

RESUMEN

Este artículo ofrece a los oncólogos radiólogos, cardiólogos y electrofisiólogos la información necesaria para ofrecer la atención óptima a pacientes con dispositivos cardíacos implantados que se estén sometiendo a tratamiento de radiación.

El artículo incluye lo siguiente:

- Posibles efectos de la radioterapia en los dispositivos implantados
- Recomendaciones clínicas y programación del dispositivo para la mitigación de riesgos
- Respuestas a preguntas frecuentes

Productos a los que se hace Referencia

Todos los DAI, TRC-D, TRC-P y sistemas de estimulación de BSC, y el sistema de seguimiento de pacientes LATITUDE®

Los productos a los que se hace referencia pueden no estar aprobados en todos los países. Para obtener información completa sobre el funcionamiento del dispositivo, consulte las instrucciones de uso completas en: www.bostonscientific.com/cardiac-rhythmresources/international-manuals.html.

PRECAUCIÓN: Las leyes solo permiten la venta de este dispositivo bajo prescripción facultativa. En el etiquetado del producto encontrará indicaciones, contraindicaciones, precauciones y advertencias.

Todos los gráficos han sido producidos por Boston Scientific Corporation, a menos que se especifique lo contrario.

TRC-D: Cardiac Resynchronization Therapy Defibrillator (Desfibrilador con tratamiento de resincronización cardíaca)
TRC-P: Cardiac Resynchronization Therapy Pacemaker (Marcapasos con tratamiento de resincronización cardíaca)
DAI: Implantable Cardioverter Defibrillator (Desfibrilador automático implantable)

Información de Contacto

Américas

(Caribbean, y Central, América del Norte y del Sur)

www.bostonscientific.com

Servicios Técnicos

Soporte Clínico para LATITUDE®

1.800.CARDIAC (227.3422)

+1.651.582.4000

Servicios a Pacientes

1.866.484.3268

Europe, Medio Oriente, África

Servicios Técnicos

+32 2 416 7222

eurtechservice@bsci.com

Soporte Clínico para LATITUDE

latitude.europe@bsci.com

Asia y el Pacífico

Servicios Técnicos

+61 2 8063 8299

aptechservice@bsci.com

Soporte Clínico para LATITUDE

latitude.asiapacific@bsci.com

japan.latitude@bsci.com (Japón)

© 2012 by Boston Scientific Corporation or its affiliates. All rights reserved.

Radiación terapéutica y dispositivos implantables

Muchas fuentes de radiación ionizante suelen utilizarse para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Estas fuentes pueden variar de forma significativa su impacto potencial en un dispositivo cardíaco implantado, como un marcapasos o un desfibrilador. Algunas fuentes de radiación terapéutica pueden interferir o dañar un dispositivo implantado, incluidas las utilizadas para tratar el cáncer, como el cobalto radioactivo, los aceleradores lineales, las semillas radioactivas y el betatrón. La mayoría de las herramientas diagnósticas, como las radiografías (rayos X) y la fluoroscopia, no se han identificado como fuentes de interferencia o daños para dispositivos. El impacto de la radiación ionizante cambia de un dispositivo implantado a otro y puede variar desde ningún cambio en el funcionamiento hasta una pérdida de la estimulación o de la terapia de desfibrilación.

Si un médico decide administrar radioterapia a pacientes con marcapasos, DAI, TRC-D y TRC-P, se necesita una planificación previa y precauciones extra, según se resume en la ficha técnica del producto del marcapasos y del desfibrilador. Antes del tratamiento de radiación terapéutica, el oncólogo radiólogo debe consultar al cardiólogo o electrofisiólogo del paciente para desarrollar estrategias específicas para cada paciente y así poder comprobar la salud del paciente y verificar el correcto funcionamiento del dispositivo durante y después de las sesiones de tratamiento radioactivo.

Factores que determinan el impacto de la radioterapia en dispositivos implantados

El impacto de la radiación terapéutica en dispositivos implantados es difícil de predecir. Muchos factores determinan conjuntamente el impacto de la radioterapia en dispositivos implantados. Estos factores incluyen:

- Tipo de dispositivo implantado
- Proximidad del dispositivo implantado al haz de radiación
- Tipo y nivel de energía del haz de radiación
- Orientación del haz al dispositivo implantado
- Frecuencia de la dosis
- Dosis total suministrada durante la vida útil del dispositivo
- Protección del dispositivo implantado
- Anatomía y fisiología del paciente
- Frecuencia de los tratamientos de radiación
- Terapias y diagnósticos concurrentes

Debido a esta variabilidad, no es posible especificar una dosis "segura" de radiación ni garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo después de la exposición a la radiación ionizante.

Impacto potencial de la radiación terapéutica en dispositivos implantados

La radiación terapéutica, incluidas las partículas dispersas, pueden tener un efecto negativo temporal en los componentes eléctricos de los dispositivos implantados, como el microprocesador o la memoria, lo que provoca una alteración temporal del funcionamiento del dispositivo. Asimismo, los crecientes efectos de la radiación en dosis suficientes (dosis total o frecuencia de la dosis) podrían provocar una degradación permanente del rendimiento por debajo de las especificaciones del dispositivo.¹

La exposición a la radiación podría provocar que el dispositivo experimentase uno o más de los efectos de funcionamiento descritos en la tabla 1. El impacto podría ser temporal o permanente.

Tabla 1. Posibles efectos en el funcionamiento del dispositivo (temporales o permanentes) debido a la exposición a la radiación		
DAI/ TRC-D	Marcapasos/ TRC-P	Posibles efectos en el funcionamiento del dispositivo (temporales o permanentes)
•	•	Estado alterado del dispositivo (p. ej. indicador de reemplazo electivo prematuro)
•	•	Salidas de estimulación alteradas (p. ej. menor amplitud de estimulación)
•	•	Inhibición de estimulación (terapia de estimulación no administrada cuando se necesita)
•		Descargas de taquiarritmia alteradas (p. ej. energía de descarga)
•		Inhibición de terapia de taquiarritmia (la terapia de descarga no se administra cuando se necesita)
•		Descargas inadecuadas (terapia de descarga administrada cuando no es necesaria)
•	•	Pérdida completa del funcionamiento del dispositivo
•		Reversión al modo de seguridad*
•	•	Pérdida de control remoto con el Sistema de Seguimiento de Pacientes LATITUDE®

*Estos modos (Modo de Seguridad, Safety Core o Modo de Reinicio), designados de forma conjunta como "Modo de Seguridad" en este artículo, se han diseñado para ofrecer terapia de descarga o estimulación de seguridad en algunas situaciones cuando no es posible el funcionamiento normal del dispositivo. El funcionamiento específico del dispositivo en estos modos varía según la familia del dispositivo. Si los modos de Reinicio y Seguridad están activados, se reinstaura el microprocesador desde la memoria de seguridad protegida. Safety Core utiliza un circuito de seguridad independiente en caso de que el microprocesador deje de funcionar. El uso de una memoria de solo lectura (ROM) hace que este modo de seguridad sea menos susceptible a los daños por radiación.

La memoria del dispositivo es el componente que más se puede ver afectado por la radiación terapéutica (bien por un haz directo o por partículas dispersas). Los dispositivos CRM de Boston Scientific incluyen comprobaciones de memoria de autodiagnóstico periódicas para localizar y corregir numerosos errores de memoria. Si el nivel de alteración de la memoria está por encima de la capacidad de los algoritmos de autocorrección, los dispositivos pueden entrar en el Modo de Seguridad; este modo está diseñado para ofrecer protección continua al paciente administrando estimulación y/o terapia de descarga básica. En otras situaciones, los efectos de la radiación pueden ser lo suficientemente dañinos como para que el Modo de Seguridad deje de estar disponible, provocando una pérdida de la terapia. Varias exposiciones a cualquier fuente de radiación ionizante durante la vida del dispositivo aumenta la probabilidad de impacto en su funcionamiento.

Consideraciones clínicas

Planificación previa

Antes del tratamiento de radiación terapéutica, el oncólogo radiólogo debe consultar al cardiólogo o electrofisiólogo del paciente para desarrollar estrategias específicas para cada paciente. Cuando se esté realizando un programa de tratamiento de radiación para pacientes con dispositivos implantados, el equipo médico debe considerar el mejor método para tratar la enfermedad del paciente y para proteger el dispositivo implantado del paciente. Es necesario comentar las estrategias para comprobar la salud del paciente y verificar el correcto funcionamiento del dispositivo durante y después de las sesiones de tratamiento radiactivo. Además, comentar el estado actual del paciente, incluido el estado de la enfermedad, el tipo de dispositivo implantado y la tolerancia a posibles interrupciones en el funcionamiento descritas anteriormente, permitirán optimizar el éxito del programa de terapia de radiación, a la vez que reduce el posible impacto al dispositivo implantado o al paciente.² Debe considerarse la posibilidad del reemplazo del dispositivo durante una planificación previa, ya que no se puede garantizar el funcionamiento del dispositivo después de la exposición a la radiación terapéutica.

Debe hacerse hincapié en la protección dentro del equipo de radiación y la optimización del campo de tratamiento, así como el foco, la dirección y el nivel de energía del haz principal. Puede calcularse una estimación de la dosis

absorbida a recibir por el dispositivo. No se puede especificar ningún límite de dosis total para una familia de dispositivos concretos debido a las variaciones que se listan más arriba; no obstante, por medio de estudios clínicos se ofrece alguna perspectiva de los efectos de la radiación ionizante desde la perspectiva clínica.^{2,3,4,5} Además, en algunos estudios clínicos se ofrece una dosis máxima total recomendada de 2 Grays al dispositivo implantado.^{2,5}

Protección

Para reducir la probabilidad de interacción con un haz principal o una radiación dispersa secundaria, considere la utilización de todas las opciones de protección disponibles, incluidas tanto la protección interna en el equipo de radiación como la protección externa para el paciente. La protección dentro del cabezal del aparato debe maximizarse y el haz principal no debe dirigirse directamente hacia el dispositivo implantado. Si no se puede mover el haz, el equipo médico puede considerar otras opciones según se describen en estudios publicados, tales como mover el dispositivo a un sitio diferente.^{2,5,6} El diseño del campo de tratamiento debe incluir la máxima protección sin tener en cuenta la distancia del haz principal, minimizando así los posibles efectos de partículas dispersas en el dispositivo.⁵

Atención del paciente durante la sesión de radioterapia

El equipo médico debe determinar el nivel más adecuado de control durante el tratamiento. Debido a que el estado médico y el tipo de dispositivo de cada paciente son diferentes, el cardiólogo o electrofisiólogo deben ofrecer al paciente recomendaciones específicas para fomentar la seguridad. Por ejemplo, un paciente dependiente de un marcapasos puede necesitar supervisión cardíaca continua durante cada sesión de tratamiento.²

Consideraciones de programación del dispositivo

Las consideraciones de programación se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Consideraciones de programación del dispositivo		
Productos	Posibles interacciones	Consideraciones de programación
DAI y TRC-D	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la terapia de estimulación • Terapia de descargas inadecuada • Inhibición de la terapia de descarga 	<p>Si se observa la inhibición de la estimulación, se puede utilizar un programador para iniciar la estimulación asíncrona temporal (VOO/AOO/DOO).</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Telemetría con pala: La pala debe permanecer colocada sobre el dispositivo implantado y la sesión debe supervisarse durante la estimulación asíncrona. ➤ Telemetría sin pala (RF ZIP™): La sesión de telemetría debe supervisarse. Cambie a telemetría con pala si fuera necesario. <p>Desactivar la terapia taqui.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Programe el Modo Taqui del dispositivo en Modo de Protección de Electrocauterio o Electrocauterio Off, si es aplicable. En estos modos, las características de detección de taquiarritmia y terapia están desactivadas, y el modo de estimulación cambia a un modo asíncrono (VOO, AOO o DOO). ○ ➤ Programe el dispositivo al Modo Taqui en Off o coloque un imán sobre el dispositivo para inhibir o desactivar temporalmente la terapia taqui*. El modo de estimulación antibradicardia permanece como se había programado. <p>NOTA: Vuelva a activar el Modo Taqui (Monitor + Terapia) después de la sesión.</p>
Marcapasos y TRC-P	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la terapia de estimulación 	<p>Se puede colocar un imán sobre el dispositivo para la estimulación asíncrona a la frecuencia del imán.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ <p>Se puede programar el dispositivo a un modo de estimulación asíncrona (VOO, AOO o DOO).</p>

NOTA: Si se realizaron cambios en la programación, deberá volverse a programar de nuevo el dispositivo a los valores deseados después del procedimiento.

NOTA: Si se está utilizando telemetría con pala durante la sesión, el programador debe estar situado lo más lejos posible del haz principal.

*La utilización de un imán depende de la disponibilidad de la opción y de la programación del dispositivo. Para obtener información adicional, consulte el artículo de **A Closer Look** sobre este tema.

Evaluación del funcionamiento del dispositivo después de las sesiones de radioterapia

Boston Scientific recomienda la evaluación del funcionamiento del dispositivo después del tratamiento radiactivo. La exhaustividad, el tiempo y la frecuencia de esta evaluación relativa al régimen de radioterapia depende del estado de salud actual del paciente, y por lo tanto debe determinarlo su cardiólogo o electrofisiólogo.

Un seguimiento exhaustivo postratamiento puede incluir:

- Interrogación del dispositivo con un programador
- Revisión de sucesos clínicos y códigos de errores
- Revisión del registro de arritmias, incluidos los electrogramas almacenados (EGM)
- Revisión de los EGM en tiempo real
- Comprobación, en todas las cámaras, del umbral de estimulación, la amplitud intrínseca y la impedancia del cable
- Reforma manual del condensador (solo para DAI y TRC-D) ‡
- Programación de cualquier ajuste Brady en los parámetros Brady permanentes y reprogramación posterior al valor deseado
- Programación del Modo Taqui con un valor nuevo y reprogramación posterior al valor deseado (solo para DAI y TRC-D)
- Realización de la acción Guardar todo en disco (ejercita sitios de la memoria adicionales)

Si se observan anomalías durante esta evaluación, póngase en contacto con el servicio técnico; los consultores pueden solicitar que se envíe el disco en el que se haya guardado todo para su análisis.

Si se realizaron cambios en la programación, deberá volverse a programar de nuevo el dispositivo a los valores deseados antes de dejar al paciente que abandone la clínica. **Volver a activar el Modo Taqui (Monitor + Terapia) en los DAI y TRC-D.**

La salud del paciente debe dictaminar el tiempo de las actividades de evaluación posterapia del dispositivo (por ejemplo, el tiempo de verificación de la estimulación adecuada es importante para un paciente dependiente de la estimulación). Muchos diagnósticos del dispositivo se realizan automáticamente cada hora, de manera que la evaluación del dispositivo no debe terminar hasta que se haya actualizado y revisado el diagnóstico del dispositivo (al menos una hora después de la exposición a la radiación).

Los efectos de la exposición a la radiación en el dispositivo implantado pueden no detectarse hasta algún tiempo después de la exposición. Por ejemplo, un mal funcionamiento debido a la exposición a la radiación puede no descubrirse hasta que se active una característica sin utilizar del dispositivo varios meses después de que haya terminado el régimen de radioterapia. Por este motivo, los médicos deben seguir supervisando de cerca el funcionamiento del dispositivo y tener cuidado al programar una característica después de la radioterapia.

‡El impacto en la vida útil de las reformas manuales del condensador varía según el dispositivo como se describe en la ficha técnica del producto, y varía entre 5 y 19 días por reforma del condensador.

Preguntas frecuentes

- P1. ¿Por qué Boston Scientific no indica un nivel de dosis de radiación que pudiera considerarse “seguro”?**
- R1. No es posible especificar una dosis segura de radiación ni garantizar el correcto funcionamiento del generador de impulsos después de la exposición a la radiación ionizante. Muchos factores determinan conjuntamente el impacto de la radioterapia en un generador de impulsos implantado, incluida la proximidad del generador de impulsos al tipo y nivel de energía del haz de radiación, la frecuencia de la dosis y la dosis total suministrada durante la vida útil del generador de impulsos, y la protección de este. El impacto de la radiación ionizante también será distinto de un generador de impulsos a otro y puede variar desde ningún cambio en el funcionamiento hasta una pérdida de la estimulación o de la terapia de desfibrilación.
- Es teóricamente posible indicar un nivel de dosis que pudiera provocar daños permanentes en los circuitos de hardware. No obstante, la alteración aleatoria de la memoria del dispositivo o de los componentes eléctricos por partículas dispersas (en lugar de daño físico permanente) es un tema más adecuado para dispositivos modernos y es difícil de predecir según el nivel de dosis.³ Las precauciones para reducir las partículas dispersas (protección, foco del haz, selección del nivel de energía, diseño del campo de tratamiento, etc.) pueden reducir significativamente la probabilidad de impacto en la memoria del dispositivo. Algunos dispositivos son susceptibles a otras fuentes de radiación que no se originan como partículas dispersas. Concretamente, los neutrones térmicos pueden generarse mediante aceleradores lineales y pueden afectar de manera adversa el funcionamiento del dispositivo.^{4,10} Ya que es imposible protegerse completamente de la radiación ionizante, los dispositivos siempre serán susceptibles en alguna medida a los efectos de esta, independientemente del nivel de energía seleccionado o de la distancia con respecto del haz principal.
- P2. Si no se puede estimar un nivel de dosis de radiación “seguro”, ¿se puede al menos estimar una distancia “segura” desde el haz principal?**
- R2. No. A pesar de la distancia y de las oportunidades de protección, puede seguir existiendo la posibilidad de que la radiación afecte el dispositivo,² y deben tomarse todas las precauciones bajo todas las circunstancias, independientemente de la distancia desde el sitio de implantación hasta donde se encuentre el haz. La probabilidad de que las partículas de radiación interrumpan el funcionamiento del dispositivo se reduce rápidamente al aumentar la distancia entre la zona del implante y el haz principal. Es más probable que la radiación para el tratamiento de cáncer de próstata, por ejemplo, afecte a un dispositivo situado en el abdomen que a uno implantado en la región pectoral.
- P3. ¿Qué debe hacerse si el dispositivo implantado está situado en la zona inmediata que se vaya a irradiar?**
- R3. Se recomienda consultar con el cardiólogo o electrofisiólogo del paciente. El equipo médico puede considerar mover el dispositivo a otro sitio antes de las sesiones de radiación.^{5,6} No obstante, el dispositivo también puede estar sujeto a daños por radiación en su nueva ubicación. El equipo médico puede preferir alterar el diseño del tratamiento y aumentar al máximo la protección, y después reemplazar el dispositivo dañado solo una vez, después de que termine el régimen de radioterapia.
- P4. ¿Pueden los diagnósticos de autocomprobación detectar y corregir todos los modos de fallos inducidos por la radiación?**
- R4. No. Como se ha mencionado anteriormente, se encuentran y se corrigen muchas alteraciones menores de la memoria sin que afecte al funcionamiento del dispositivo. Las alteraciones más importantes de la memoria se identifican frecuentemente mediante comprobaciones de autodiagnóstico, pero pueden estar fuera del alcance de los algoritmos de corrección automática. Es posible que una alteración temporal de los componentes electrónicos o un fallo de hardware permanente pueda evitar la detección y la acción correctora (como la reparación de la memoria o la ejecución del Modo de Seguridad). En dicho caso, los diagnósticos, la terapia y/o la telemetría podrían no funcionar. Las ubicaciones y la cantidad de componentes dañados determinarán el efecto en el funcionamiento del dispositivo.
- P5. ¿Todos los dispositivos de Boston Scientific/Guidant que tienen la memoria afectada vuelven al Modo de Seguridad?**
- R5. No. También cabe la posibilidad de daños permanentes al dispositivo, y el equipo médico puede considerar esta posibilidad durante el diseño del protocolo del tratamiento y las evaluaciones del dispositivo después del tratamiento.
- P6. ¿Qué debe hacerse cuando se encuentra un dispositivo en Modo de Seguridad?**
- R6. Cuando los dispositivos están en Modo de Seguridad pueden continuar administrando estimulación básica o terapia de descarga, estos dispositivos deberían reemplazarse cuando el médico lo considere clínicamente adecuado para el paciente. Fallos como una limitación en la programación o la pérdida completa de la interrogación/programación y características de diagnóstico pueden hacer que el cardiólogo o el electrofisiólogo recomienden reemplazar el dispositivo cuando sea clínicamente adecuado para el paciente. Hasta su reemplazo, estos dispositivos deben supervisarse con cuidado para comprobar la disponibilidad de la terapia.

- P7. ¿Cómo puede el sistema de seguimiento de pacientes LATITUDE utilizarse para supervisar a los pacientes que se sometan a radioterapia?**
- R7. El sistema de seguimiento de pacientes LATITUDE puede ser un suplemento para las evaluaciones en la clínica. Sin embargo, el sistema LATITUDE podría no alertar de muchos de los posibles resultados del dispositivo después de la exposición a la radiación. Por ejemplo, puede que LATITUDE no pueda alertar inmediatamente sobre fallos del dispositivo si la telemetría RF ZIP o la telemetría inductiva están deshabilitadas como resultado de la radioterapia. No obstante, si el comunicador de LATITUDE no puede detectar ni interrogar a un dispositivo implantado durante 14 días, el sistema LATITUDE generará un mensaje de fallo de recogida de datos que puede provocar una notificación del departamento de atención a clientes de LATITUDE a la clínica. Además, no se puede utilizar LATITUDE para dirigir las funciones de diagnóstico, tales como las pruebas de umbral de estimulación o las pruebas de impedancia de cables, tampoco se puede utilizar este sistema de seguimiento de pacientes para programar los modos del dispositivo, si es necesario. Para realizar estas funciones es necesario un seguimiento en la clínica con un programador. Es importante tener en cuenta que el control remoto LATITUDE no está actualmente disponible en todas partes o para todos los productos.
- P8. ¿Qué pasa si el dispositivo se daña durante la sesión de radioterapia?**
- R8. Si un dispositivo se daña antes de que termine un régimen de terapia, el cardiólogo o el electrofisiólogo del paciente deben considerar todas las opciones disponibles para determinar la mejor acción a realizar. Por ejemplo, si el paciente depende del marcapasos, puede ser necesario sustituirlo de inmediato, teniéndose en cuenta especialmente la localización del nuevo implante (con respecto al lugar de irradiación del haz principal). Si el paciente no depende del marcapasos, puede ser aceptable retrasar su sustitución del dispositivo hasta terminar todas las sesiones del tratamiento. De la misma forma, si se verifica que un DAI o TRC-D puede suministrar terapia de descargas en Modo de Seguridad después de cada sesión de tratamiento, puede ser adecuado retrasar la sustitución del dispositivo hasta terminar todas las sesiones de radioterapia.
- P9. ¿Se ofrecerá garantía para cualquier dispositivo que pueda reemplazarse después de la radioterapia?**
- R9. Si es necesario sustituir el dispositivo tras exponerlo a la radiación y no se ha superado el período de garantía establecido, podrá recibir crédito por garantía de acuerdo con la legislación de la zona geográfica en la que se haya vendido el dispositivo. Los requisitos del programa de garantía incluyen el reemplazo por otro producto de Boston Scientific, así como la devolución del dispositivo a Boston Scientific dentro del marco temporal designado.
- P10. ¿En qué medida están formados los representantes de ventas y clínicos de Boston Scientific para comprobar el funcionamiento adecuado del dispositivo después de la radioterapia?**
- R10. Los representantes de campo de Boston Scientific tienen extensos conocimientos sobre las características del funcionamiento adecuado de los dispositivos implantables de Boston Scientific. A menudo asisten a las operaciones de implantación y a las sesiones de seguimiento posteriores para proporcionar información sobre el funcionamiento del dispositivo. Sin embargo, la asistencia de los representantes de Boston Scientific debe tener lugar únicamente bajo la dirección del cardiólogo o electrofisiólogo que atienda al paciente, el cual sigue siendo dirigiendo las prescripciones relacionadas con el tratamiento del estado médico específico del paciente.

¹ Rodriguez F, Filimonov A, Henning A, Coughlin C, Greenberg M. Radiation-Induced Effects in Multiprogrammable Pacemakers and Implantable Defibrillators. *Pacing Clin Electrophysiol.*1991;12:2143-2153.

² Last A. Radiotherapy in patients with cardiac pacemakers. *Br J Radiol.*1998;71:4-9.

³ Kobayashi H, Shiraishi K, Tsuchiya H, et al. Soft Errors in SRAM Devices Induced by High Energy Neutrons, Thermal Neutrons and Alpha Particles. *Electron Devices Meeting, 2002. IEDM Digest, International.* 2002:337-340.

⁴ Wilkinson JD, Bounds C, Brown T, Gerbi BJ, Peltier J. Cancer-Radiotherapy Equipment as a Cause of Soft Errors in Electronic Equipment. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability.* 2005;5:449-451.

⁵ Marbach JR, Sontag MR, VanDyk J, Wolbarst AB. Management of Radiation Oncology Patients with Implanted Cardiac Pacemakers. *American Association of Physicists in Medicine Report No. 45.* 1994:85-89.

⁶ Solan A, Solan M, Bednarz G, Goodkin M. Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004;59:897-904.