

## Radiación terapéutica y marcapasos y desfibriladores implantables

### 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

DAI: Desfibrilador automático implantable

TRC-D: Desfibrilador para el tratamiento de la resincronización cardíaca

TRC-P: Marcapasos para el tratamiento de la resincronización cardíaca

### PRODUCTOS CRM A LOS QUE SE HACE REFERENCIA\*

Todos BSC ICDs, CRT-Ds, CRT-Ps, y Sistemas de estimulación, LATITUDE® sistema de seguimiento de pacientes

\*Los productos a los que se hace referencia en el presente documento pueden no estar aprobados en todos los países. Para obtener información más detallada sobre el funcionamiento del dispositivo, consulte la documentación del producto correspondiente.

### INFORMACIÓN CRM DE CONTACTO

Servicios Técnicos – EE. UU.  
1.800.CARDIAC (227.3422)  
[Tech.Services@bsci.com](mailto:Tech.Services@bsci.com)

Servicios Técnicos - Europa  
+32 2 416 7222  
[eurtechservice@bsci.com](mailto:eurtechservice@bsci.com)

Soporte Clínico para LATITUDE  
1.800.CARDIAC (227.3422)  
[latitude@bsci.com](mailto:latitude@bsci.com)

Servicios a Pacientes  
1.866.484.3268 – EE. UU. y Canadá  
001.651.582.4000 – Internacional

Normalmente se utilizan muchas fuentes de radiación ionizante para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades; estas fuentes varían significativamente en cuanto a sus posibles efectos en un dispositivo cardíaco implantado, como un marcapasos o un desfibrilador. Algunas fuentes de radiación terapéutica pueden interferir o dañar un dispositivo implantado, incluyendo 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 también será distinto 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 avanzada y precauciones extra,<sup>1</sup> 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 conjuntamente determinan 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 administrada
- Escudo 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 o garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo después de la exposición a la radiación ionizante.<sup>2,3</sup>

### Impacto potencial de la radiación terapéutica en dispositivos implantados

La radiación terapéutica, incluyendo las partículas dispersas puede tener un efecto negativo temporal en los componentes eléctricos de los dispositivos implantados, como son el microprocesador o la memoria, provocando una alteración temporal del funcionamiento del dispositivo.<sup>4</sup> Además, los efectos acumulativos de la radiación en dosis suficientes (dosis total o frecuencia de dosis) pueden degradar permanentemente el funcionamiento por debajo de las especificaciones del dispositivo.<sup>5-7</sup>

El dispositivo puede experimentar uno o más de los efectos en el funcionamiento que se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Posibles efectos en el funcionamiento temporales o permanentes del dispositivo debidos a exposición a radiación		
DAIs/ TRC-Ds	Marcapasos/ TRC-Ps	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
■		Vuelta a Modo de Seguridad*, o a Núcleo de Seguridad
	■	Vuelta a Modo Reinicio*
■		Pérdida de control remoto con el Sistema de Seguimiento de Pacientes LATITUDE®

\*Estos modos, llamados de forma global como "Modo de Seguridad" a lo largo del resto del artículo, se diseñaron para ofrecer estimulación de seguridad y/o terapia de descarga en aquellas situaciones en las que no es posible el funcionamiento normal del dispositivo. Los efectos específicos en el funcionamiento varían según la familia del dispositivo. Si los modos de Reinicio y Seguridad están activados se reinstaura el microprocesador desde la memoria de seguridad protegida. Además, el Núcleo de Seguridad utiliza un circuito de seguridad independiente en caso de que el microprocesador no esté operativo; este modo puede ser menos susceptible al daño por radiación.

La memoria del dispositivo es el componente con mayor probabilidad de verse afectado por la radiación terapéutica bien por una radiación de haz directo o partículas dispersas. Para minimizar los efectos de la radiación en la memoria, la mayoría de los dispositivos CRM de Boston Scientific incluyen comprobaciones de memoria periódicas de autodiagnóstico para localizar y corregir muchos 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 tan dañinos que no esté disponible el Modo de Seguridad, provocando una pérdida de la terapia. La exposición del dispositivo a cualquier fuente de radiación con una frecuencia superior a una vez al día aumenta la probabilidad de que el dispositivo vuelva al Modo de Seguridad o se provoquen daños permanentes.

## Recomendaciones 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 y así poder comprobar la salud del paciente y verificar el correcto funcionamiento del dispositivo durante y después de las sesiones de tratamiento radioactivo. Comentar el estado actual del paciente, incluyendo el estado de la enfermedad, el tipo del 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.<sup>3</sup> Debe considerarse la posibilidad del reemplazo del dispositivo durante una planificación avanzada, ya que no se puede garantizar el funcionamiento del dispositivo después de la exposición a la radiación terapéutica.

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. 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.<sup>3,4,10,11</sup> Además, en algunos estudios clínicos se ofrece una dosis máxima total recomendada de 2 Grays al dispositivo implantado.<sup>3,11</sup>

### 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, incluyendo tanto protección interna en el equipo de radiación como 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.<sup>3,9,11</sup> 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.<sup>12</sup>

### 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.<sup>3</sup>

En la tabla 2 se describen las consideraciones de programación para tratar el posible impacto de la radiación en sistemas de dispositivos implantables.

Tabla 2. Consideraciones de programación del dispositivo		
Productos	Posibles interacciones	Mitigación de riesgos de programación
DAIs y TRC-Ds	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inhibición de la terapia de estimulación</li> <li>▪ Terapia de descargas inadecuada</li> <li>▪ Inhibición de la terapia de descarga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si se observa la inhibición de la estimulación, se puede utilizar un programador para iniciar la estimulación asincrónica temporal (VOO/AOO/DOO). <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Telemetría con pala: La pala debe permanecer colocada sobre el dispositivo implantado y la sesión debe supervisarse durante la estimulación asincrónica.</li> <li>➢ Telemetría sin pala (RF ZIP™): La sesión de telemetría debe supervisarse y si es necesario, debe utilizarse la pala para una sesión con pala.</li> </ul> </li> <li>▪ Desactivar la terapia taqui. <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Programe el Modo Taqui del dispositivo en Modo de Protección de Electrocauterio o Electrocauterio Off, si es aplicable. En este modo, las características de detección de taquiarritmia y terapia están desactivadas, y el modo de estimulación cambia a un modo asincrónico (VOO, AOO o DOO).</li> <li>○</li> <li>➢ Programe el Modo Taqui del dispositivo en Off, o coloque un imán sobre el dispositivo para inhibir temporalmente o desactivar la terapia taqui.* El modo de estimulación bradi permanece como esté programado.</li> </ul> </li> </ul>
Marcapasos y TRC-Ps	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inhibición de la terapia de estimulación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se puede colocar un imán sobre el dispositivo para la estimulación asincrónica a la frecuencia del imán.†</li> <li>○</li> <li>▪ Se puede programar el dispositivo a un modo de estimulación asincrónica (VOO, AOO o DOO).</li> </ul>

*NOTA: Si se realizaron cambios en la programación, deberá volverse a programar de nuevo el dispositivo a los valores deseados después del procedimiento. Volver a activar el modo taqui (Monitor + Terapia) en los DAIs y TRC-Ds.*

*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 más información, consulte en Una Mirada de Cerca los artículos titulados Utilización "A Closer Look" de un Imán para Suspender o Desactivar la Terapia Taqui en DAIs y TRC-Ds y Programar un Desfibrilador de Boston Scientific para Inhibir la Terapia Taqui Utilizando un Imán.

†Los siguientes marcapasos de Intermedics permanecen en modo imán sólo durante 64 ciclos de estimulación: COSMOS, DART, DASH, GALAXY, MARATHON, MOMENTUM®, NOVA, QUANTUM® II/III, RELAY, STRIDE®, SUPRIMA y UNITY.

### Evaluación del funcionamiento del dispositivo después de las sesiones de radioterapia

Para minimizar el funcionamiento inesperado del dispositivo después de la radioterapia, Boston Scientific normalmente recomienda la evaluación del funcionamiento del dispositivo después de la radioterapia. 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
- Revisar sucesos clínicos y códigos de errores
- Revisar el diario de arritmias, incluyendo los electrogramas almacenados (EGMs)
- Revisar los EGMs en tiempo real
- Comprobar, en todas las cámaras, el umbral de estimulación, la amplitud intrínseca y la impedancia del electrodo
- Realizar una reforma manual del condensador (solo para DAIs y TRC-Ds) ‡
- Programar cualquier ajuste Brady en los parámetros Brady permanentes y después reprogramarlo a los valores deseados
- Programar el Modo Taqui con un valor nuevo y después reprogramarlo al valor deseado (solo para DAIs y TRC-Ds)
- Realizar la acción de Guardar Todo en Disco ejercita sitios de la memoria adicionales

Si se observan anomalías durante esta evaluación, por favor 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 DAIs y TRC-Ds.**

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 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 semanas o meses 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. 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.<sup>3</sup> 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.<sup>4,10</sup> Ya que es imposible protegerse completamente de la radiación ionizante, los dispositivos siempre serán susceptibles en alguna medida a los efectos de ésta, independientemente del nivel de energía seleccionado o de la distancia con respecto del haz principal.
- P2. Si no se puede estimar una intensidad de la dosis de radiación “segura”, ¿se puede al menos estimar una distancia “segura” desde el haz principal?**
- R2. No. 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. A pesar de la distancia y de las oportunidades de protección, puede seguir existiendo la posibilidad de que la radiación afecte el dispositivo, 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.
- 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.<sup>9,11</sup> 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 "auto comprobación" 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. En dicho caso, puede invocarse el Modo de seguridad para proporcionar terapia continua. 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. ¿Todas 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. Algunos tipos de Modo de Seguridad (concretamente, Núcleo de Seguridad) pueden ser menos vulnerables a daños producidos por la exposición a la radiación que otros; no obstante, es posible que la exposición a la radiación puede comprometer la memoria de seguridad o los circuitos asociados con el funcionamiento del Modo de Seguridad. 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 a las evaluaciones en clínica, pero si el daño al dispositivo implantado es grave, puede verse afectada la capacidad del dispositivo de administrar datos al comunicador LATITUDE. Por lo que puede que LATITUDE no pueda 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 electrodos, 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 periodo 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. Entre los requisitos para poder beneficiarse de esta garantía se encuentran la sustitución del dispositivo por otro producto de Boston Scientific y la devolución del dispositivo a Boston Scientific dentro del plazo establecido.

**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.

<sup>1</sup>Steidley KD, Steidley DE. Pacemaker /ICD Irradiation Policies in Radiation Oncology. Available at <http://irpa11.irpa.net/pdfs/4e26.pdf>. Accessed December 20, 2007.

<sup>2</sup>Mouton J, Haug R, Bridier A, Dodinot B, Eschwege F. Influence of high-energy photon beam irradiation on pacemaker operation. *Phys Med Bio.* 2002;47:2879-2893.

<sup>3</sup>Last A. *Radiotherapy in patients with cardiac pacemakers.* Br J Radiol.1998;71:4-9.

<sup>4</sup>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.

<sup>5</sup>Normand E, Wert JL, Oberg DL, Majewski PR, Voss P, Wender SA. Neutron-Induced Single Event Burnout in High Voltage Electronics. *IEEE Transactions Nuclear Sci.* 1997; 44 (6): 2358-66.

<sup>6</sup>Normand E. Single Event Upset at Ground Level. Available at [www.boeing.com/assocproducts/radiationlab/publications/SEU at GroundLevel.pdf](http://www.boeing.com/assocproducts/radiationlab/publications/SEU%20at%20GroundLevel.pdf). Accessed December 20, 2007.

<sup>7</sup>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.

<sup>8</sup>Hurkmans C, Schmeets I, Uiterwaal H. In regard to Solan et al.: Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy (Int J Radiat Oncol Biol Phys). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004;60:1662-1663.

<sup>9</sup>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.

<sup>10</sup>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.

<sup>11</sup>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.

<sup>12</sup>Limacher MC, Douglas PS, Germano G, et.al. American College of Cardiology Expert Consensus Document: Radiation Safety in the Practice of Cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 1998;31:892-913.