulación endocárdica utilizando un catéter-electrodo intravenoso avanzado hasta el ventrículo derecho, conectado por un cable al marcapasos dispuesto en un carrito que permitía la deambulación del paciente. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

A principios de la década de 1960, Parsonnet en los Estados Unidos y Largergen en Suecia desarrollaron de forma independiente técnicas de implantación transvenosa que todavía se utilizan en la actualidad. Dos años más tarde, Lemberg introdujo el primer marcapasos cardíaco que solo se activaría si el corazón dejaba de latir o caía por debajo de los parámetros preestablecidos. Estos tipos de marcapasos se conocen como marcapasos a demanda. (Salas-Segura, 2001)

En la década de 1970, se modificó la punta del electrodo del marcapasos, que se coloca en la cavidad del corazón, para anclarlo mejor al tejido. De manera similar, en 1973, las baterías de mercurio-zinc, grandes, altamente contaminantes y de muy corta duración (aproximadamente dos años), fueron reemplazadas por baterías de litio-yodo de larga duración (de 5 a 10 años). (Salas-Segura, 2001)

En 1979 un notable avance fue el desarrollo de un marcapasos bicameral capaz de detectar y activar de forma independiente y sincrónica el atrio y el ventrículo.

En la década de 1980, se hizo posible desarrollar marcapasos que respondían a la necesidad de aumentar o disminuir la frecuencia cardíaca de acuerdo con los requerimientos de ejercicio del paciente. (Salas-Segura, 2001)

El 4 de febrero de 1980 el Dr. Michel Mirowski colocó el primer desfibrilador automático implantable (DAI) en el Hospital Johns Hopkins para el tratamiento de taquiarritmias ventriculares. (Gómez-Flores & Márquez, 2010)

En 1983, De Teresa, Chamorro, y posteriormente los trabajos de la tesis doctoral de Lorenzo Silva observaron que la descoordinación mecánica producida por los trastornos eléctricos de la conducción atrioventricular e intraventricular, podían ser tratados mediante la estimulación eléctrica atrial y biventricular, mejorando consecuentemente el rendimiento hemodinámico agudo y crónico en los pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada. A este tipo de estimulación posteriormente se le llamó terapia de resincronización cardíaca (TRC) en donde desde el punto de vista técnico consiste en la implantación de un dispositivo de estimulación cardíaca que es capaz de estimular el atrio, el ventrículo derecho y la pared lateral del ventrículo izquierdo. (Hernández Madrid et al., 2004)

En Costa Rica en el año 1995 el servicio de cardiología del Hospital Clínica Bíblica fue el primer centro en realizar estudios de electrocardiografía de alta resolución, colocación de implante de marcapasos bicamerales y posteriormente los estudios electrofisiológicos diagnósticos y terapéuticos. En el mismo año se empezó con la implantación de marcapasos en el Hospital Calderón Guardia. (Arguedas-Jiménez, 2021)

En 2012 St. Jude Medical Inc. ahora Abbott Medical Inc. realizaron historia al implantar el primer marcapaso sin cables Nanostim en un ser humano, sin embargo, debido a una falla abrupta de la batería que comenzó 24 meses después de la implantación, se generó un aviso de alerta médico y detención de su uso en el 2016. En el 2015 se aprueba en Europa y por la Food and Drug Administration en 2016 el marcapaso sin cables Micra de la compañía Medtronic Iberica S.A. El marcapasos consiste en una cápsula de 8 cm³ que se ancla en el endocardio ventricular mediante cuatro púas autoexpandibles. (Pardo G. et al., 2022)

Las bases para la estimulación moderna por marcapasos se establecieron gracias al desarrollo de un aparato implantable, el empleo de una vía transvenosa, y la capacidad del marcapasos para detectar la actividad y responder adecuadamente a dicha señal.

Los dispositivos electrónicos cardíacos implantables en la actualidad usan microcomputadoras, son más pequeños, más livianos y más sensibles a los cambios en la actividad cardíaca. Se puede evaluar su funcionamiento y cambiar su programación con tan solo colocar un sensor transcutáneo sobre ellos; se puede almacenar un registro de eventos cardiovasculares en la memoria, alertar cuando la batería necesita ser reemplazada o antes de que la batería esté casi vacía, e incluso puede cambiar al modo de ahorro de energía durante el reemplazo de la batería si es necesario.(Salas-Segura, 2001)

Capítulo 2. Anatomía y fisiología del sistema de conducción cardíaca

El conocimiento de la anatomía y la fisiología normal del sistema de conducción es fundamental para comprender la utilización de la terapia con los dispositivos de estimulación cardíaca.

Anatomía del sistema de conducción cardíaca

El tejido especializado de conducción es el responsable de originar y conducir el estímulo eléctrico que desencadena la contracción del músculo cardíaco. A continuación, se describe los componentes de esta red eléctrica.

Nodo sinusal

Es la estructura de la que normalmente se originan todos los impulsos eléctricos que activan el corazón. Se encuentra en la parte superior del atrio derecho cerca de la desembocadura de la vena cava superior (ver figura 4). Su forma es de media luna, con una longitud media de 1,3 cm. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

El nodo sinusal está compuesto por una densa matriz de colágeno que contiene una variedad de células, entre ellas están las células P de ubicación central en donde proviene el origen de los impulsos eléctricos. Las células P están rodeadas de células de transición y haces de fibras que se extienden a través del área perinodal hacia el resto del atrio derecho. (David L. Hayes et al., 2021)

Su irrigación se produce a través de la arteria coronaria derecha en el 65% de los casos y a través de la arteria circunfleja proveniente de la arteria coronaria izquierda en el 35%. (Mackay & Arrowsmith, 2012)

Fascículos internodales

Estas son las vías por las que se conduce el impulso eléctrico desde el nodo sinusal hasta el nodo atrioventricular. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Nodo atrioventricular: (NAV)

Se encuentra localizado hacia el lado derecho del septum interatrial bajo, por encima de la valva septal de la tricúspide y por delante del seno coronario (SC). Mide 22 mm de largo, 10 mm de ancho y 3 mm de espesor.

El nodo AV también es histológicamente similar al nodo sinusal porque está compuesto por una matriz de colágeno laxa en la que se ubican las células P y las células de transición. (David L. Hayes et al., 2021)

La irrigación en el 80% de los casos es a través de la arteria descendente posterior rama de la arteria coronaria derecha, en la parte distal del nodo también es irrigado por las ramas perforantes de la arteria descendente anterior. (Mackay & Arrowsmith, 2012)

En el nodo atrioventricular, el estímulo proveniente del nodo sinusal presenta un retraso de 0.09 segundos, este retraso es para permitir una adecuada sincronización entre la contracción atrial y ventricular, logrando que los atrios se vacíen al final de la diástole ventricular. (Erick Alexanderson & Gerardo Gamba A., 2014)

Haz de His

Se encarga de realizar la estimulación eléctrica desde el nodo atrioventricular hasta el músculo ventricular. Es una prolongación del nodo atrioventricular, con una porción distal organizada en fibras paralelas, atravesando el esqueleto fibroso del corazón y hacia la porción membranosa del tabique interventricular. Es un trayecto muy corto y protegido que se bifurca en ramas y fascículos antes de llegar al tabique muscular. Su irrigación es proporcionada por las arterias del NAV y por las perforantes septales, ramas de la ADA. (Uribe A et al., 2005)

Rama izquierda del haz de His

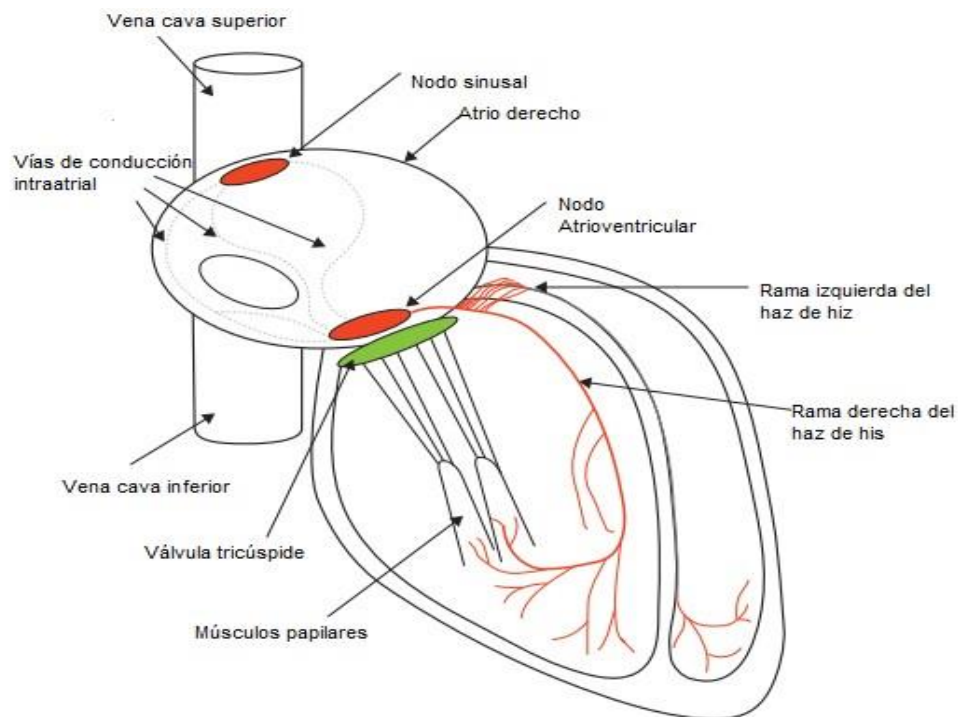
Antes de llegar al tabique muscular izquierdo, se divide en tres fascículos: anterior, posterior y septal. Su irrigación es brindada por arterias llamadas

perforantes septales rama de la arteria descendente anterior. (Uribe A et al., 2005)

Rama derecha del haz de His

Discurre por el lado derecho del tabique interventricular hasta llegar al músculo papilar anterior de la tricúspide, luego continúa por la banda moderadora hasta llegar a la pared libre del ventrículo derecho, donde se bifurca y origina la red de Purkinje del ventrículo derecho. Es una rama más larga y delgada que el brazo izquierdo y tiende a conducir la electricidad un poco más lento, lo que resulta en un período refractario más prolongado. Su irrigación es producida principalmente por la arteria descendente anterior. (Erick Alexanderson & Gerardo Gamba A., 2014)

Figura 4. Sistema de conducción cardíaca.



Mackay & Arrowsmith, 2012.

Propiedades electrofisiológicas de las células cardíacas

Automatismo

Es la capacidad de algunas células cardíacas de producir automáticamente estímulos eléctricos que se propagan a las células vecinas. En condiciones normales el nodo sinusal, es la estructura que presenta un automatismo mayor, seguido por el nodo atrioventricular y, en menor medida, por la red de Purkinje ventricular. De este modo se garantiza que la activación cardíaca se inicie por los atrios y se continúe hacia los ventrículos. (Kenny, 2005)

Excitabilidad

Es la capacidad de las células cardíacas automáticas y las contráctiles para responder eficazmente a los estímulos. Las células automáticas tienen una excitación espontánea y activa, mientras que las células contráctiles responden a un estímulo propagado desde una célula automática.

El estímulo debe ser de una intensidad suficiente para activar un potencial de acción y causar una despolarización de las células cardíacas. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Conductividad

Es la capacidad de las fibras miocárdicas para transmitir estímulos desde las células automáticas a las vecinas. El tejido de conducción cardíaco presenta diferentes velocidades de transmisión del estímulo para garantizar actividad sincronizada entre atrios y ventrículos, y la sincronía interventricular. Las células musculares se unen entre sí por discos intercalados, esto hace que el miocardio se comporte como una unidad contráctil, permitiendo que, una vez activada una célula, el estímulo eléctrico se extienda por toda la cámara cardíaca. (Bayés de Luna, 2012)

Periodo refractario

Después de la fase de excitación, todas las células miocárdicas necesitan un cierto tiempo para recuperar su excitabilidad. Se define como el tiempo durante el

cual una célula excitable no responde ante un estímulo, y, por lo tanto, no genera un potencial de acción. Esta propiedad previene la tetanización del miocardio.

(Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

El periodo refractario absoluto no permite ninguna despolarización independientemente de la magnitud del impulso aplicado. El período refractario relativo permite que un estímulo de mayor intensidad produzca una despolarización. El periodo supranormal es un período hiperexcitable en donde estímulos débiles podrían generar un potencial de acción. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Control neuronal

El corazón recibe inervación simpática y parasimpática. Los nervios parasimpáticos (nervio vago) se distribuyen principalmente en el nodo sinusal, el nodo atrioventricular y en menor medida en los atrios y ventrículos, mientras que los nervios simpáticos se distribuyen en todas las regiones del corazón con una representación importante en el músculo ventricular. (Guyton & Hall, 2011)

Efecto de la estimulación parasimpática en el ritmo cardíaco

La acetilcolina aumenta la permeabilidad de la membrana celular al potasio, permitiendo la salida de este de las fibras de conducción y causando una mayor negatividad intracelular, hasta llegar a un estado de hiperpolarización en donde el tejido de conducción es menos excitable. Esto puede suprimir el automatismo del nodo sinusal de manera temporal y en el nodo atroventricular puede provocar una reducción en la conducción de los estímulos. (Mackay & Arrowsmith, 2012)

Efecto de la estimulación simpática en el ritmo cardíaco

La estimulación simpática incrementa la conducción, excitabilidad y la capacidad de la fuerza contráctil del miocardio. A través de los receptores adrenérgicos B2 se incrementa la permeabilidad de la membrana celular al sodio y al calcio, lo que conlleva a un potencial de reposo más positivo, aumentando el umbral de autoexcitación y la frecuencia cardíaca en el nodo sinusal. En el nodo

atrioventricular esta mayor permeabilidad al sodio y al calcio causa una disminución en el tiempo de conducción del potencial de acción hacia los ventrículos. (Erick Alexanderson & Gerardo Gamba A., 2014)

Registro de activación cardíaca en el electrocardiograma

El electrocardiograma constituye un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón. Esta actividad está representada por potenciales eléctricos derivados de la despolarización y repolarización del tejido miocárdico. En condiciones normales la activación de las diferentes cámaras es secuencial y ordenada, y cada deflexión o intervalo en el electrocardiograma representa una de las etapas de este proceso. (Bayés de Luna, 2012)

Después de la activación espontánea del nodo sinusal, el vector resultante de la activación atrial se inscribe en el papel como una deflexión que es conocida como onda P.

Luego sigue una línea plana isoelectrica, en relación con un intervalo donde no se registra actividad. A esto se le denomina segmento PR y es debido al retraso que existe en el nodo AV para permitir que los atrios se vacíen completamente antes de la contracción ventricular.

Cuando el estímulo alcanza el haz de His, se propaga rápidamente a través de la rama izquierda y derecha generando una serie de deflexiones positivas y negativas que reflejan las secuencias de activación de los ventrículos. En el papel de ECG lo conocemos como complejo QRS.

Después continúa la fase de reorganización de las cargas iónicas a ambos lados de la membrana, cuyo objetivo es preparar la célula para que pueda volver a ser estimulada. Esta fase de recuperación se denomina repolarización y forma parte del segmento ST y la onda T. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Capítulo 3. Conceptos básicos de la estimulación cardíaca

Debido a la excitabilidad de los cardiomiocitos, un pequeño estímulo eléctrico por encima del umbral puede generar un potencial de acción localizado, y gracias a la capacidad de conducción de las células cardíacas musculares que actúan como un sincitio funcional, el impulso se puede transmitir primero a las células vecinas y luego a todas las células cardíacas, creando una onda de activación - contracción que restaure el bombeo cardíaco. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Comprender la estimulación cardíaca requiere conocer el concepto de dos elementos clave: umbral de estimulación (es decir, la cantidad mínima de energía requerida para estimular una cantidad suficiente de células para facilitar el inicio de un impulso que se propague) y detección (es decir, la capacidad de un dispositivo para detectar un impulso que se propaga en el medio celular).

Los componentes del estímulo incluyen la amplitud del pulso (medida en voltios) y la duración del pulso (medida en milisegundos). La impedancia es el término que se aplica a la resistencia al flujo de corriente en el sistema de estimulación. Estos elementos se ven facilitados por una variedad de factores relacionados con el diseño del cable, la interfaz entre los cables y el tejido miocárdico. (David L. Hayes et al., 2021)

Generalidades funcionales

La estimulación eléctrica repetitiva e individual de las células musculares es lo que provoca la contracción del músculo cardíaco. El responsable de esto es el sistema de conducción del corazón que transmite los impulsos eléctricos. Si este sistema está intacto, el impulso eléctrico llega a las células del miocardio.

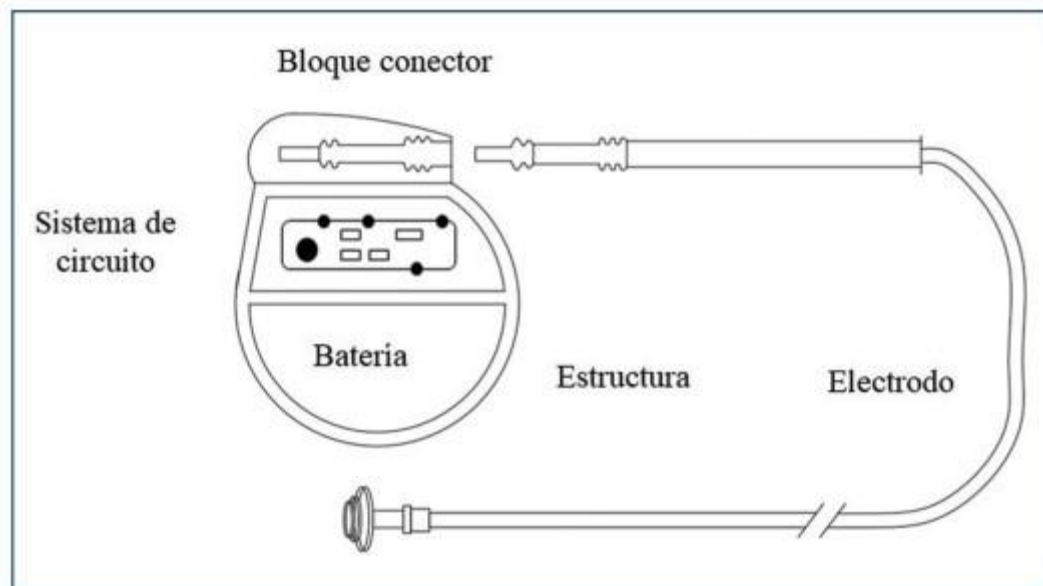
Los defectos en la propagación del estímulo se subdividen en los trastornos de la formación del estímulo y la capacidad de conducción. Se requiere terapia de marcapasos temporal o permanente cuando se produce una serie de alteraciones en la formación o conducción del estímulo. (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Un marcapasos es un dispositivo que consta de un generador de impulsos y de cables-electrodos conductores, que envían el estímulo al corazón. Sus

componentes se dividen en: fuente de energía (batería), circuito lógico (capaces de analizar y responder a la información entrante), carcasa (estructura), bloque conector y cables-electrodos (ver figura 5). (León-Romero et al., 2023)

La mayoría de los DECI se implantan bajo el músculo pectoral, el procedimiento tiene una duración aproximada 20 minutos en la que se utiliza anestesia local.(Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Figura 5. Componentes de un marcapaso.



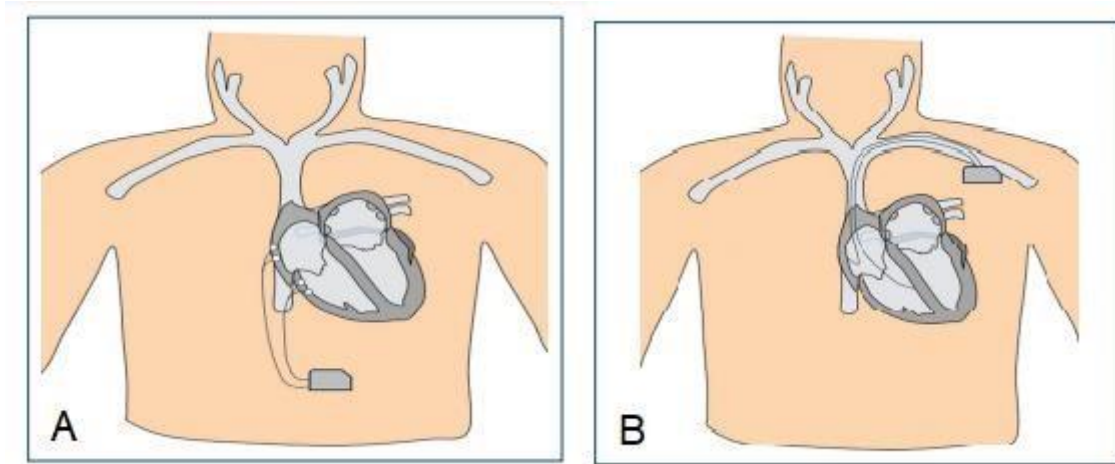
León-Romero et al., 2023.

Los cables transvenosos modernos se insertan directamente en las cavidades cardíacas a través de la vena cava superior, en donde ofrecen varias ventajas sobre los cables epicárdicos, incluido menos traumatismo, un umbral de estimulación más bajo (lo que prolonga la vida útil de la batería) y un umbral de desfibrilación más bajo (ver figura 6). Lo que depende que el paciente reciba uno, dos o los tres cables con las indicaciones para la implantación y el tipo de dispositivo seleccionado.

Debido a las ventajas antes mencionadas de los cables transvenosos, así como al hecho de que la colocación de cables epicárdicos es más invasiva, los cables epicárdicos se usan solo cuando la colocación de cables transvenosos no es

posible o está contraindicada, por ejemplo, cuando existe una válvula tricúspide mecánica o anomalías en la anatomía venosa. (David L. Hayes et al., 2021)

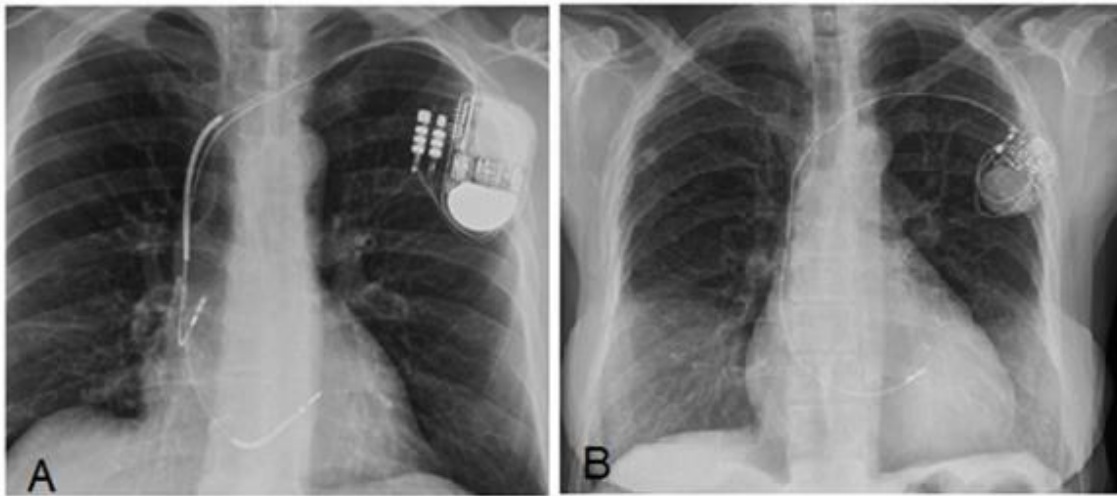
Figura 6. Tipos de dispositivos electrónicos cardíacos implantables permanentes. A: Marcapaso con electrodos en epicardio. B: marcapaso con electrodo en ventrículo derecho.



León-Romero et al., 2023.

Los cables transvenosos se pueden insertar en el atrio derecho, el ventrículo derecho o el seno coronario, y todos los cables son capaces de detectar y estimular en sus respectivas cámaras. Para los DAI transvenosos, el cable localizado en el ventrículo derecho incluye electrodos para proporcionar terapia de desfibrilación de alto voltaje. Por lo tanto, a diferencia de los marcapasos convencionales, los DAI transvenosos tienen una o dos bobinas de choque en el cable del ventrículo derecho, lo que permite distinguir fácilmente estos dispositivos entre sí mediante una radiografía de tórax (ver figura 7). (León-Romero et al., 2023)

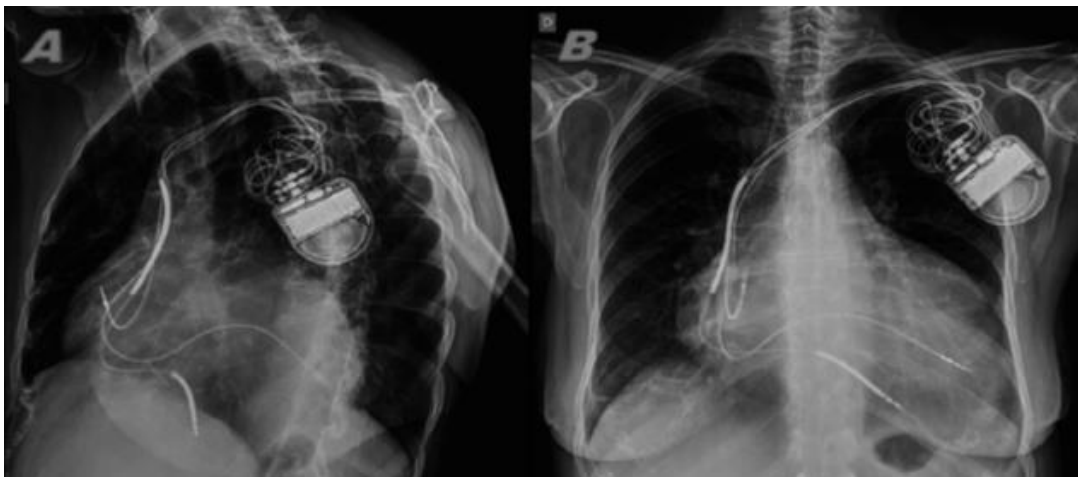
Figura 7. Disposición de electrodos. A: marcapaso bicameral, electrodo en atrio y ventrículo derecho con dos bobinas de choque. B: marcapaso unicameral, electrodo localizado en ventrículo derecho.



León-Romero et al., 2023.

En los sistemas de TRC, se utiliza un cable en atrio derecho, uno en ventrículo derecho y un tercer cable en el seno coronario para estimular el ventrículo izquierdo, también pueden tener incluidas bobinas de choque para terapia de desfibrilación (ver figura 8). Si se realiza una radiografía lateral se logra observar mejor la posición del cable en el seno coronario. (Bolao, 2007)

Figura 8. Radiografía de tórax donde se muestra un resincronizador cardíaco con dos bobinas de choque. A: proyección oblicua. B: proyección anteroposterior.



Aversa et al., 2019.

Batería

El voltaje de la batería se puede medir mediante la comunicación con el generador de impulsos. También se puede estimar por la respuesta del dispositivo al imán, que cambia con una disminución en el voltaje de la batería.

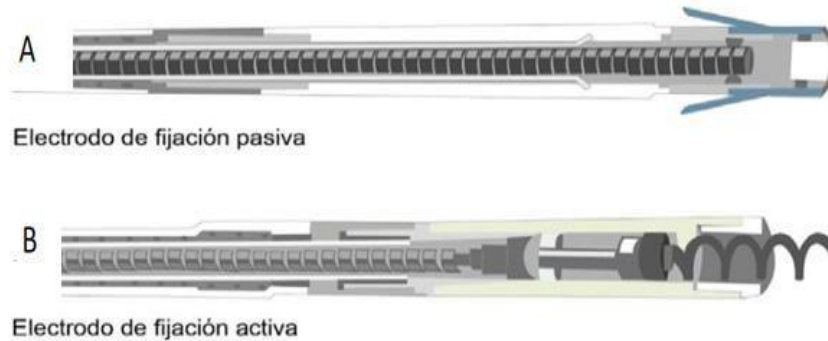
La longevidad de cualquier batería está determinada por varios factores, incluida la composición química de la batería, el tamaño de la batería, la carga externa (duración y amplitud del pulso, frecuencia de estimulación, impedancia total del cable de estimulación y la cantidad de corriente necesaria para operar los circuitos del dispositivo y almacenar información de diagnóstico), cantidad de descarga interna y características de caída de voltaje de la celda. (David L. Hayes et al., 2021)

En términos generales la duración de la batería de un marcapasos sin electrodos es de 4-9 años, la de un marcapaso con cables de aproximadamente 10 años y la batería de un DAI puede durar de 5 a 7 años. (Lorenzo Ruiz, 2023)

Diseño del cable

Los componentes tradicionales del cable de estimulación incluyen el electrodo y el dispositivo de fijación, el conductor, el aislamiento y la clavija del conector. La fijación de los cables tradicionales puede ser activa o pasiva (ver figura 9). Los cables endocárdicos de fijación pasiva suelen incorporar unas puntas en la porción distal del cable que quedan atrapadas en el tejido trabeculado del atrio derecho o ventrículo derecho, lo que proporciona estabilidad al cable. Los cables de fijación activa despliegan un tornillo eléctricamente activo en el miocardio para proporcionar estabilidad al cable. (Sepúlveda López et al., 2021)

Figura 9. (A) Cable de fijación pasiva. Se identifica por su estructura cónica en la punta. (B) Cable de fijación activa por su estructura atornillada en la punta.



Sepúlveda López et al., 2021.

A nivel celular, la implantación de un cable de marcapasos transvenoso provoca una lesión aguda de las membranas celulares, seguida del desarrollo de edema miocárdico y recubrimiento de la superficie del electrodo con plaquetas y fibrina. Posteriormente, se liberan varios factores quimiotácticos y se desarrolla una reacción inflamatoria aguda, que consiste en células mononucleares y leucocitos polimorfonucleares. Después de la respuesta aguda, la liberación de enzimas proteolíticas y radicales libres de oxígeno por parte de los macrófagos invasores acelera la lesión celular. Finalmente, los fibroblastos en el miocardio comienzan a producir colágeno, lo que lleva a la producción de la cápsula fibrótica que rodea al electrodo. Esta cápsula fibrosa finalmente aumenta el radio efectivo del electrodo.

La reacción inflamatoria y la subsiguiente fibrosis que ocurren después de la implantación del cable pueden actuar como un escudo aislante alrededor del electrodo. Estos procesos aumentan efectivamente la distancia entre el electrodo y el tejido excitable, permitiendo que el estímulo se disperse parcialmente antes de llegar a las células excitables. Estos cambios dan como resultado un aumento del umbral para la estimulación y atenúan la amplitud y la velocidad de respuesta de la señal endocárdica que se detecta. (David L. Hayes et al., 2021)

Tipo de dispositivo según polaridad

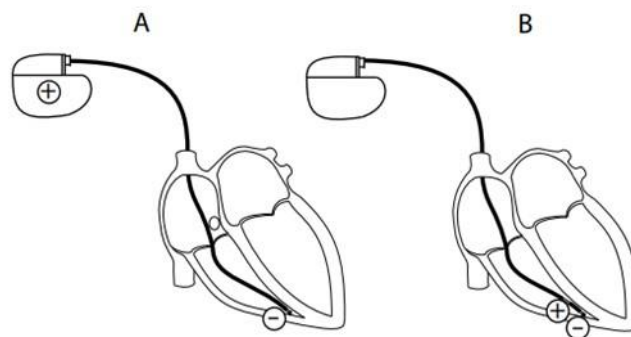
Esta denominación hace referencia a la manera como se diseñan los electrodos de estimulación. Los electrodos unipolares o monopolares tienen el polo

negativo llamado cátodo en contacto con el tejido miocárdico y el polo positivo denominado ánodo lejos del corazón, en el tejido celular subcutáneo o en la piel. (Ver figura 10) (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Dispositivo bipolar: El cátodo y el ánodo están presentes en el mismo cable, la distancia entre estos es menor, reduciendo así la susceptibilidad a las interferencias electromagnéticas durante la detección.

Dispositivo unipolar: El cátodo está presente en el cable y el generador de impulsos funciona como ánodo, por lo tanto, la distancia entre el cátodo y el ánodo es mayor aumentando el riesgo de interferencias electromagnéticas durante la detección. (León-Romero et al., 2023)

Figura 10. Estimulación unipolar y bipolar.



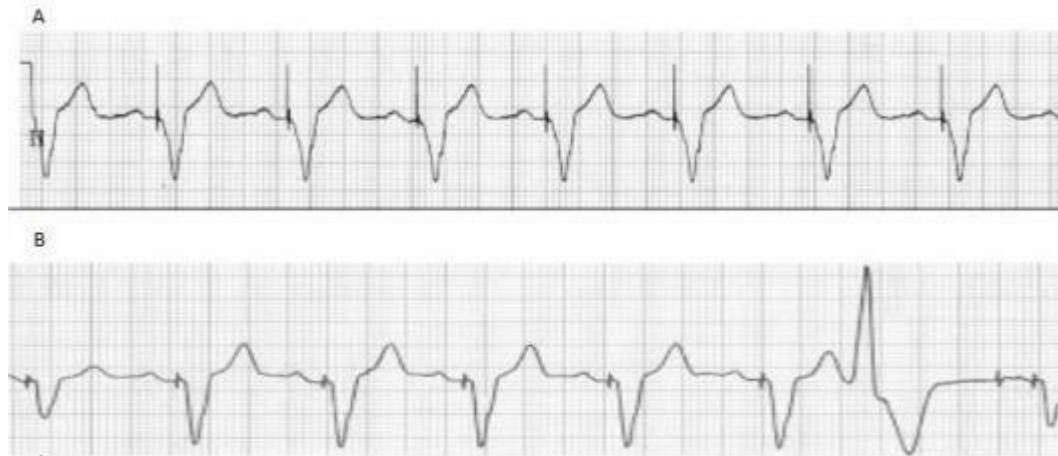
La estimulación cardíaca se realiza a través de dos polos, mediante los cuales se administra corriente: puede ser unipolar (A) cuando el polo positivo es la caja del marcapasos y el negativo la punta del electrodo. Puede ser bipolar (B), cuando ambos polos de estimulación están cerca de la punta del electrodo. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

Por estos mismos cables conductores que conforman el electrodo unipolar o bipolar se sensa la actividad electrofisiológica cardíaca, esta será la vía de información para coordinar, sincronizar, o inhibir la descarga de la fuente; también es la base para obtener registros electrocardiográficos intracavitarios que pueden ayudar a hacer diagnósticos, por ejemplo, de la actividad del NAV.

En la estimulación monopolar la espiga en el electrocardiograma de superficie será mayor y en la estimulación bipolar la espiga en el electrocardiograma de superficie será menos visible, pasando en ocasiones desapercibida. Este tipo de

estimulación tiene menos posibilidades de estimulación frénica y muscular (ver figura 11). (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Figura 11. (A) Electrocardiograma que muestra espiga de estimulación ventricular con configuración unipolar. Nótese que la espiga es amplia o de alto voltaje. (B) espiga de estimulación bipolar.



Sepúlveda López et al., 2021.

Tipos de dispositivo según cámara que estimula

Los marcapasos que solo estimulan atrio o ventrículo se denominan monocamerales y requieren solo un cable ubicado en la cámara que se quiere estimular. En cambio, los marcapasos con capacidad de estimular atrio y ventrículo se denominan bicamerales. Estos requieren un cable en atrio y otro en ventrículo; aunque también se disponen de sistemas bicamerales con cable único con un electrodo distal en ventrículo y otro flotante en atrio derecho, que funciona detectando la actividad atrial y dependiendo de lo detectado desencadena un estímulo en ventrículo, manteniendo así la sincronía atrioventricular. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Modos de estimulación

Los avances tecnológicos en el tratamiento de estimulación cardíaca han dado lugar a una amplia variedad de modalidades terapéuticas. Los marcapasos

pueden detectar la actividad eléctrica intrínseca del corazón y restaurar la frecuencia y la secuencia atrioventricular de la activación cardiaca.

Los diferentes modos de estimulación cardiaca tienen la posibilidad de adaptarse a la frecuencia cardiaca respecto al esfuerzo físico que se realiza en cada momento. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

Nomenclatura

El Código de Marcapasos de la Sociedad Norteamericana de Marcapasos y Electrofisiología y el Grupo Británico de Marcapasos y Electrofisiología establecieron una nomenclatura para describir el modo de estimulación de los DECI y se denomina código NBG (ver tabla 1). Este código NBG proporciona una comprensión genérica de la programación antibradicardia de cualquier DECI.

El código tiene cinco posiciones: la posición I describe la(s) cámara(s) estimulada(s); la posición II describe la(s) cámara(s) detectada(s); la posición III describe cómo responde el DECI a un evento detectado; la posición IV agrega una R para modulación de frecuencia; y la posición V describe la presencia o ausencia de marcapasos multisitio (como para marcapasos biventricular o TRC). Según la cantidad de derivaciones, la programación y las características del dispositivo, la estimulación se puede administrar y la detección puede ocurrir desde una sola cámara, dos cámaras o varias cámaras. (Schulman et al., 2013a) (Oter Rodríguez et al., 2000)

Tabla 1. Nomenclatura de los DECI.

Código de Marcapasos de NASPE/BPEG				
I	II	III	IV	V
Cámara estimulada	Cámara sensada	Respuesta a lo sensado	Modulación de frecuencia	Estimulación multisitio
A: atrio	O: ninguna	O: ninguna	O: ninguna	O: ninguna
V: ventrículo	A: atrio	T: estimula	R: modulación de frecuencia	A: atrio
D: dual (A+V)	V: ventrículo	I: inhibido		V: ventrículo
	D: dual (A+V)	D: dual (A+V)		D: dual (A+V)

Schulman et al., 2013b.

Los DAI transvenosos tienen un código genérico de cuatro posiciones para indicar la ubicación del cable y la función del dispositivo, aunque este código rara vez se usa fuera de la aplicación de investigación (ver tabla 2). La posición I indica la(s) cámara(s) descargadas, la posición II indica la(s) cámara(s) en las que se administra la terapia antitaquicardia, la posición III identifica el método de detección y la posición IV indica la(s) cámara(s) que administran estimulación antibradicardia. (Schulman et al., 2013a).

Tabla 2. Código genérico de los DAI.

Código genérico de desfibrilador de la Sociedad Norteamericana de Marcapasos y Electrofisiología (ahora la Sociedad del Ritmo Cardíaco) /Grupo Británico de Marcapasos y Electrofisiología			
Posición I	Posición II	Posición III	Posición IV
Cámaras de choque	Cámara antitaquicardia	Detección de taquicardia	Cámaras de MP anti bradicardia
O: ninguna	O: ninguna	M: Electrocardiograma	O: ninguna
A: atrio	A: atrio	H: Hemodinamia	A: atrio
V: ventrículo	V: ventrículo		V: ventrículo
D: doble	D: doble		D: doble

Schulman et al., 2013b.

Modo sincrónico

Estimulación Unicameral

AAI:

El dispositivo en este caso tiene un único cable, funciona estimulando y detectando la actividad atrial, y se inhibe cuando existe actividad intrínseca en el atrio a una frecuencia adecuada. Si la frecuencia atrial intrínseca es menor que la programada el dispositivo se activará (ver figura 12).

Este dispositivo podría emplearse únicamente en pacientes con enfermedad del nodo sinusal y conducción atrioventricular intacta. Sin embargo, el modo de estimulación AAI no se utiliza en la actualidad por la posibilidad de aparición de

bloque atrioventricular hasta del 2% anual en estos pacientes. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Figura 12. Modo de estimulación AAI. Ritmo de marcapasos atrial unicameral.



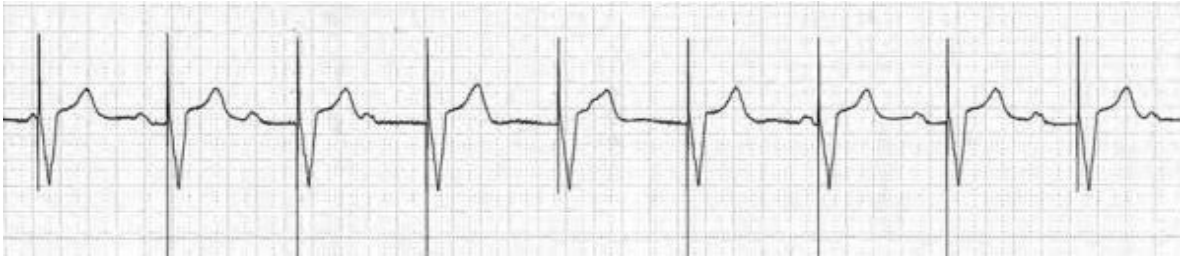
Después de cada espiga, se inscribe una onda P, lo que denota que el electrodo está alojado en el atrio derecho; a cada una le sigue un intervalo atrioventricular normal y un complejo QRS angosto, lo que demuestra que este paciente tiene su conducción atrioventricular e intraventricular conservadas. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

VVI:

En este caso el dispositivo estimula en el ventrículo y se inhibe si ve actividad propia, tiene un único cable. De esta forma, si la frecuencia ventricular es menor que el límite inferior de frecuencia programada, el marcapasos estimulará a 60 latidos por minuto (usualmente, pero, en general depende de la programación del fabricante). Cuando la frecuencia ventricular es mayor de 60 latidos por minuto, el marcapasos se inhibirá y permitirá la actividad ventricular intrínseca.

La condición habitual de indicación de este modo es un paciente con fibrilación atrial, flutter atrial y pausas relevantes o respuesta ventricular lenta sintomática. En estos casos interesa estimular el ventrículo a una frecuencia determinada; no interesa sensar la actividad atrial porque está totalmente desorganizada y a más de 350 latidos por minuto. La detección en ventrículo permite que cuando la frecuencia ventricular intrínseca resulte mayor que la programada, se inhiba la estimulación en esa cámara. En el ECG de superficie se observa un QRS ancho con morfología de bloqueo de rama izquierda precedido de una espícula (ver figura 13). (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Figura
13. Modo de estimulación VVI.



Se observa un ritmo de marcapasos con espigas inmediatamente seguidas de complejos QRS anchos, indicativo que la despolarización ventricular se inicia fuera del sistema de conducción, en este caso, en el ápex del ventrículo derecho. El tamaño de las espigas sugiere que se trata de un marcapasos en configuración unipolar. Las ondas P aparecen en forma aleatoria durante el trazado, sin la secuencia P-QRS normal, por lo tanto, el funcionamiento es independiente de la actividad atrial. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

Estimulación Bicameral

VDD:

El dispositivo, en este modo, estimula el ventrículo y sensa la actividad atrial y ventricular. Está compuesto por un solo cable, cuenta con un par de electrodos adicionales disponibles a la altura del atrio, detecta si hay actividad y emite un impulso para estimular el ventrículo, y de esta forma sincronizar la actividad de ambas cámaras. En el caso que también detecte actividad en el ventrículo, se inhibe la estimulación ventricular.

La indicación de este modo serían los pacientes con bloqueo atrioventricular, pero con actividad normal del nodo sinusal. De este modo con un solo cable, se puede detectar la actividad intrínseca atrial y estimular los ventrículos a la frecuencia fisiológica que determina su nodo sinusal. El inconveniente de los marcapasos de este modo es que, al estar el electrodo atrial flotando, a veces la detección en esa cámara no es óptima. En el electrodo de superficie se observa una P sinusal seguida de un QRS ancho con morfología de bloqueo de rama izquierda precedido de una espícula (ver figura 14). (Emiliano Fernández- Obanza Windscheid & María Blanco Vidal, 2019)

Figura

14. Modo de estimulación VDD.



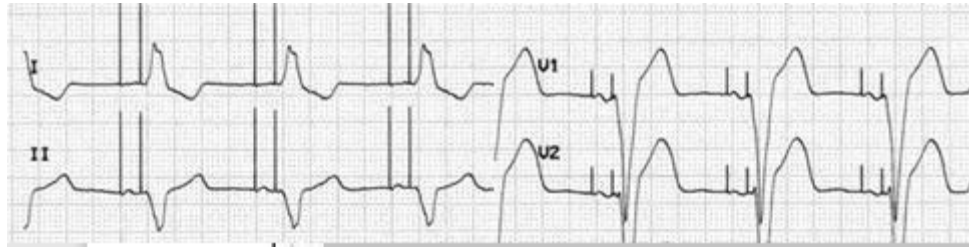
Las ondas P sinusales, propias del paciente (porque no tienen espiga) son adecuadamente detectadas y son seguidas de estimulación ventricular (complejos anchos, precedidos de espiga) con adecuada captura. Si en algún momento aparecen complejos QRS propios, el marcapasos inhibe la estimulación ventricular. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

DDD:

El dispositivo sensa y estimula sincrónicamente ambas cámaras, requiere la colocación de dos cables. Es el modo de estimulación de elección para las disfunciones sinusales asociadas a trastorno de la conducción atrioventricular (ver figura 15).

Este modo es el más fisiológico de todos. Está indicado en la enfermedad del nodo sinusal, en donde estimularía atrio en caso necesario, y en caso que la condición atrioventricular se encuentre intacta, el ventrículo se activaría por el tejido de condición normal, funcionando como un AAI. También está indicado en bloqueo atrioventricular porque tiene capacidad para estimular los ventrículos de forma sincrónica con la actividad atrial intrínseca. En este caso el electrodo en atrio detectaría actividad intrínseca del paciente mejor que un VDD, porque el cable está fijado a esa cámara. (Emiliano Fernández- Obanza Windscheid & María Blanco Vidal, 2019)

Figura
15. Modo de estimulación DDD.



Se observan espigas tanto atriales como ventriculares. Existe adecuada captura atrial; las ondas P, producto de la estimulación atrial son bien visibles, también existe adecuada captura ventricular, por la presencia de complejos anchos con morfología de bloqueo de rama izquierda del haz de His inmediatamente después de cada espiga ventricular. (Dr. Oswaldo Gutiérrez S., 2012)

Modo asincrónico

El modo fijo también llamado asincrónico, está programado para evitar detección de cualquier actividad eléctrica. Estimula una frecuencia definida independientemente de la existencia o no de actividad intrínseca. Este modo se utiliza sobre todo cuando queremos evitar la detección de señales extra cardíacas, que pueden confundir al marcapasos, por ejemplo, el electrocauterio. De esta manera, evita que el marcapasos se inhiba de forma inadecuada a una fuente eléctrica externa al confundirla con actividad cardíaca intrínseca del paciente.

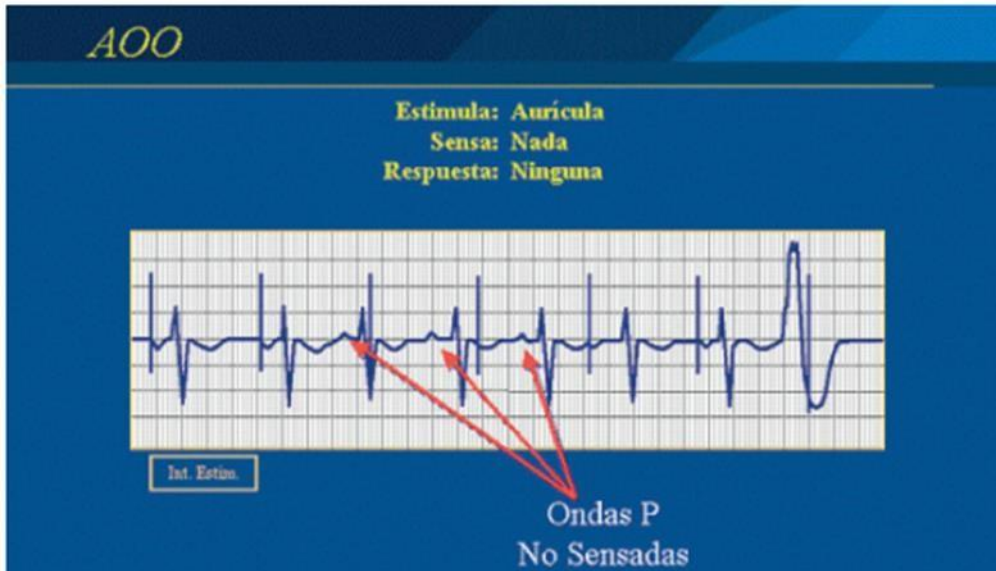
(Emiliano Fernández- Obanza Windscheid & María Blanco Vidal, 2019)

AOO

Este modo no tiene la capacidad de sensado ni de sincronización, ya que no reconoce la actividad electrofisiológica cardíaca. Las espigas de estimulación son entregadas, independientemente de la actividad endógena que pueda aparecer (**ver** figura 16).

Existe el riesgo de que la espiga caiga sobre la rama descendente de una onda T ventricular nativa al momento de ocurrir el «periodo supernormal» de la repolarización y se induzca una fibrilación ventricular; el denominado fenómeno de R sobre T. (Glikson et al., 2022)

Figura 16. Estimulación monocameral. Modo AOO.



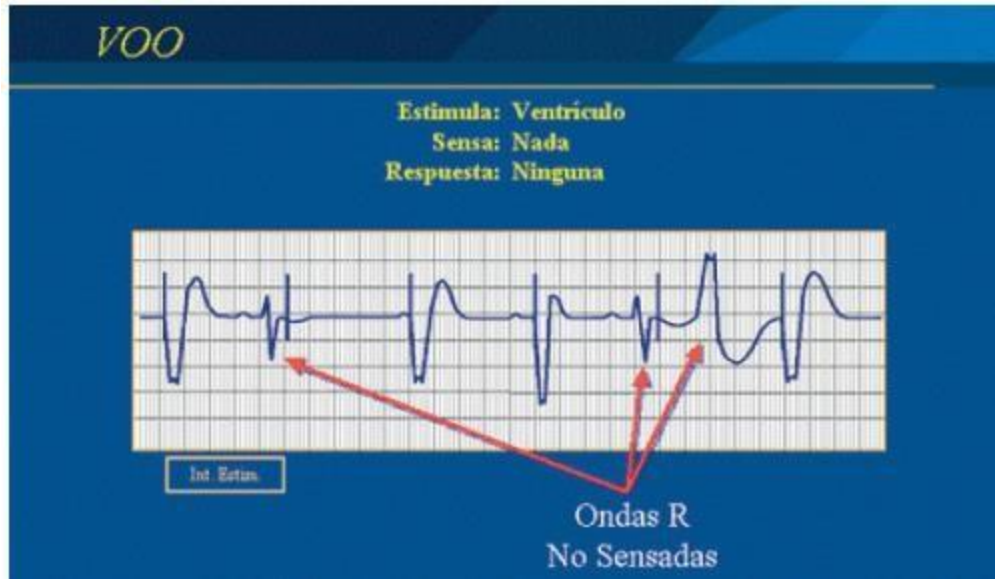
Jorge Reynolds y Rodolfo Vega, 2015.

VOO

Sin capacidad de sensado ni de sincronización, ya que no reconoce la actividad electrofisiológica cardíaca. Las espigas de estimulación son entregadas al ventrículo a una frecuencia fija, independientemente de la actividad endógena que pueda aparecer (ver figura 17).

Existe el riesgo de que la espiga caiga sobre la rama descendente de una onda T ventricular nativa al momento de ocurrir el «periodo supernormal» de la repolarización y se induzca una fibrilación ventricular; el denominado fenómeno de R sobre T. (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Figura 17. Estimulación monocameral. Modo VOO.



Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015.

DOO

Estimula en atrio y ventrículo secuencialmente a una frecuencia fija independientemente de la actividad intrínseca en los atrios y en los ventrículos. La frecuencia a la que estimula depende de la casa comercial. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Capítulo 4. Descripción específica de los dispositivos de estimulación cardíaca

Se describen, en este apartado, las características más importantes de los marcapasos, los marcapasos sin cables, los desfibriladores automáticos implantables, los cardiodesfibriladores subcutáneos y los resincronizadores cardíacos.

Marcapaso

Definición

El Diccionario de la Real Academia indica que el término de marcapaso deriva de la palabra inglesa *pacemaker*, y lo define como un pequeño aparato electrónico que excita rítmicamente al corazón incapaz de contraerse por sí mismo. (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

En la actualidad, los marcapasos son dispositivos que permiten evitar el síncope, la muerte por asistolia, mantener una sincronía atrioventricular, aumentar la frecuencia cardíaca según la demanda metabólica del paciente, almacenar datos diagnósticos y evaluar el estado de su funcionamiento. El funcionamiento general consiste en censar la actividad cardíaca original, transmitirla al marcapaso y este se inhibe o envía un estímulo con intervalos y características determinadas según la programación realizada. En la figura 18 podemos ver la imagen de un marcapaso. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

La capacidad de detectar la actividad eléctrica generada por la despolarización intrínseca evita la competencia de marcapasos en pacientes con ritmo espontáneo y permite la coordinación de la actividad atrial y ventricular en los dispositivos bicamerales. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Las incorporaciones de biosensores permiten aumentar automáticamente la frecuencia de estimulación para adaptarse a los requerimientos metabólicos del ejercicio. Los datos sugieren que los beneficios de la estimulación son mejores en aquellos pacientes con síntomas y aquellos con alto riesgo de progresión de la enfermedad de conducción. (Emiliano Fernández & María Blanco Vidal, 2019)

Figura 18. Marcapaso cardíaco.



Steffen et al., 2019.

Indicaciones

Bradycardia persistente

Hay dos formas principales de bradicardia persistente: disfunción del nodo sinusal o por bloqueo atrioventricular. Se observaron beneficios en la reducción del síncope y otros síntomas relacionados con la bradicardia y una mejor supervivencia en comparación con quienes no recibieron un marcapasos. En el cuadro 3 se describen las recomendaciones de estimulación cardíaca para la bradicardia y enfermedad del sistema de conducción. (Samii, 2015)

Disfunción del Nodo sinusal

Los pacientes que desarrollan disfunción del nodo sinusal pueden presentar bradicardia persistente inapropiada episódica o incompetencia cronotrópica.

La bradicardia inapropiada persistente puede causar muchos síntomas, incluidos mareos, síntomas de esfuerzo y síncope, ya que la frecuencia cardíaca no responde adecuadamente a las actividades de la vida diaria, lo que resulta en un gasto cardíaco reducido. La causa de disfunción del nodo sinusal es multifactorial, pero se ha descrito y simplificado con frecuencia como causada por fibrosis o envejecimiento del nodo sinusal. (Samii, 2015)

Tabla 3. Recomendaciones sobre estimulación para la disfunción del nodo sinusal.

Recomendaciones	Clase de recomendación	Nivel de evidencia
Pacientes con disfunción del nodo sinusal en forma de bradicardia-taquicardia para corregir las bradiarritmias y facilitar el tratamiento farmacológico.	I	B
Pacientes con arritmia atrial (principalmente fibrilación atrial) y bloqueo atrioventricular permanente o paroxístico de tercer grado (o alto grado) independientemente de los síntomas	I	C
En pacientes con disfunción del nodo sinusal, se recomienda minimizar la estimulación ventricular innecesaria mediante la programación	I	A
La estimulación cardiaca bicameral está indicada para reducir el síncope recurrente en pacientes mayores de 40 años con síncope recurrentes, impredecibles y graves que tengan: Pausa asistólica sintomática documentada espontánea >3 segundos o pausa/s asintomática/s > 6 segundos por parada sinusal, bloqueo atrioventricular o síndrome del seno carotídeo cardioinhibitorio o síncope asistólico durante la prueba de basculación	I	A
Para los pacientes con caídas recurrentes inexplicables, se debe considerar la misma evaluación que para el síncope inexplicable	Ila	C
Debe considerarse la ablación de la fibrilación atrial para evitar el implante de marcapasos en pacientes con bradicardia relacionada con fibrilación atrial o pausas de preautomatismo sintomáticas, tras la conversión de fibrilación atrial, teniendo en cuenta la situación clínica	Ila	C
Pacientes con disfunción del nodo sinusal en forma de bradicardia taquicardia, considerar la programación de estimulación antitaquicardia atrial	IIb	B
Considerar la estimulación cardiaca bicameral para reducir las recurrencias de síncope en pacientes con las características clínicas de síncope sensible a la adenosina	IIb	B

Tomado de la guía de la Sociedad Europea de Cardiología 2021. Glikson et al., 2022.

Bloqueo atrioventricular

Generalmente se describe como un bloqueo en el nodo atrioventricular, haz de His o debajo del haz de His. En el bloqueo atrioventricular tipo III, hay un bloqueo completo del impulso eléctrico en el del haz de His o debajo de este, en este caso no existe conducción eléctrica del atrio al ventrículo. El resultado es un ritmo de escape que con mayor frecuencia se origina en el ventrículo y que no es confiable a largo plazo. Los pacientes con esta afección pueden ser sintomáticos por el ritmo lento o por la inducción de arritmias ventriculares.

En el caso de bloqueo cardíaco tipo I o tipo II, la decisión de colocar un marcapasos depende del grado de los síntomas y de la preocupación por la progresión a un bloqueo cardíaco más avanzado. Ciertamente, si hay síntomas asociados con bradicardia o pérdida de sincronía atrioventricular, la estimulación bicameral mejorará los síntomas. En el contexto del bloqueo atrioventricular, existe la necesidad de evaluar posibles causas reversibles. En la tabla 4 se encuentra las recomendaciones sobre estimulación cardíaca para el bloqueo atrioventricular.

La mayoría de los marcapasos colocados para el bloqueo atrioventricular son marcapasos bicamerales para mantener la sincronía. La excepción a esto sería en aquellos pacientes con fibrilación atrial permanente donde solo se requiere estimulación ventricular. Se ha demostrado que los sistemas de marcapasos bicamerales tienen menos incidencia de fibrilación atrial y síndrome de marcapasos en comparación con los sistemas de marcapasos ventriculares. No ha habido ningún beneficio con respecto a la mortalidad o la progresión de la insuficiencia cardíaca entre los sistemas de estimulación ventricular y de estimulación bicameral. (Samii, 2015)

Tabla 4. Recomendaciones sobre estimulación para el bloqueo atrioventricular.

Recomendaciones	Clase de recomendación	Nivel de evidencia
Pacientes en ritmo sinusal con bloqueo atrioventricular permanente o paroxístico de segundo o tercer grado (avanzado o alto grado), infranodular 2:1, independientemente de los síntomas	I	C
Para pacientes con arritmia atrial (principalmente fibrilación atrial) y bloqueo atrioventricular permanente o paroxístico de tercer grado (avanzado o alto grado), independientemente de los síntomas	I	C
Para los pacientes con fibrilación atrial permanente que necesiten un marcapasos, se recomienda la estimulación ventricular con respuesta en frecuencia	I	C
Pacientes con bloqueo atrioventricular de segundo grado tipo 1 que causa síntomas o se localiza a nivel intrahisiano o infrahisiano en el estudio electrofisiológico	Ila	C
Para los pacientes con bloqueo atrioventricular, se debe preferir el modo de estimulación DDD a la estimulación ventricular unicameral para evitar el síndrome de marcapasos y mejorar la calidad de vida	Ila	A
Pacientes con síntomas persistentes similares a los del síndrome de marcapasos y atribuibles claramente a bloqueo atrioventricular de primer grado	Ila	C
No se recomienda la estimulación para pacientes con bloqueo atrioventricular debido a causas transitorias que puedan corregirse y prevenirse	III	C

Tomado de la guía de la Sociedad Europea de Cardiología 2021. (Glikson et al., 2022)

Marcapasos sin cables

El último desarrollo en tecnología de los DECI son los marcapasos sin cables de una sola cámara (en la figura 19 se puede observar un marcapaso sin cable). En este dispositivo no hay generador de pulso tradicional ni cables transvenosos. Todo el aparato está alojado en una cápsula que se encuentra en el vértice del ventrículo derecho. Se implanta con un catéter a través de la vena femoral y se despliega en el ventrículo derecho.

Las ventajas que posee es que no requiere de una bolsa de marcapaso, evitando que pueda infectarse. Una desventaja es que esta tecnología actualmente solo está disponible para estimular el ventrículo y, por lo tanto, es más apropiada para pacientes con fibrilación atrial permanente. Además, debido a que se trata de una tecnología nueva, aún no está claro cuántos de estos se pueden implantar en la vida de una persona y la dificultad que conlleva extraerlos si es necesario. En la tabla 5 se mencionan las recomendaciones para implantación de un marcapaso sin cables. (Sapp et al., 2017)

Figura 19. Marcapaso sin cables.



Steffen et al., 2019.

Tabla 5. Recomendaciones para la estimulación cardíaca con un marcapasos sin cables.

Recomendaciones	Clase de recomendación	Nivel de evidencia
Se debe considerar el marcapasos sin cables como alternativa a los marcapasos transvenosos cuando no exista acceso venoso en la extremidad superior o cuando el riesgo de infección del bolsillo del dispositivo sea particularmente alto, como en pacientes con infección previa y pacientes en hemodiálisis	Ila	B
Los marcapasos sin cables pueden ser una alternativa a la estimulación ventricular estándar de un solo cable, teniendo en cuenta la esperanza de vida y una estrategia de toma de decisiones compartida	Ilb	C

Tomado de la guía de la Sociedad Europea de Cardiología 2021. (Glikson et al., 2022)

Desfibrilador automático implantable

Un DAI es un dispositivo de estimulación cardíaca con estructura y componentes similares a un marcapaso. Las funciones que presenta este sistema es la capacidad de diagnóstico de las taquicardias y la capacidad de estimulación antibradicardia, permitiendo una estimulación monocameral, bicameral e, incluso, tricameral (en la figura 20 se observa la imagen de un DAI). (García, 2023)

Figura 20. Desfibrilador automático implantable.



Steffen et al., 2019.

Los DAI utilizan intervalos RR (frecuencia cardíaca) para detectar taquiarritmias. Cada intervalo RR cardíaco se mide y la frecuencia se clasifica como normal, demasiado rápida (intervalo RR corto) o demasiado lenta (intervalo RR largo). Cuando se detectan suficientes intervalos RR cortos, comienza un evento de antitaquicardia. Luego, los DAI intentan distinguir entre taquiarritmia maligna (taquicardia ventricular o fibrilación ventricular) y no maligna (taquicardia supraventricular, fibrilación atrial con respuesta ventricular rápida) en función de discriminadores programables (como la morfología QRS, la variabilidad del intervalo RR y la relación PR, si está disponible).

Cuando está indicada la terapia, los DAI transvenosos pueden administrar terapia antitaquicardia (menos dolorosa, mejor tolerado, menos consumo de batería) o shock, dependiendo de la presentación y programación del dispositivo. La terapia antitaquicardia tiene una tasa de éxito de alrededor del 85 % en la terminación de episodios de taquicardia ventricular hemodinámicamente estable.

(Cronin & Essandoh, 2018)

Una descarga de choque termina la fibrilación ventricular en más del 98% de los episodios. Cualquier terapia inapropiada (para un ritmo que no sea taquicardia ventricular o fibrilación ventricular), ya sea terapia antitaquicardia o choque, se asocia con una mayor mortalidad. A pesar de las mejoras en la detección de taquiarritmias ventriculares, en promedio, más del 10 % de las descargas son inapropiadas.

Para evitar una descarga inapropiada, la mayoría de los DAI están programados para reconfirmar la taquicardia ventricular o fibrilación ventricular después de la carga. (David L. Hayes et al., 2021)

Indicaciones

Las indicaciones para la colocación de un DAI transvenoso incluyen: fibrilación ventricular y condiciones asociadas con muerte cardíaca súbita (p. ej. QT largo síndrome de Brugada, displasia arritmogénica del ventrículo derecho y miocardiopatías infiltrativas). Además, estudios recientes también sugieren que los DAI son útiles para la prevención primaria de la muerte súbita cardíaca en pacientes con miocardiopatía hipertrófica, posterior a un infarto de miocardio con una fracción de eyección menor del 30% o miocardiopatía con una fracción de eyección inferior al 35%. Finalmente, un cardiodesfibrilador puede ser incorporado con la terapia de resincronización cardíaca (por ejemplo, por sus siglas en inglés, CRT-D) en un paciente con miocardiopatía dilatada y prolongación del intervalo QRS. (Cronin & Essandoh, 2018)

Desfibrilador automático cardíaco implantable subcutáneo (DCI-S)

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) aprobó el DCI-S en 2012 (en la figura 21 se encuentra una imagen de un DCI-S). Estos dispositivos son susceptibles a la interferencia del electrocauterio como cualquier otro dispositivo, solo tienen la función de descarga. Además, también tienen función de marcapasos antibradicardia, esta función está disponible solo después de la terapia de choque. La respuesta del imán es similar al DAI transvenoso en el que se suspende la detección de taquiarritmia. Este dispositivo puede beneficiar a pacientes

seleccionados, como aquellos con bacteriemia recurrente, limitaciones de acceso vascular y que pueden ser propensos a la falla del cable transvenoso. (Arora & Inampudi, 2017)

Los DAI subcutáneos no tienen capacidad de estimulación permanente, tampoco tienen cables transvenosos o epicárdicos tradicionales y tienen funciones limitadas; como por ejemplo, no pueden administrar terapia antitaquicardia. (David L. Hayes et al., 2021)

Figura 21. Desfibrilador cardíaco subcutáneo implantable.



Steffen et al., 2019.

Terapia de resincronización cardíaca

Este tipo de dispositivo de estimulación cardíaca también es conocido como marcapasos tricameral, marcapasos biventricular o resincronizador cardíaco, tiene como principal fin restablecer la sincronía inter e intraventricular que se ha perdido principalmente en los pacientes con miocardiopatía dilatada (en la figura 22 se observa una imagen de un resincronizador cardíaco). (Jorge Reynolds & Rodolfo Vega, 2015)

Figura 22. Generador de un marcapasos con terapia de resincronización cardíaca.



Steffen et al., 2019.

La resincronización ventricular se obtiene estimulando ambos ventrículos para que se contraigan con un retraso intraventricular mínimo, para lograr la estimulación del ventrículo izquierdo se implanta un cable de estimulación por vía transvenosa a través del seno coronario. (David L. Hayes et al., 2021)

Al igual que con los marcapasos bicamerales, si existe disfunción sinusal o enfermedad del nodo atrioventricular, el dispositivo estimulará también atrio y ventrículos con sus funciones habituales. Se encontró que la resincronización cardíaca reduce significativamente las arritmias ventriculares de nueva aparición y las primeras recurrencias en pacientes que han experimentado arritmias ventriculares previas. Además, se ha demostrado que la TRC mejora significativamente la morbimortalidad en grupos específicos de pacientes con fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) reducida. (Glikson et al., 2022)

La insuficiencia cardíaca avanzada se acompaña de defectos de conducción causadas por disfunción del nodo sinusal, bloqueo atrioventricular, retrasos en la conducción intraventricular o bloqueo de rama del haz de His. Se ha demostrado que la asincronía intraventricular e interventricular aumenta el riesgo de muerte en esta población. (Schulman et al., 2013b)

En términos generales estos dispositivos están indicados en los pacientes con disfunción contráctil significativa (Fracción de eyección $\leq 35\%$), bloqueo de rama izquierda del haz de His con QRS ≥ 150 milisegundos e insuficiencia cardíaca

en clase funcional III-IV de la clase funcional de la New York Heart Association bajo tratamiento farmacológico completo (en la tabla 6 se observa las principales recomendaciones para la terapia de resincronización cardíaca).

Tabla 6. Recomendaciones para terapia de resincronización cardíaca para pacientes con ritmo sinusal.

Recomendaciones.	Clase de recomendación	Nivel de evidencia
Para los pacientes en ritmo sinusal con insuficiencia cardíaca sintomática, FEVI <35%, QRS >150 ms y QRS con morfología de bloqueo rama izquierda del haz de His a pesar del tratamiento médico óptimo, con el fin de mejorar los síntomas y reducir la morbimortalidad.	I	A
La TRC se debe considerar para pacientes en ritmo sinusal con insuficiencia cardíaca sintomática, FEVI < 35%, QRS 130-149 ms y QRS con morfología de BRIHH a pesar del del tratamiento médico óptimo, con el fin de mejorar los síntomas y reducir la morbimortalidad.	Ila	B
QRS con morfología diferente del BRI.		
La TRC se debe considerar para los pacientes en RS con insuficiencia cardíaca sintomática, FEVI <35%, QRS > 150 ms y QRS de morfología diferente del BRIHH a pesar del tratamiento médico óptimo, con el fin de mejorar los síntomas y reducir la morbimortalidad.	Ila	B
Se puede considerar la TRC para los pacientes en ritmo sinusal con insuficiencia cardíaca sintomática, FEVI <35%, QRS 130-149 ms y QRS de morfología diferente del BRHHI a pesar del tratamiento médico óptimo, con el fin de mejorar los síntomas y reducir la morbimortalidad.	Ilb	B
Duración del QRS.		
La TRC no está indicada para los pacientes con insuficiencia cardíaca y QRS < 130 ms que no tengan indicación de estimulación del VD.	III	A

Tomado de la guía de la Sociedad Europea de Cardiología 2021. Glikson et al., 2022.

Capítulo 5. Uso del imán en pacientes con dispositivos electrónicos cardíacos implantables

Perspectiva histórica

Antes de la introducción de la comunicación por telemetría con los marcapasos cardíacos en la década de 1970, los imanes se usaban para modificar el comportamiento de la estimulación, demostrar la duración restante de la batería y lograr una estimulación asincrónica cuando se sospechaba de interferencia electromagnética. La activación de un interruptor magnético era una característica esencial necesaria para la programación en modelos de DECI anteriores. Actualmente la comunicación de un DECI y el programador es por medio de acoplamiento inductivo (a través de una bobina de antena) u ondas de radiofrecuencia. (Jacob et al., 2011)

Consideraciones técnicas

La mayoría de los marcapasos y DAI tienen interruptores de láminas magnéticas incorporados que están diseñados para activar o desactivar los circuitos en respuesta a los imanes.

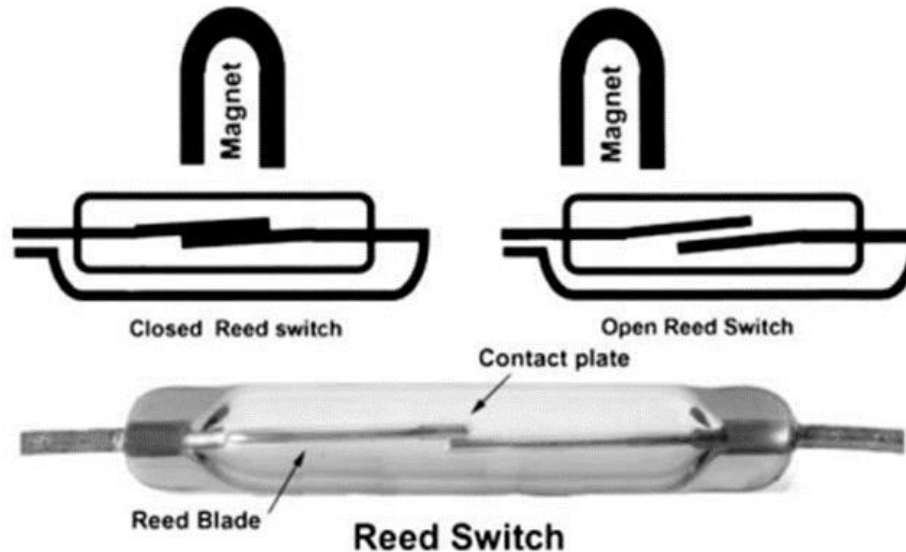
Interruptor de láminas magnéticas

Un interruptor de láminas consta de dos tiras de metal hechas de material magnético dentro de una cápsula de vidrio. Son posibles varias configuraciones, la más común implica la separación de las tiras (interruptor abierto) por su rigidez y una unión en voladizo a los extremos de la cápsula. Cuando se aplica un campo magnético externo adecuado hace que las tiras entren en contacto (interruptor cerrado), lo que provoca un cambio repentino en el voltaje detectado por un amplificador de detección. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Este amplificador hace que el generador de impulsos cambie para realizar funciones programadas, como el modo de estimulación asincrónica en los marcapasos y la suspensión de las terapias antitaquicardia en los DAI. Los interruptores de láminas pueden fallar si permanecen cerrados o abiertos, independientemente del campo magnético externo. Esto suele deberse a que la

cápsula de vidrio del interruptor de láminas se rompe y hace que las tiras de metal se peguen en una posición (ver figura 23). (Jacob et al., 2011)

Figura 23. Interruptor magnético de láminas.



Arriba: interruptor de láminas cerrado y abierto en respuesta a la colocación del imán. Abajo: Interruptor magnético de láminas que muestra las láminas incorporadas en una pequeña cápsula de vidrio. (Jacob et al., 2011)

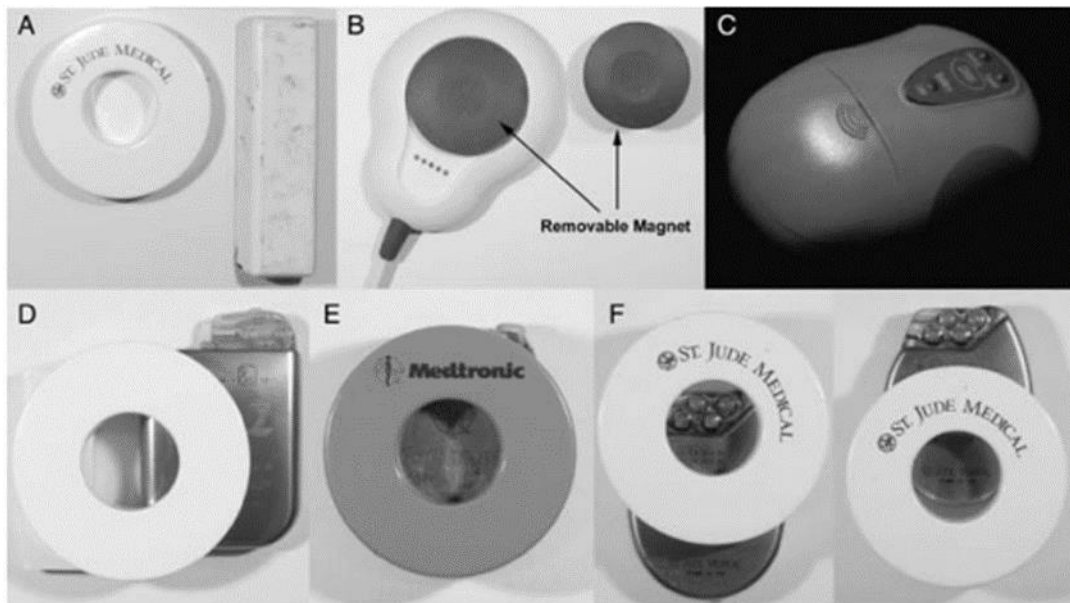
Características y posicionamiento de los imanes

Características generales

Los imanes clínicos están hechos de una aleación ferrosa, vienen en varias formas (anillo o rosquilla, herradura y rectángulo o barra) y están diseñados para colocarse sobre el sitio de implantación del DECI (ver figura 24).

El efecto de campo magnético del imán clínico es directamente proporcional a la fuerza del imán e inversamente proporcional a la distancia del imán al DECI. Se requiere 10 Gauss alineados con el interruptor magnético de láminas para activar el interruptor magnético a fin de alterar la función del dispositivo. Los imanes clínicos disponibles suelen tener una fuerza de ≥ 90 Gauss. En individuos obesos, se puede necesitar más de un imán para cambiar la función del DECI. (Crea & Nicotera, 2020)

Figura 24. Imanes clínicos y su colocación adecuada según las recomendaciones del fabricante.



(A) Imanes de anillo y barra. (B) Imán de la varita de telemetría de St. Jude en su posición y retirado de la varita. (C) Imán inteligente de Medtronic. (D) Desfibrilador cardioversor implantable Sorin con un anillo magnético colocado descentrado evitando el cabezal en el extremo superior del dispositivo. (E) Desfibriladores cardioversores implantables de Medtronic, Boston Scientific y Biotronik con un imán anular colocado directamente en la parte superior del dispositivo. (F) Desfibrilador cardioversor implantable de St. Jude: la curva del imán de anillo se coloca en el extremo superior o inferior del dispositivo. (Jacob et al., 2011) **Posicionamiento del imán**

El sitio de colocación del imán es importante ya que un imán mal colocado puede no producir el efecto deseado. Los imanes se colocan mejor directamente sobre el dispositivo (Medtronic, Boston Scientific y Biotronik) con dos excepciones; en los DAI de St. Jude, se recomienda colocar el imán fuera del centro con la curva del imán sobre el extremo inferior o superior del dispositivo, y, en los DAI de Sorin, la curva del imán en forma de anillo debe colocarse directamente sobre el dispositivo de tal manera que evite el encabezado en el extremo superior del dispositivo. (H. Thomas et al., 2022)

Respuesta DECI al imán

Respuesta de un marcapaso al imán

Colocar un imán sobre un marcapasos normalmente cambia el dispositivo a un modo asíncrono y estimula a la frecuencia del imán (normalmente > 85 lpm, según el fabricante). El uso de un imán proporciona información sobre el estado de la batería del dispositivo, ya que la frecuencia de estimulación en la aplicación del imán varía según la batería disponible.

Los imanes también se pueden utilizar para verificar la captura de marcapasos en pacientes con ritmo espontáneo. Finalmente, cuando la programación de marcapasos guiada por telemetría no está disponible, la respuesta magnética permite cambiar temporalmente a un modo de estimulación asincrónica, evitando así la inhibición de la estimulación por interferencia electromagnética o ruido por rotura del cable. (Crea & Nicotera, 2020)

La decisión de aplicar un imán sobre el DECI depende de varios aspectos: tipo de dispositivo (si es marcapasos o DAI), cómo está programado, ritmo de base del paciente y la probabilidad de interferencia electromagnética en el intraoperatorio.

Actualmente, el uso del imán solo está justificado cuando no es posible realizar formalmente la evaluación del DECI por parte del servicio de electrofisiología y cuando el paciente es dependiente del dispositivo y va para cirugía de emergencia. También es válido hacer uso del imán cuando de forma rápida se quiere evaluar el funcionamiento de sensado y captura de un marcapasos. (Sepúlveda López et al., 2021)

Una vez colocado el imán sobre el tórax del paciente y justo encima del dispositivo, se pueden esperar las siguientes respuestas:

En un marcapaso cambia su configuración a modo asincrónico: AOO, VOO o DOO. En términos prácticos, al posicionar el imán, la función de sensado del DECI se inhibe y acto seguido el dispositivo genera estímulos con una frecuencia fija, ya sea de forma transitoria o durante el tiempo que tenga el imán. Se debe tener en

cuenta que dicha respuesta varía según la marca del dispositivo y el estado de la batería. En la tabla 7 se encuentra la frecuencia de estimulación cardíaca usual según el estado de la batería. (Sepúlveda López et al., 2021) (Bera et al., 2021)

Intervalo de reemplazo electivo: significa que la batería está baja y se recomienda cambio de dispositivo en uno a tres meses. En los DAI y los dispositivos con resincronización cardíaca con desfibrilador no hay conversión a modo asincrónico, pero sí se inhibe la terapia anti taquicardia. (Sepúlveda López et al., 2021)

Tabla 7. Frecuencia de estimulación de los dispositivos electrónicos cardíacos implantables a la aplicación del imán según la duración de la batería disponible y del fabricante.

Fabricante	Inicio de la vida útil (latidos por minuto)	Intervalo de reemplazo electivo (latidos por minuto)
Medtronic	85	65
St. Jude	100	85
Boston Scientific	100	85
Biotronik	90	80
Sorin	100	80

Jacob et al., 2011.

Respuesta de un dispositivo con terapia de resincronización cardíaca al imán: (TRC-P)

Generalmente cuando se aplica un imán a este tipo de dispositivo convierten su estimulación a un modo asincrónico. (H. Thomas et al., 2022)

Respuesta de los DAI al imán

Los desfibriladores automáticos implantables a veces pueden reconocer el ruido de una interferencia electromagnética como taquicardia o fibrilación ventricular y pueden administrar descargas inapropiadas. Cuando se anticipa interferencia eléctrica, como en el uso del electrocauterio quirúrgico, las terapias anti-taquicardia necesitan ser desactivadas para la duración del procedimiento. Alternativamente, se

podría aplicar un imán para activar el interruptor magnético para inhibir las terapias anti taquicardia. (H. Thomas et al., 2022), (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

En situaciones de emergencia, los imanes se utilizan para terminar las descargas del dispositivo debido a una detección inadecuada de arritmia en condiciones tales como un cable fracturado, un tornillo de ajuste flojo, sobredetección de ondas T y miopotenciales y taquicardias supraventriculares.

En caso de arritmias ventriculares durante la cirugía de un paciente con un DAI, retirar el imán reactiva la detección y el tratamiento de la taquicardia, evitando la necesidad de una desfibrilación externa. (Özkartal et al., 2022)

Respuesta del Desfibrilador automático implantable subcutáneo (DCI-S) al imán

Los DCI-S lanzados al mercado son de Boston Scientific, la colocación del imán sobre el dispositivo desactiva la terapia contra la taquicardia. En los DCI-S de primera generación, el imán debe colocarse en el centro del dispositivo, mientras que, en las generaciones más nuevas, el imán debe colocarse sobre el cabezal del dispositivo o el borde inferior.

El dispositivo emite un pitido sincrónico de onda R durante 60 s para confirmar el modo magnético. Si no hay retroalimentación audible durante la colocación del imán, esto puede indicar que el imán no está colocado correctamente sobre el dispositivo, por lo que todas las terapias aún están activas; el reposicionamiento del imán generalmente resuelve el problema.

Otro motivo de la ausencia de un tono audible en el momento de la aplicación del imán es la desactivación intencional durante una visita de seguimiento anterior. Finalmente, la falta de tono audible durante la colocación del imán puede ser un mal funcionamiento del emisor de tono, que puede dañarse por un fuerte campo magnético como el de una resonancia magnética. Por lo tanto, si no hay pitido a pesar de la colocación correcta del imán, puede ser recomendable interrogar al dispositivo. (Özkartal et al., 2022)

Respuesta de un marcapasos sin cables al uso de imán

La función de los marcapasos sin cables no se ve afectada por la aplicación de un imán y, por lo tanto, cualquier cambio de programación necesaria debe realizarse con el programador específico del dispositivo. En casos donde la reprogramación no es posible y se trata de un paciente dependiente de la estimulación del marcapaso se debe tener precaución. (H. Thomas et al., 2022)

Precauciones sobre el uso de imanes clínicos

En ciertos escenarios clínicos, se debe preferir la programación al uso de imanes. Estos incluyen cirugías que se realizarán en una posición no supina que hace que la posición del imán sobre el DECI sea inestable o cuando el fabricante o el médico hayan desactivado el modo de respuesta del imán por cualquier motivo.

Dado que el modo de estimulación de bradicardia no se ve afectado por los imanes en los DAI, los pacientes que dependen de un marcapasos deben tener su DAI reprogramado a un modo asíncrono para evitar la inhibición de la estimulación por interferencia electromagnética principalmente relacionada con el electrocauterio. (H. Thomas et al., 2022)

Los imanes clínicos no alteran las funciones adaptativas de frecuencia en los DAI y se requiere de la reprogramación cuando es necesario inhibir esta función. Esto contrasta con los marcapasos en los que la aplicación de imanes desactiva cualquier respuesta de frecuencia.

Algunos de los modelos de DAI de Boston Scientific con modos programables específicos no puede volver a la programación original después de retirar el imán. Si se utiliza un imán para alterar dicha función del DECI, debe interrogarse lo antes posible para detectar cualquier cambio de programación que pueda haber ocurrido. Además, cuando se desactiva un DAI mediante un imán, se debe garantizar la disponibilidad inmediata de desfibrilación externa.

Si la aplicación de un imán en el sitio de un marcapasos no produce ninguna respuesta en la frecuencia o el modo de estimulación del ECG de superficie, se puede

cambiar la posición del imán. Si aún no se observa ningún cambio, se pueden aplicar las siguientes razones:

1. Batería de marcapasos agotada.
2. Marcapasos programado para ignorar el imán (modo sincrónico de St. Jude, Boston Scientific y Biotronik).
3. El campo magnético no llega al dispositivo, como en el caso de aquellos con implantes más profundos (abdominales o submusculares) o en pacientes muy obesos.
4. Marcapasos Biotronik en modo sincrónico, si la frecuencia cardíaca intrínseca del paciente es superior al límite de frecuencia inferior programado, no habrá respuesta.

En casi todos los marcapasos, la extracción del imán hace que el dispositivo vuelva a estimular a la frecuencia preprogramada normal. (Özkartal et al., 2022)

Capítulo 6. Consideraciones anestésicas en el perioperatorio

Consideraciones preoperatorias

Evaluación preoperatoria

El objetivo de una valoración preoperatoria es conocer en detalle las condiciones que rodearán el procedimiento quirúrgico del paciente con un DECI sometido a cirugía no cardíaca para prever las situaciones de riesgo. En la tabla 8 se resume los aspectos que se recomiendan evaluar. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Tabla 8. Aspectos por considerar en la evaluación preoperatoria.

Estado clínico: electrolítico y ácido base
Tipo de dispositivo
Fabricante del dispositivo
Indicación del dispositivo
Fecha de implantación y fecha del último seguimiento
Dependencia del dispositivo: porcentaje de estimulación
Posibles fuentes de interferencia electromagnética
Disponibilidad de telemetría durante el perioperatorio
Respuesta del dispositivo al magneto

Tomado de la guía sobre el manejo perioperatorio de pacientes con dispositivos electrónicos implantables cardíacos de la Sociedad Estadounidense de Anestesiólogos. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Estado clínico

Las alteraciones metabólicas y electrolíticas como hipercalemia, hiperglicemia, alcalemia, acidosis, hipoxemia, hipercapnia e hipotiroidismo aumentan el umbral de estimulación, causando un fallo de captura. Por tanto, es esencial que antes de someter a un paciente con este tipo de dispositivo a un procedimiento quirúrgico electivo, se debe realizar la corrección inmediata del trastorno subyacente y en casos de emergencia se debe procurar su optimización perioperatoria evaluando riesgo beneficio del acto quirúrgico. (Rapsang &

Bhattacharyya, 2014). (Barold & Herweg, 2014)

Tipo de dispositivo y fabricante

El manejo perioperatorio comienza con la identificación de la indicación DECI, el tipo de dispositivo implantado, fabricante y su programación. Para determinar qué tipo de dispositivo tiene el paciente se dispone inicialmente de la historia clínica y del examen físico dirigido. Si el paciente no resulta un buen informante, siempre se puede recurrir a las siguientes fuentes: revisar la tarjeta de identificación del fabricante, último registro de la reprogramación del dispositivo, bases de datos del fabricante, rayos X y un electrocardiograma. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Con frecuencia los electrodos bipolares pueden ser identificados en la radiografía de tórax por un electrodo 1-3 cm proximal a la punta del cable, y el cardiodesfibrilador se puede distinguir de los marcapasos convencionales por la presencia de una bobina de choque en el cable que se aloja en el ventrículo derecho, además sus cables son más gruesos y radiopacos que los del marcapasos. La mayoría de los DECI tienen un código de rayos X inscrito en el generador que se puede utilizar para identificar al fabricante del dispositivo. (Özkartal et al., 2022)

Fecha de implantación y de última revisión

Conocer la fecha de implantación del dispositivo es de gran valor para determinar el tiempo probable de vida útil que tiene el dispositivo, además debe tenerse en cuenta que la mayoría de los consultores y miembros de la ASA están de acuerdo en que un DECI debe interrogarse entre tres y seis meses antes de un procedimiento quirúrgico. (H. Thomas et al., 2022)

Dependencia al marcapaso

La dependencia del marcapasos se determina con base en los datos de la historia clínica, como historia de bradiarritmias que condujeron a un síncope, historia de ablación nodal exitosa, o las evaluaciones del marcapasos que no muestran actividad ventricular espontánea.

Actualmente muchos DECI tienen capacidades de interrogación y monitoreo remotos. Por lo que el informe de interrogación del DECI más reciente puede ser de

una interrogación en el consultorio o de una transmisión remota. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Preparación preoperatoria

La preparación preoperatoria para la seguridad del paciente y el mantenimiento adecuado del DECI durante un procedimiento planificado incluye los siguientes temas: (1) fuentes de interferencia electromagnética, (2) reprogramación preoperatoria del DECI a un modo de marcapasos asíncrono o desactivación de cualquier algoritmo especial, incluidas las funciones de marcapasos adaptables a la frecuencia (4) disponibilidad de equipo temporal de marcapasos y desfibrilación. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Fuentes de interferencia electromagnética

La interferencia electromagnética es la interrupción del funcionamiento de un dispositivo electrónico cuando se encuentra cerca de un campo electromagnético generado por una fuente externa. Durante los procedimientos quirúrgicos, la función de los DECI puede verse afectada por interferencias electromagnéticas, especialmente debido al uso de electrocauterio. Los DECI con configuración de detección unipolar son más susceptibles a estas interferencias electromagnéticas en comparación con aquellos con detección bipolar. (Chakravarthy et al., 2017)

En pacientes con un DAI, el censado de la actividad eléctrica del electrocauterio como actividad cardíaca intrínseca puede inducir descargas inapropiadas o estimulación antitaquicardia, también puede pasar al modo de respuesta de imán, conduciendo a la estimulación asincrónica en los marcapasos y la inhibición de las terapias anti-taquicardia en los cardiodesfibriladores.

Los periodos de los cardiodesfibriladores para detectar altas frecuencias y desencadenar la terapia antitaquicardia suelen ser de varios segundos. Es por ello que se recomienda que la ráfaga del electrobisturí sea corta (< 5 s) con intervalos de pausa largos (> 5 s). La ubicación de la placa (la cual cierra el circuito en los electrocauterios unipolares) debería ser en un lugar que asegure que el estimulador cardíaco no hará parte del circuito eléctrico. El electrobisturí a menos de 15 cm (6

pulgadas) aumenta la posibilidad de interferir con el dispositivo y puede causar un daño permanente a sus circuitos internos. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Reprogramación preoperatoria

Se recomienda modificar la función de estimulación de un marcapaso a un modo de estimulación asincrónica en el paciente dependiente de marcapasos si se planea el uso de electrocirugía monopolar superior al ombligo.

No se recomienda alterar la función de estimulación de un marcapaso a un modo de estimulación asincrónica en el paciente no dependiente de estimulación o en el paciente que se planea el uso de electrocirugía monopolar inferior al ombligo. (Chakravarthy et al., 2017)

Cuando el paciente es portador de un DAI, es altamente dependiente de la estimulación del marcapasos y por el tipo de cirugía existe el riesgo de sufrir interferencias electromagnéticas, la reprogramación es obligatoria. Desactivar la función antitaquicardia es fundamental en cirugías donde el movimiento del paciente puede producir resultados desastrosos. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Si la interferencia electromagnética es improbable, y la cirugía es inferior al ombligo en el caso de un paciente portador de un marcapaso no requiere reprogramación, en el caso de un DAI puede que no sea necesario suspender la función antitaquicardia, sin embargo, se recomienda tener disponible un imán. (García, 2023)

Las guías canadienses prefieren el uso del imán a la reprogramación siempre que ello sea factible, pero si la posición del paciente en la mesa de cirugía es decúbito lateral o decúbito prono, o si el dispositivo está dentro del campo quirúrgico (menos de 15 cm del dispositivo cardíaco), se recomienda la reprogramación sobre el imán.

La reprogramación también es necesaria si el paciente tiene un cardiorresincronizador por dos razones: para desactivar el modo antitaquicardia (considerando que la mayoría de ellos están acoplados a un cardiodesfibrilador y para programar la estimulación asincrónica, como VOO o estimulación DOO, en el

paciente dependiente de marcapasos. Las frecuencias que asigna el dispositivo cuando su batería está al principio de la vida útil (100, 85, 98,6, 100, 96) se encuentran en los límites superiores de la normalidad y pueden no ser apropiadas para todos los pacientes, especialmente aquellos con enfermedad coronaria, enfermedad cardíaca valvular, o algunas formas de miocardiopatía. En estos casos es necesaria la reprogramación para asignar frecuencias menores que se ajusten a la comorbilidad del individuo. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Disponibilidad de equipo temporal de marcapasos y desfibrilación

El equipo de desfibrilación y estimulación temporal debe estar disponible inmediatamente antes, durante y después de todos los procedimientos con potencial interferencia electromagnética. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Consideraciones intraoperatorias

El anestesiólogo, en el intraoperatorio, siempre debe tener en mente tres pilares: monitoreo del paciente y del funcionamiento del DECI, prevenir potenciales eventos que generen disfunción del dispositivo y saber ejecutar cardioversión, desfibrilación y soporte de frecuencia cardíaca en caso necesario.

Monitoreo intraoperatorio

Los informes de casos indican que la monitorización electrocardiográfica continua puede detectar anomalías en la función del marcapasos, relacionadas con interferencias electromagnéticas y anomalías cardíacas durante un procedimiento.

Además de la monitorización ASA básica, se requiere monitorizar de manera continua con electrocardiografía de superficie de cinco derivadas y se debe desactivar el filtro de artefactos para lograr detectar con claridad los estímulos o descargas proporcionadas por el dispositivo. (Sepúlveda López et al., 2021)

Si se producen interacciones imprevistas con los DECI, suspenda temporalmente el procedimiento hasta que se pueda identificar y eliminar o gestionar la fuente de la interferencia. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

La presencia de marcapasos no es indicación para Swan-Ganz ni catéter venoso central. En caso de requerir este último, las funciones antitaquicardia deben ser suspendidas en un paciente con cardiodesfibrilador, mientras que en un paciente dependiente de marcapasos se requiere la reprogramación a modo asincrónico.(Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Prevención de eventos que generen disfunción del DECI

Se menciona, a continuación, las recomendaciones intraoperatorias que se deben tomar para evitar un funcionamiento inadecuado del DECI.

- Contar con un magneto disponible para todos los pacientes con un DECI.
- Preferir el electrobisturí bipolar o el electrobisturí ultrasónico armónico.
- Usar el electrobisturí monopolar en ráfagas cortas (< 5 s) con > 5 s entre ráfagas, con la potencia más baja posible.
- Se debe tener presente la localización de la lesión cutánea que se va a tratar y del dispositivo y seleccionar dónde colocar el electrodo de retorno para lograr que la corriente fluya alejada del corazón y del dispositivo.
- Por ninguna razón hacer que el electrocauterio entre en contacto con el dispositivo. La distancia mínima recomendada es de 15 cm; si es menor, debe ir a programación a modos asincrónicos antes del procedimiento.

(Pavlović, 2018)

Soporte de frecuencia cardíaca y cardiodesfibrilador externo

Debido a la posibilidad de una disfunción del marcapasos o del DAI en el intraoperatorio se recomienda disponer de lo necesario para estimulación transcutánea/desfibrilación, además en pacientes con alto riesgo de presentar episodios de alguna arritmia maligna y cuya posición en la mesa de cirugía impediría la aplicación de los electrodos rápidamente en caso de urgencia, los electrodos del desfibrilador deben ser colocados previo a la cirugía. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Agentes anestésicos

Durante la cirugía, se recomienda evitar los fármacos que produzcan fasciculaciones, tipo succinilcolina, ketamina o etomidato, porque la actividad eléctrica asociada con fasciculaciones miogénicas puede dar lugar a interferencias electromagnéticas.

La estimulación biventricular puede alargar el intervalo QT, por lo que altas dosis de halogenados, haloperidol y metadona (que también prolongan el segmento QT) se evitan, disminuyendo así la probabilidad de torsade de pointes.

Se recomienda evitar altas dosis de anestésicos vago-tónicos como dexmedetomidina y el fentanilo en pacientes con bradicardia debido al riesgo teórico de inducir dependencia del marcapasos.

La estimulación y la desfibrilación monopolar requieren que la carcasa del generador haga contacto con el tejido porque la armadura misma del DAI sirve como electrodo. Se debe tener cuidado cuando se utiliza el óxido nítrico, ya que, tiene la particularidad de acumularse en los espacios cerrados, construyendo un revestimiento gaseoso alrededor del dispositivo prepectoral, lo cual desencadena la pérdida del contacto y de su función de electrodo. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Consideraciones operatorias

El manejo posoperatorio de los pacientes con dispositivos electrónicos implantables cardíacos consiste principalmente en interrogar y restaurar la función del DECI. (Sepúlveda López et al., 2021)

Los consultores y miembros de la Sociedad americana de anestesiólogos brindan las siguientes recomendaciones:(Apfelbaum J. L et al., 2020)

1. Monitorizar continuamente la frecuencia y el ritmo cardíaco durante el período posoperatorio inmediato.
2. Para un DECI que se reprogramó antes o durante la operación, asegúrese de que el equipo de cardioversión y desfibrilación de respaldo esté disponible de inmediato hasta que se restablezcan los ajustes permanentes.

3. Si un DECI se reprogramó antes o durante la operación, se debe restaurar el dispositivo a su configuración permanente antes de que el paciente sea dado de alta de un entorno monitoreado.
4. Si el interrogatorio determina que la configuración del DECI es inapropiada, hay que reprogramar el dispositivo a la nueva configuración adecuada.
5. Se debe realizar una interrogación posoperatoria sobre el DECI si se realizó una cirugía de emergencia, sin una evaluación preoperatoria adecuada del dispositivo.
6. Realizar una interrogación posoperatoria del DECI si existe la sospecha de que la terapia antitaquicardia podría haberse desactivado en lugar de suspenderse temporalmente con la colocación de un imán.
7. Si se produjo una interferencia electromagnética importante en las proximidades del DECI se debe realizar la interrogación posoperatoria del dispositivo.
8. Si se observó la administración de una terapia antitaquicardia o si existe preocupación por el mal funcionamiento del DECI se recomienda la revisión del dispositivo.

La interrogación postoperatoria del dispositivo electrónico implantable cardíaco puede no ser necesaria en situaciones de bajo riesgo (por ejemplo: interrogación preoperatoria adecuada del DECI, no se utilizaron dispositivos generadores de interferencias electromagnéticas durante el procedimiento, no se produjo reprogramación perioperatoria y no se identificaron problemas durante el procedimiento). (Schulman et al., 2013b)

En los pacientes estables que no requirieron reprogramación perioperatoria puede justificarse una interrogación después de que el paciente sea dado de alta. Hay que tener en cuenta que los consultores expertos y los miembros de Sociedad americana de anestesiólogos y la Asociación del ritmo cardíaco están de acuerdo en que el interrogatorio se realice dentro de los 30 días posteriores a un procedimiento.

La Sociedad Americana de Anestesiólogos establece que el interrogatorio posoperatorio podría ser innecesario si no se utilizó cauterio monopolar, no se transfundió sangre, se administró líquido limitado y no hubo problemas adversos. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Capítulo 7. Dispositivos de estimulación cardíaca y circunstancias especiales

Los procedimientos que utilizan electrocirugía, ablación por radiofrecuencia, litotricia, imágenes por resonancia magnética, radioterapia, o terapia electroconvulsiva pueden causar daños en los DECI o interferir con el funcionamiento, lo que podría provocar resultados no deseados, por lo que este capítulo describe las consideraciones generales y recomendaciones al momento de someter a un paciente con un DECI a los mismos.

Electrocauterio y anestesia

El electrocauterio es la fuente más común de interferencia eléctrica que puede interactuar con un DECI, teniendo como resultado la inhibición del generador de impulsos, quemaduras eléctricas en la interfaz del electrodo-miocardio, fallo del componente generador de impulso, reprogramación del ritmo o modo de funcionamiento y escape de la corriente de estimulación y en el caso de un cardiodesfibrilador esta interferencia eléctrica además puede ser detectada como una taquicardia ventricular o fibrilación ventricular causando una descarga no apropiada. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

La interferencia eléctrica generada por el electrocauterio, que puede afectar el dispositivo, está relacionada con la distancia y la orientación de la corriente para los electrodos y el dispositivo del paciente. Está demostrado que los dispositivos unipolares son más sensibles que los bipolares a la interferencia del electrocauterio, esto debido a que el flujo de la corriente eléctrica no se restringe al tejido interpuesto entre 2 electrodos y se extiende por todo el cuerpo. En la coagulación por electrocauterio bipolar, el flujo de la corriente está localizado entre los dos polos del instrumento y, por tanto, plantea problemas mínimos. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

El manejo de posibles fuentes de interferencias eléctricas asociadas con la electrocirugía incluye las siguientes recomendaciones: (Apfelbaum J. L et al., 2020)

1. Colocar el electrodo dispersivo de la unidad de electrocirugía de manera que la vía de corriente no pase cerca o a través del generador y los cables del DECI.
2. Evitar la proximidad de la corriente eléctrica del generador o los cables.
3. Usar ráfagas intermitentes e irregulares de electrocirugía monopolar a los niveles de energía más bajos posibles y la placa de retorno de la corriente debe estar posicionada de modo que el camino de la corriente no pase a través o cerca del generador de impulso o electrodos del dispositivo. Si es posible usar electrocirugía bipolar de preferencia.
4. Usar un sistema de bisturí eléctrico ultrasónico armónico.
5. No se recomienda aplicar profilácticamente un imán.
6. Si la electrocirugía monopolar está planificada por encima del ombligo en un paciente dependiente del marcapaso, se debe reprogramar el dispositivo a un modo de estimulación asincrónico y se debe suspender la función antitaquicardia en el caso de los pacientes portadores de un DAI.
7. Antes de suspender la función antitaquicardia de un desfibrilador cardioversor implantable, asegúrese de que el paciente se encuentra en un entorno monitorizado, además de tener disponible un desfibrilador externo. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Resonancia magnética (RM)

El potencial calentamiento del cable inducido por el campo magnético del dispositivo electrónico cardíaco implantable durante la realización de una RM puede provocar una lesión térmica del miocardio y cambios en las propiedades de estimulación.

El término resonancia magnética condicional se refiere a cualquier dispositivo para el cual un entorno de RM específico con condiciones de uso específicas no presenta un peligro conocido. (Chakravarthy et al., 2017)

En los pacientes con un DECI y que requieren de una RM, usualmente se evita debido a problemas de seguridad. Se sabe que la exposición a la RM conduce al cierre del interruptor magnético, la reprogramación del DECI, estimulación de alta

frecuencia inadecuada, daño del generador, lesión miocárdica y falla del cable o arritmias. (Arora & Inampudi, 2017)

En pacientes con dispositivos de RM no condicional, los parámetros de estimulación (batería, detección, impedancia, umbral) deben probarse antes de la resonancia magnética. Debe excluirse la presencia de derivaciones epicárdicas, fracturadas o abandonadas, ya que representan contraindicaciones absolutas para la RM. En la actualidad, numerosos estudios han demostrado que es posible y seguro utilizar la RM en la gran mayoría de los pacientes con un DECI incluso hasta tres Teslas, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones previamente descritas. (Pavlović, 2020)

Durante la RM en pacientes portadores de un DECI, debe desactivarse la respuesta al imán, las respuestas al ruido, a la detección ventricular, a la contracción ventricular prematura, a la fibrilación atrial y las funciones de taquiarritmia. Los pacientes dependientes de marcapaso deben ser programados para el modo VOO o DOO y los pacientes no dependientes para los modos VVI o DDI. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

La exposición a la RM tiene efectos en el DAI similares a los descritos para el marcapaso, porque algunos de los componentes básicos son comparables. Los DAI pueden detectar falsamente el campo de radiofrecuencia de la RM como una fibrilación ventricular, cargar los condensadores y transmitir una estimulación antitaquicardia, cardioversión o terapias de desfibrilación. Los dispositivos pueden no lograr administrar la terapia al DAI en el campo magnético estático, y el transformador del DAI estará magnéticamente saturado, y no tener el voltaje necesario para cargar el condensador y, por ende, conllevar al fallo permanente del dispositivo. Los campos magnéticos también pueden impedir la detección de una taquicardia ventricular o una fibrilación ventricular (en la tabla 9 se resume los riesgos potenciales de la RM en paciente con un DECI). (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

Tabla 9. Riesgos potenciales de la resonancia magnética en pacientes con dispositivos electrónicos cardíacos implantados.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Movimiento potencial del dispositivo, principalmente del generador (los cables no contienen una cantidad significativa de materiales ferromagnéticos), pero rara vez debido a la posición subcutánea ("bolsillo"). 2. Corriente eléctrica inducida en derivaciones que pueden desencadenar diferentes arritmias atriales o ventriculares. 1. Lesión térmica del miocardio debido a. la exposición a la energía de radiofrecuencia y el consiguiente calentamiento de los cables. 2. Fenómenos de interruptor de lengüeta: imitación de la colocación de un imán superficial en el dispositivo que da como resultado modo de estimulación asincrónica o inhibición de las terapias antitaquicardia. 7. La interferencia electromagnética provoca fenómenos de sobredetección y la posterior inhibición inapropiada de la estimulación o descargas inapropiadas. 8. Power-on-reset: modo de programación de respaldo que restablece el DECI (la variación depende del fabricante, tipo, etc.), causado por la interferencia electromagnética. 9. Artefactos de imagen. |
|---|

Pavlović, 2020.

Las recomendaciones generales para el paciente portador de un DECI que requiere de un estudio de imágenes por RM son las siguientes: Apfelbaum J. L et al., 2020)

1. Valorar riesgo-beneficio de la realización de la RM y la urgencia de la indicación clínica.
2. Obtener el consentimiento informado verbal y por escrito.
3. Antes de la realización de la RM se deben comprobar las funciones del marcapaso.
4. Un cardiólogo debe decidir si es necesario programar el marcapaso antes de la RM.
5. El personal de soporte avanzado en cardiología debe estar presente durante todo el examen y ha de estar disponible en la sala un carrito de paro cardíaco con desfibrilador.

6. Previo a la RM si el paciente es dependiente del marcapaso el DAI se debe cambiar la estimulación a un modo asincrónico, suspender la función antitaquicardia y programar el dispositivo electrónico implantable cardíaco en modo de imágenes por resonancia magnética.
7. El paciente debe ser monitorizado y debe mantenerse el contacto visual y verbal continuamente durante la RM.
8. Mover al paciente fuera del área de resonancia RM cuando se requiere el uso de un desfibrilador o un monitor externo.
9. Después del examen de RM, un cardiólogo / electro fisiólogo debe verificar el DECI para confirmar si la función es compatible con el estado anterior al examen.

Ablación por radiofrecuencia

Similar a la electrocirugía, la ablación por radiofrecuencia crea un circuito entre la punta del catéter y el parche de retorno. Los problemas comunes que suceden con frecuencia durante este procedimiento son la sobre detección, la infra detección y el restablecimiento del dispositivo. Por estos motivos la sociedad del ritmo cardíaco recomienda la interrogación del dispositivo después del procedimiento. (Arora & Inampudi, 2017)

Las recomendaciones para evitar las interferencias electromagnéticas asociadas con la ablación por radiofrecuencia implican principalmente evitar el contacto directo entre el catéter de ablación, el generador de impulsos y los cables, y también mantener la ruta de la corriente de radiofrecuencia lo más alejada posible del generador de impulsos y del sistema de cables. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Si la ablación por radiofrecuencia está planificada por encima del ombligo, la estimulación del marcapaso en pacientes dependientes se debe cambiar a un modo asincrónico, si el paciente porta un DAI se debe suspender la función antitaquicardia. (Apfelbaum J. L et al., 2020)

Radioterapia

La alta energía de la radiación ionizante usada en radioterapia puede causar daños significativos a los conductores de los DECI, incluso con dosis muy pequeñas. Generalmente, se necesitan dosis superiores a 5.000 rads para causar el mal funcionamiento del DECI, pero una dosis de solamente 1.000 rads puede originar alguna disfunción del dispositivo.

En los generadores de impulsos que fueron expuestos a la radiación, con pérdida transitoria de la función debe ser considerada como precursora de daño permanente. Debido a esto se considera fundamental seguir las recomendaciones para garantizar la dosis de radiación más baja posible para el DECI, y realizar un seguimiento cuidadoso durante y después de terminar de la radioterapia. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014), (Ulate Retana et al., 2021)

Recomendaciones generales:

1. Contactar con el servicio de cardiología para planificar el seguimiento del paciente durante el tratamiento de radioterapia.
2. Realizar una dosimetría en la que el DECI no se encuentre nunca incluido en el haz directo de los campos de tratamiento y evitar incluirlo en los campos de verificación si existiera esa posibilidad.
3. Si se sospecha de cualquier fallo en el funcionamiento del DECI, se debe consultar directamente con el servicio de cardiología para determinar de forma conjunta con los servicios de oncología radioterápica y radio física cómo proceder.
4. Se recomienda la evaluación del dispositivo cada semana, así como al finalizar la terapia, y cada dos meses durante los siguientes seis meses por el servicio de cardiología.
5. En caso de emergencia, debe haber disponible un equipo de marcapasos externo, personal capacitado para proceder a una reanimación cardiorespiratoria y personal especializado del servicio de cardiología que se pueda presentar en diez minutos desde el aviso de la emergencia. (Martín, 2012)

6. Se sugiere la recolocación del dispositivo si este va a interferir en la dosis de radiación que debe recibir el tumor. Estudios dosimétricos han reportado alteraciones en la dosis recibida de hasta un 20% en los tejidos circundantes inmediatos al dispositivo.
7. Durante la sesión de radioterapia en pacientes con DAI, se debe desactivar la función de terapia anti aquicardia.
8. Cuando el paciente va a recibir terapias de dos a diez Gray y mayores de diez fones, y dependencia a marcapasos se recomienda, colocar el marcapasos en modo asincrónico, realizar monitoreo y disponer de equipo para manejo de paro cardíaco. (Ulate Retana et al., 2021)

Terapia electroconvulsiva

La TEC es relativamente segura para los pacientes con marcapasos, porque aplica estimulación eléctrica local en la cabeza. Por lo que se considera poco probable que aparezcan problemas. Cuando ocurren episodios de convulsión puede generar miopotenciales que causen la inhibición del marcapaso y provocar anomalías transitorias en el electrocardiograma (por ejemplo: aumento de la amplitud de la onda P, forma alterada del QRS y anomalías en la onda T y en el segmento ST). También se ha descrito la aparición de arritmias o isquemia miocárdica en pacientes con enfermedad cardíaca preexistente.

Durante la terapia electroconvulsiva las funciones del DAI deben ser desactivadas, suspendiendo las funciones antitaquicardia. Debe estar disponible un equipo de monitorización y reanimación, además de un programador con experiencia; en el caso de un paciente portador de un marcapaso y dependiente de este, se recomienda la reprogramación al modo asincrónico para evitar la inhibición del dispositivo. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

Litotricia

Se desarrolló en 1980 la litotricia extracorpórea por ondas de choque y desde entonces se ha convertido en un procedimiento importante para el tratamiento de cálculos en las vías urinarias. En la actualidad la energía se libera generalmente con

activación en la onda R y suministro de pulso en la fase refractaria, lo que se denomina activación.

La administración de pulsos también puede ser no sincronizada, es decir, sin activación de ondas R, pero esta variante se asocia con un riesgo de aproximadamente 20 % de arritmia cardíaca en pacientes adultos.

En los pacientes portadores de un DECI se ha identificado que las ondas de choque de la litotricia extracorpórea pueden causar sobre detección de ondas de choque, ocasionando una inhibición del marcapasos, suministro de terapias antitaquicardia inapropiadas, activación de la respuesta de frecuencia, reinicio de encendido y, en casos individuales, también daños graves mecánicos al dispositivo. (Czermak & Fichtner, 2019)

El punto focal del litotriptor debe ser mantenido por lo menos a 15 cm del DECI, inicialmente se pueden usar ondas de descarga bajas, seguidas de un aumento gradual del nivel de energía. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014)

Se recomienda que el paciente esté monitorizado continuamente por telemetría, en donde un médico y un técnico capacitados deben estar presentes para la desfibrilación de emergencia o la estimulación temporal si es necesario. La litotricia por ondas de choque debe interrumpirse de inmediato cuando se desarrolla una arritmia significativa y debe notificarse al cardiólogo. (Arora & Inampudi, 2017)

Cauterización eléctrica endoscópica

Cápsula endoscópica

Aunque se ha sugerido que puede haber un riesgo teórico de IEM con la cápsula endoscópica, las guías europeas y una revisión de la literatura disponible no han mostrado evidencia de riesgo clínico. (H. Thomas et al., 2022)

Neumología intervencionista

Los procedimientos y modalidades como la terapia con láser, la coagulación con plasma de argón, el electrocauterio y la broncoscopia de navegación electromagnética se realizan cada vez con más frecuencia. Estos procedimientos

usan calor y energía eléctrica y pueden producir un campo electromagnético que puede generar interferencias electromagnéticas y afectar el funcionamiento del DECI.

El electrocauterio durante la broncoscopia tiene dos modos principales de suministro de corriente: monopolar y bipolar. En la configuración monopolar, la entrada de corriente es suministrada por el instrumento de cauterización y sale a través del electrodo de "tierra", que generalmente se coloca en algún lugar del cuerpo. En la configuración monopolar, la corriente tiene que pasar a través de una gran superficie corporal y puede causar una interferencia importante. En el caso de un DAI pueden interpretar falsamente la interferencia eléctrica como una taquiarritmia y provocar una descarga innecesaria.

En el modo bipolar los electrodos de entrada y salida están ubicados en la punta del instrumento de cauterización, lo que permite un campo de interferencia eléctrica muy estrecha.

La broncoscopia de navegación electromagnética está contraindicada en pacientes con un DECI debido al campo electromagnético que crea alrededor del paciente pudiendo ocasionar un mal funcionamiento del estimulador cardíaco. Para los procedimientos que se realizan próximos al DECI, se recomienda una reprogramación temporal. (Barmore et al., 2022)

Procedimientos dentales y limpieza ultrasónica

Existe evidencia contradictoria con respecto a las posibles interacciones entre los DECI y una variedad de dispositivos dentales. No existen directrices nacionales o internacionales claras. Los informes se han basado en gran medida en estudios in vitro de personas con un DECI de generaciones anteriores y en equipos dentales de generaciones anteriores.

Los nuevos dispositivos cardíacos están diseñados para minimizar los efectos de las interferencias electromagnéticas. La evidencia actual sugiere que es poco probable que, de los raspadores ultrasónicos, los localizadores de ápices, los probadores pulpaes y los taladros con una separación de al menos 15 cm

representen algún riesgo clínico para los pacientes con un DECI. El operador debe mantener el cable alejado del paciente. Además, el uso de los dispositivos de r afagas cortas minimiza cualquier riesgo potencial.

Los pacientes con alg un tipo de estimulador card ıaco deben ser monitorizados de cerca durante los procedimientos dentales. Si ocurre interferencia electromagnética y provocara la inhibición del marcapasos y causara alg un síntoma, o si el dispositivo emite un pitido o vibrara, se debe suspender inmediatamente el uso del instrumento dental, y al alejarlo del paciente, permite que se reanude el funcionamiento normal del dispositivo. Por lo tanto, si el uso de alg un dispositivo dental proporciona beneficios sustanciales para el resultado dental de la persona, es probable que esto supere cualquier pequeño riesgo teórico. (H. Thomas et al., 2022)

Sistemas magnéticos de anclaje y guiado

Los sistemas de guía y anclaje magnéticos se utilizan en procedimientos quirúrgicos laparoscópicos y endoscópicos para proporcionar tracción y control en el entorno quirúrgico utilizando un imán externo para manipular un instrumento colocado internamente.

Estos sistemas requieren el uso de un potente imán externo. No hay datos directos del efecto de estos sistemas en los DECI, pero es probable que la terapia del dispositivo se vea afectada por el propio imán además de posibles interferencias electromagnéticas. Los fabricantes del sistema afirman que la presencia de un DECI es una contraindicación para su uso. En pacientes seleccionados, puede ser posible programar un dispositivo para mitigar parte de este riesgo, pero en general, estos sistemas magnéticos no se recomiendan en personas con un DECI. (H. Thomas et al., 2022)

Capítulo 8. Recomendaciones para cardioversión o desfibrilación de emergencia

El paciente con un DECI durante el período perioperatorio puede requerir desfibrilación externa de emergencia o cardioversión. En este caso, una preocupación es minimizar la corriente que fluye a través del generador de impulsos y los cables. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

Cardioversión

Se informan umbrales de estimulación y detección aumentados, generalmente transitorios. La cardioversión parece tener efectos adversos mínimos en los sistemas de marcapasos, si se observan las siguientes reglas: use cables bipolares, use una posición de electrodo anteroposterior en lugar de una configuración anteroanterior (ver figura 25) y coloque los electrodos lo más lejos posible del marcapasos (al menos 10 cm de distancia). Después de la cardioversión, se debe interrogar al dispositivo. (Arora & Inampudi, 2017)

Desfibrilación externa

La reanimación, en caso de parada cardíaca, debe realizarse de la misma forma que si no existiera el dispositivo. Esto es independiente de la función a la que fue programada del dispositivo en el momento del paro cardíaco. (Poveda-Jaramillo et al., 2017)

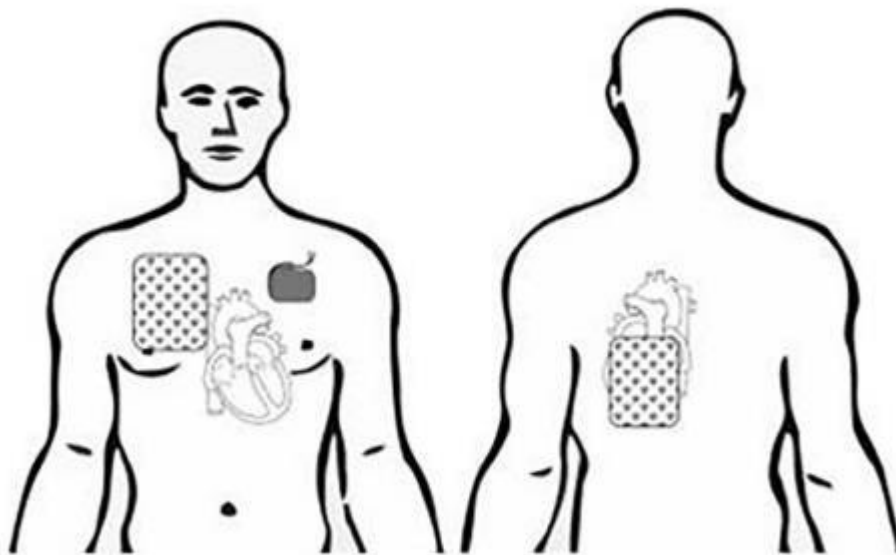
La desfibrilación externa, a través de la entrega de una gran cantidad de energía eléctrica cerca del dispositivo, a veces puede causar respuestas anormales, lo que resulta en la activación del modo 'back up' o 'reset'. Los marcapasos modernos tienen mecanismos de protección contra daños causados por descargas de un desfibrilador automático implantable.

Antes de intentar la cardioversión o la desfibrilación de urgencia en un paciente con DAI y terapias imán-desactivadas se recomienda que todas las fuentes de interferencias deben ser clausuradas y el imán retirado para reactivar las terapias antitaquicardia y entonces considerar la reactivación de terapias a través de la programación.

Si las actividades anteriores no logran restaurar la terapia anti taquicardia del cardioversor implantable, o si la terapia antitaquicardia no se puede restaurar rápidamente, realice una cardioversión externa de emergencia o una desfibrilación cuando sea necesario, se debe usar una salida de energía clínicamente adecuada independientemente de la presencia del dispositivo electrónico implantable cardíaco. (Rapsang & Bhattacharyya, 2014) (Apfelbaum J. L et al., 2020)

No existe un riesgo significativo para alguien que realiza reanimación cardiopulmonar o toca a la persona si se administra una descarga mediante un DAI. Si se necesita una descarga externa en una persona con un dispositivo implantable, los parches de desfibrilación deben colocarse lo más lejos posible del dispositivo, e idealmente en la posición anteroposterior. La energía de la desfibrilación externa puede dañar un dispositivo implantable, por lo que, si el intento de reanimación tiene éxito, el dispositivo debe interrogarse posteriormente para confirmar su funcionamiento. (Glikson et al., 2022)

Figura 25. Posicionamiento recomendado de los parches de desfibrilación en personas con dispositivos implantables.



H. Thomas et al., 2022.

Discusión

Los anestesiólogos deben tener un conocimiento general de las funciones, indicaciones de implantación y procedimientos perioperatorios que pueden alterar el funcionamiento de estos dispositivos debido a que el número de DECI aumentará a medida que aumente el número de pacientes que tengan indicaciones para la colocación de los mismos.

Los dispositivos electrónicos cardíacos implantables son aparatos con tecnología moderna incorporada, en el caso de los marcapasos cumplen una función importante al proveer el estímulo eléctrico para la contracción secuencial y ordenada de las cámaras cardíacas, en pacientes en donde la generación o la conducción del impulso es anormal, los resincronizadores cardíacos tienen el objetivo de conseguir una mayor sincronía en la contractilidad ventricular en pacientes en donde esta función se ha deteriorado, esto se logra mediante la estimulación de ambos ventrículos, y los DAI son dispositivos de estimulación cardíaca con estructura y componentes similares a un marcapasos tradicional, con funciones para el diagnóstico de la taquicardias y su tratamiento, específicamente mediante la cardioversión o desfibrilación según sea necesario.

Los pacientes que portan un DECI se deben considerar con un alto riesgo de presentar eventos cardiovasculares debido a la potencial inestabilidad eléctrica o la patología de base que motivó la implantación. Uno de los factores más importantes que pueden afectar el funcionamiento de un DECI es la interferencia electromagnética, en un marcapasos o resincronizador cardíaco podría producir actividad eléctrica externa que puede ser censada por el dispositivo como actividad cardíaca intrínseca, y de esta manera inhibir la estimulación del marcapasos y generar una asistolia en un paciente dependiente del dispositivo, además también podría causar fallo permanente de la función del marcapasos, reprogramación inapropiada, entre otras cosas, mientras que en el caso de los pacientes que portan un DAI la interferencia electromagnética puede ser censada como una taquicardia ventricular o una fibrilación ventricular, instaurando una estimulación antitaquicardia o un shock desfibrilador indebido.

Es posible la colocación de un imán para convertir estos dispositivos a un modo de estimulación asincrónico y de esta manera impedir que actividad eléctrica externa afecte el funcionamiento, únicamente los marcapasos sin cables no presentan respuesta alguna al uso del imán. En el caso de un marcapasos o un resincronizador cardíaco, el modo asincrónico cancela la función de censado y, por lo tanto, produce una estimulación según lo programado sin tomar en cuenta el ritmo propio del paciente.

En el caso de un DAI, al colocar el imán se cancela la función de censado, por lo tanto, si se presentara una taquicardia ventricular o una fibrilación ventricular no serían detectadas, por este motivo cuando se inactive esta función es necesario tener fácil acceso a un desfibrilador externo, preferiblemente colocar los parches de desfibrilación previo a la cirugía en una localización anteroposterior y lejos del estimulador cardíaco, además al colocar un imán en este tipo de dispositivo la función de marcapasos no se verá afectada, es decir, no cambia a un modo de estimulación asincrónica, por lo tanto, podría generar problemas en pacientes que son dependientes de esta función. Es importante conocer que no todos los dispositivos responden de igual manera al imán, incluso la función de respuesta al imán puede ser desactivada por un programador. Las recomendaciones actuales indican que por lo antes mencionado el imán no debe ser colocado de forma rutinaria en todos los pacientes portadores de un DECI, sin embargo, en situaciones en donde no se reprograma el dispositivo, ya sea por el bajo riesgo de interferencias electromagnéticas o por procedimientos de emergencia es obligatorio tener disponible un imán.

Existen guías desarrolladas por la Sociedad Europea de Cardiología (actualizada en el 2021), guía de la American Society of Anesthesiologists (actualizada el 2020) y la guía de la British Heart Rhythm Society (actualizada en el 2022) que ayudan a tomar conductas en el perioperatorio. En general, en las cirugías que involucran riesgo de interferencia electromagnética y en donde el sitio del procedimiento es superior al ombligo en pacientes dependientes del marcapasos, con terapia de resincronización cardíaca o son portadoras de un DAI van a requerir

reprogramación del dispositivo. En situaciones en donde la cirugía es inferior al ombligo independientemente de que el paciente sea dependiente o no de la estimulación del marcapaso no va a requerir reprogramación, en el caso de un DAI es razonable no realizar la desactivación, sin embargo, se recomienda vigilar que no exista inhibición de la función del marcapaso o terapias inadecuadas en pacientes con cardiodesfibriladores.

En cuanto a los procedimientos como resonancia magnética, terapia electroconvulsiva, ablación por radiofrecuencia, radioterapia, litotricia entre otros, se recomienda desactivar las funciones del DAI y en pacientes dependientes del marcapaso cambiar a un modo de estimulación asincrónico, sin embargo, debido a consideraciones más específicas de cada uno, en general se requiere la valoración previa por electrofisiología, en donde se determinan los ajustes y seguimientos que requiere el dispositivo.

Para un DECI que se reprogramó antes o durante la operación, en el periodo posoperatorio se debe continuar la monitorización, hasta que se restaure a la configuración permanente del dispositivo, además se debe asegurar de contar con equipo de cardioversión y desfibrilación de respaldo disponible.

En general, para los anestesiólogos involucrados en la atención del paciente portador de un DECI, adquirir una base de conocimientos y desarrollar un enfoque sistemático para estos pacientes garantiza una atención perioperatoria segura y eficiente.

Conclusiones

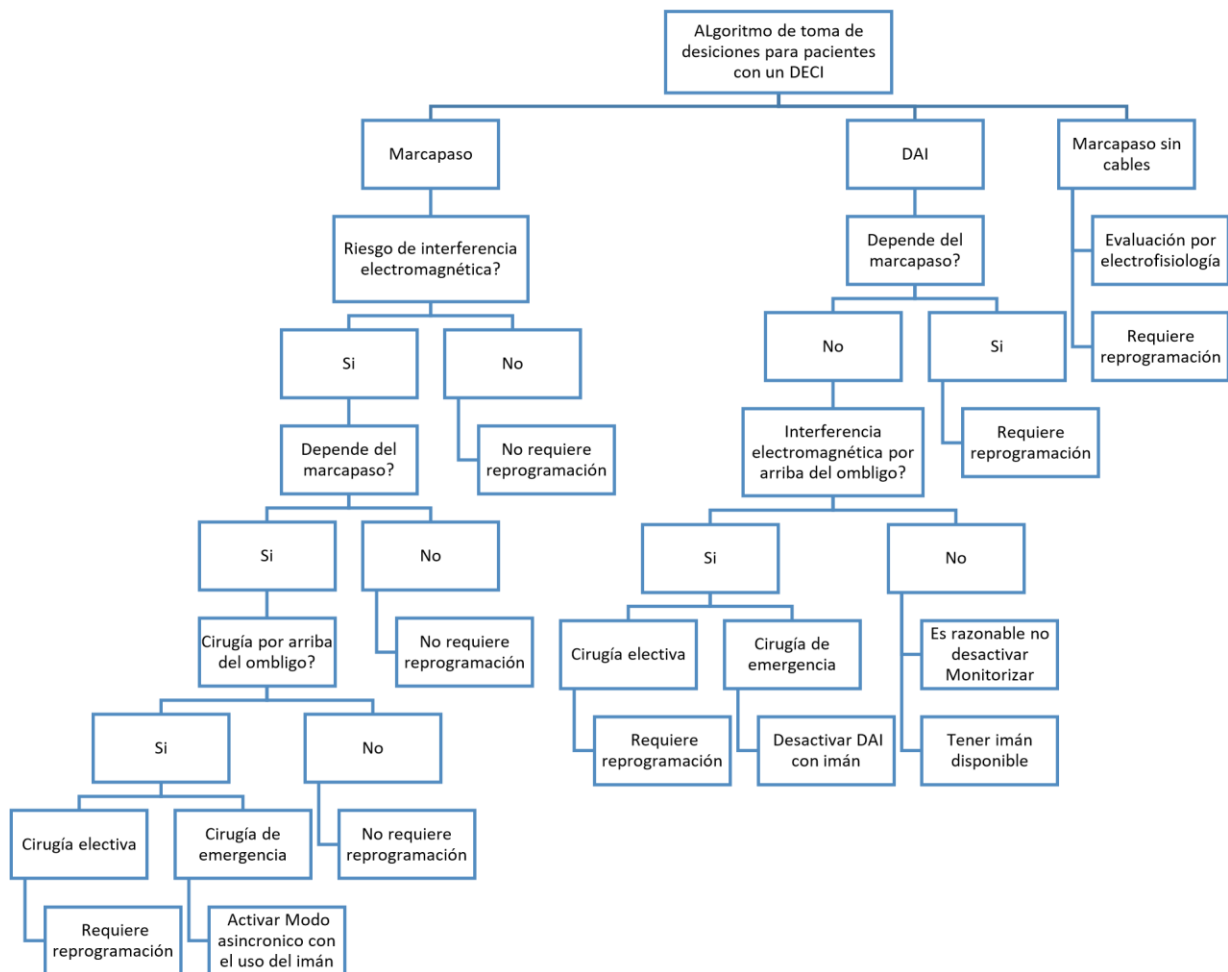
1. Conocer la anatomía y fisiología del sistema de conducción cardíaca, así como los mecanismos patológicos de las bradiarritmias, permiten entender por qué cada vez es más frecuente encontrarse con pacientes que requieren de un DECI.
2. Obtener una base de conocimientos que incluya la comprensión de la función básica de los DECI y las indicaciones para la implantación de cada tipo de dispositivo, permite la creación de un plan de manejo adaptado a cada paciente y su cirugía.
3. Para evitar complicaciones perioperatorias relacionadas con los DECI, se debe determinar qué tipo de DECI porta el paciente, quién es el fabricante, cuál fue la indicación, evaluar la dependencia al marcapasos, verificar el último historial de seguimiento del dispositivo, riesgo de interferencia electromagnética y valorar la necesidad de una reprogramación preoperatoria realizada por electrofisiología.
4. En la mayoría de los marcapasos, la aplicación del imán causa una estimulación asincrónica a una frecuencia y un retraso atrioventricular fijo. En el caso de los DAI, el imán suspenderá la terapia anti taquicardia y la terapia de choque, pero no tendrá ningún efecto sobre la estimulación antibradicardia.
5. En general, en las cirugías que involucran riesgo de interferencias electromagnéticas y en donde el sitio del procedimiento es superior al ombligo en pacientes dependientes del marcapasos, con TRC o un DAI, van a requerir reprogramación del dispositivo, y en los procedimientos por debajo del ombligo, es razonable no realizar la desactivación del DAI o reprogramación del marcapasos, sin embargo, se recomienda tener disponible un imán en caso que se requiera su uso en caso de emergencia.
6. Para los entornos no quirúrgicos en donde se realizan distintos procedimientos como: litotricia, procedimientos gastroenterológicos con electrocirugía, ablación por radiofrecuencia, resonancia magnética, radioterapia y terapia electroconvulsiva debido a las consideraciones específicas de cada una

hace que requieran la valoración previa por electrofisiología, en donde se determina los ajustes y seguimientos que requiere el dispositivo.

7. Es necesario asegurar de que el equipo temporal de desfibrilación y marcapasos transcutáneos esté disponible antes, durante y después de todos los procedimientos con riesgo potencial de interferencia electromagnética.

8. El manejo posoperatorio de los pacientes con un marcapaso, un resincronizador cardíaco o un DAI consiste principalmente en monitorizar, interrogar y restaurar la función del dispositivo electrónico implantable cardíaco a la configuración permanente.

Ficha técnica



Referencias bibliográficas

- Alexanderson, E. y Gamba A., G. (2014). *Fisiología cardiovascular, renal y respiratoria*. El manual moderno S.A de C.V.
- Apfelbaum J. L, Schulman, P. M. et al. (2020). Practice Advisory for the Perioperative Management of Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices: Pacemakers and Implantable Cardioverter–Defibrillators 2020. *Anesthesiology*, 132(2), 225-252. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002821>
- Arguedas-Jiménez, H. (2021). *Registro Costarricense de Resincronizadores, Desfibriladores Automáticos y Marcapasos Endovasculares (RECORDAME). I Informe oficial de la Comisión de Electrofisiología de la Asociación Costarricense de Cardiología (2019-2020)*. 23.
- Arora, L. y Inampudi, C. (2017). Perioperative management of cardiac rhythm assists devices in ambulatory surgery and nonoperating room anesthesia. *Current Opinion in Anaesthesiology*, 30(6), 676-681. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000532>
- Aversa, E., Delgado Elías, L. M., Chirife, R., Marotta De Aguilar, N., Lettieri, L., Elencwajg, B. D., López Cabanillas, N. H. y Jurado Grisales, J. C. (2019). Evaluación hemodinámica no invasiva a largo plazo de la terapia de resincronización cardiaca endocárdica izquierda. *Revista Argentina de Cardiología*, 87(6), 434-440. <https://doi.org/10.7775/rac.es.v87.i6.14991>
- Ball, C. M. y Featherstone, P. J. (2019). The early history of cardiac pacing. *Anaesthesia and Intensive Care*, 47(4), 320-321.

<https://doi.org/10.1177/0310057X19860986>

Barmore, W., Patel, H., Voong, C., Tarallo, C. y Jr, J. B. C. (2022). Effects of medically generated electromagnetic interference from medical devices on cardiac implantable electronic devices: A review. *World Journal of Cardiology*,

14(8), 446-453. <https://doi.org/10.4330/wjc.v14.i8.446>

Barold, S. S. y Herweg, B. (2014). The effect of hyperkalaemia on cardiac rhythm devices. *Europace*, 16(4), 467-476. <https://doi.org/10.1093/europace/eut383>

Bayés de Luna, A. (2012). *Electrocardiografía clínica* (Wiley-Blackwell, 2012.).

Bera, D., Dhumale, S. D., Kar, A. y Bhattacharyya, D. (2021). Magnet induced elusive ventricular loss of capture in a dual-chamber pacemaker: What is the mechanism? *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 32(9), 2555-2557. <https://doi.org/10.1111/jce.15187>

Bolao, I. G. (2007). *Resincronización cardíaca*.

Burri, H., Starck, C., Auricchio, A., Biffi, M., Burri, M., D'Avila, A., Deharo, J.-C., Glikson, M., Israel, C., Lau, C.-P., Leclercq, C., Love, C. J., Nielsen, J. C., Vernoooy, K., Reviewers:, Dagres, N., Boveda, S., Butter, C., Marijon, E., ... Martins Oliveira, M. (2021). EHRA expert consensus statement and practical guide on optimal implantation technique for conventional pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: Endorsed by the Heart Rhythm Society (HRS), the Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), and the LatinAmerican Heart Rhythm Society (LAHRS). *EP Europace*, 23(7), 983-1008. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa367>

Chakravarthy, M., Prabhakumar, D. y George, A. (2017). Anaesthetic consideration in patients with cardiac implantable electronic devices scheduled for surgery.

- Indian Journal of Anaesthesia*, 61(9), 736.
https://doi.org/10.4103/ija.IJA_346_17
- Crea, P. y Nicotera, A. (2020). Magnet response in Biotronik pacemakers: Keep attention to default mode "Auto". *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 43(7), 770-770. <https://doi.org/10.1111/pace.13970>
- Cronin, B. y Essandoh, M. K. (2018). Update on Cardiovascular Implantable Electronic Devices for Anesthesiologists. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 32(4), 1871-1884.
<https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.09.007>
- Czermak, T. y Fichtner, S. (2019). Kardiale implantierbare elektronische Devices: Elektromagnetische Interferenzen bei Elektrokauterisation, Lithotripsie und Physiotherapie. *Herzschrittmachertherapie + Elektrophysiologie*, 30(2), 168-176. <https://doi.org/10.1007/s00399-019-0620-4>
- Hayes, D. L., Asirvatham S. J. y Friedman, P. A. (2021). *Cardiac Pacing, Defibrillation and Resynchronization: A Clinical Approach* (4th edición). WileyBlackwell.
- Gutiérrez S., O. (2012). *Cómo interpretar electrocardiogramas de pacientes con marcapasos cardíacos* (1 edición).
- Fernández, E. y Blanco Vidal, M. (2019). *Nociones de estimulación cardíaca*. GS1 Global Office.
- García, A. R. (2023). *Desfibrilador automático implantable y marcapasos. Módulo 3*.
- Glikson, M., Nielsen, J. C., Kronborg, M. B., Michowitz, Y., Auricchio, A., Barbash, I. M., Barrabés, J. A., Boriani, G., Braunschweig, F., Brignole, M., Burri, H., Coats, A. J. S., Deharo, J.-C., Delgado, V., Diller, G.-P., Israel, C. W., Keren,

- A., Knops, R. E., Kotecha, D., ... Tolosana, J. M. (2022). Guía ESC 2021 sobre estimulación cardíaca y terapia de resincronización. *Revista Española de Cardiología*, 75(5), 430.e1-430.e86. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.10.025>
- Gómez-Flores, J. y Márquez, M. F. (2010). *Mirowski, his cardiological training at the Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez and the implantable cardioverter*.
- Guyton, A. y Hall, J. (2011). *Fisiología médica* (Duodécima). Elseiver España.
- Hernández Madrid, A., Escobar Cervantes, C., Blanco Tirado, B., Marín Marín, I., Moya Mur, J. L. y Moro, C. (2004). Resincronización cardíaca en la insuficiencia cardíaca: Bases, métodos, indicaciones y resultados. *Revista Española de Cardiología*, 57(7), 680-693. [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(04\)77169-9](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(04)77169-9)
- Jacob, S., Panaich, S. S., Maheshwari, R., Haddad, J. W., Padanilam, B. J. y John, S. K. (2011). Clinical applications of magnets on cardiac rhythm management devices. *Europace*, 13(9), 1222-1230. <https://doi.org/10.1093/europace/eur137>
- Launer, J. (2017). The first artificial pacemaker: The best thing since sliced bread? *Postgraduate Medical Journal*, 93(1105), 715-716. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2017-135368>
- Kenny, T. (2005). The nuts and bolts of cardiac pacing. En *The Nuts and Bolts of Cardiac Pacing* (pp. 7-17). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470750810.ch2>

- León-Romero, L. F., Fernández-Domènech, J. A., Yáñez-Guerrero, P., RuizGonzález, G., Gómez-Flores, J. R., Herrera-Orozco, J., & Nava, S. (2023). Guía para identificar características específicas en dispositivos de estimulación cardiaca mediante figura radiológica. *Archivos de Cardiología de México*, 93(2), 9994. <https://doi.org/10.24875/ACM.21000395>
- Lorenzo Ruiz, I. (2023). Longevity and potential reusability of cardiac implantable electronic devices explanted in funeral homes ^{Publisher}. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 46(7), 623-628. <https://doi.org/10.1111/pace.14703>
- Mackay, J. H. y Arrowsmith, J. E. (Eds.). (2012). *Core topics in cardiac anaesthesia* (2nd ed). Cambridge University Press.
- Martín, G. M. (2012). *Tratamiento de pacientes en radioterapia con marcapasos o desfibriladores automáticos implantables*.
- Oter Rodríguez, R., de Juan Montiel, J., Roldán Pascual, T., Bardají Ruiz, A. y Molinero de Miguel, E. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en marcapasos. *Revista Española de Cardiología*, 53(7), 947-966. <https://doi.org/10.1157/10486>
- Özkartal, T., Demarchi, A., Caputo, M. L., Baldi, E., Conte, G. y Auricchio, A. (2022). Perioperative Management of Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices and Utility of Magnet Application. *Journal of Clinical Medicine*, 11(3), 691. <https://doi.org/10.3390/jcm11030691>
- Pardo G., J., Lira Lp., G., Marrero M., R., Egger Z., J. y Jofré Sm., M. L. (2022). Implante de marcapasos sin cables. Caso Clínico. *Revista médica de Chile*, 150(8), 1108-1114. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872022000801108>

- Pavlović, N. (2018). Recommendations for Perioperative Management of Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices. *Acta Clinica Croatica*, 57(2). <https://doi.org/10.20471/acc.2018.57.02.22>
- Pavlović, N. (2020). Management of Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices Undergoing Magnetic Resonance Imaging – Proposal for Unified Hospital Protocol: Croatian Working Group on Arrhythmias and Cardiac Pacing. *Acta clínica Croatica*, 59. <https://doi.org/10.20471/acc.2020.59.01.14>
- Poveda-Jaramillo, R., Castro-Arias, H. D., Vallejo-Zarate, C. y Ramos-Hurtado, L. F. (2017). Manejo perioperatorio de los pacientes con dispositivos cardíacos electrónicos implantables. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación*, 64(5), 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2016.10.006>
- Rapsang, A. G. y Bhattacharyya, P. (2014). Marcapasos y desfibriladores automáticos implantables. Consideraciones generales y anestésicas. *Brazilian Journal of Anesthesiology (Edición en Español)*, 64(3), 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.bjan.es.2013.02.005>
- Reynolds, J. y Vega, R. (2015). *Marcapasos Cardíaco* (Universidad Simón Bolívar©). Mejoras
- Rodríguez García, J. y Coma Samartín, R. (2005). *Historia de la estimulación cardíaca eléctrica. Parte I. 11.*
- Salas-Segura, D. (2001). Apuntes sobre la historia del marcapaso cardíaco artificial. *Acta Académica*.
- Samii, S. M. (2015). Indications for Pacemakers, Implantable Cardioverter Defibrillator and Cardiac Resynchronization Devices. *Medical Clinics of North America*, 99(4), 795-804. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2015.02.008>

- Sapp, J. L., Parkash, R., Wells, G. A., Yetisir, E., Gardner, M. J., Healey, J. S., Thibault, B., Sterns, L. D., Birnie, D., Nery, P. B., Sivakumaran, S., Essebag, V., Dorian, P. y Tang, A. S. L. (2017). Cardiac Resynchronization Therapy Reduces Ventricular Arrhythmias in Primary but Not Secondary Prophylactic Implantable Cardioverter Defibrillator Patients: Insight From the Resynchronization in Ambulatory Heart Failure Trial. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*, 10(3), e004875. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.004875>
- Schulman, P. M., Rozner, M. A., Sera, V. y Stecker, E. C. (2013a). Patients with Pacemaker or Implantable Cardioverter-Defibrillator. *Medical Clinics of North America*, 97(6), 1051-1075. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2013.05.004>
- Schulman, P. M., Rozner, M. A., Sera, V. y Stecker, E. C. (2013b). Patients with Pacemaker or Implantable Cardioverter-Defibrillator. *Medical Clinics of North America*, 97(6), 1051-1075. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2013.05.004>
- Sepúlveda López, F. A., Jiménez Muñoz, L. M., Agudelo Uribe, J. F. y Castro Pérez, J. A. (2021). Patient with an implantable cardiac electrical stimulation device. What should the anesthesiologist know? *Colombian Journal of Anesthesiology*. <https://doi.org/10.5554/22562087.e976>
- Steffen, M. M., Osborn, J. S. y Cutler, M. J. (2019). Cardiac Implantable Electronic Device Therapy. *Medical Clinics of North America*, 103(5), 931-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2019.04.005>
- Thomas, H., Plummer, C. et al. (2022). *Guidelines for the peri-operative management of people with cardiac implantable electronic devices*.

- Ubee, S. S., Kasi, V. S., Bello, D. y Manikandan, R. (2011). Implications of Pacemakers and Implantable Cardioverter Defibrillators in Urological Practice. *Journal of Urology*, 186(4), 1198-1205. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2011.02.2697>
- Ulate Retana, A., Ibargüen Juste, B., Ulate Retana, A. y Ibargüen Juste, B. (2021). Enfermedad cardíaca inducida por radiación: Implicaciones prácticas en su prevención, diagnóstico y tratamiento. *Revista Costarricense de Cardiología*, 23(1), 12-20.
- Uribe A, W., Duque R, M. y Medina D, E. (2005). *Electrocardiografía y arritmias*.