

Usos y aplicaciones actuales de la radioterapia corporal estereotáctica

Rubí Ramos-Prudencio, Francisco Lozano-Ruiz, Alejandro Rodríguez-Laguna y Ma. Adela Poitevin-Chacón*

Departamento de Radioterapia, Médica Sur 1, Ciudad de México, México

Resumen

La radioterapia corporal estereotáctica es una modalidad que con alta precisión administra dosis alta de radiación a un objetivo tumoral bien definido, en una o en pocas fracciones, y reduce significativamente la dosis que reciben los tejidos sanos circundantes. Está indicada en cáncer primario de pulmón de células no pequeñas en estadios tempranos (T1 y T2) no operable, metástasis pulmonares con un tumor primario controlado, tumores prostáticos y enfermedad oligometastásica. A pesar de la falta de estudios a largo plazo o fase III, los resultados de su eficacia en el control local es superior a 90 %, con toxicidad similar a la reportada con fraccionamientos convencionales de radioterapia. Este artículo describe la tecnología y la técnica de radioterapia corporal estereotáctica, con las aplicaciones clínicas, indicaciones y limitaciones de esta modalidad terapéutica.

PALABRAS CLAVE: Oligometástasis. Radiocirugía. Radiocirugía corporal estereotáctica.

Current uses and applications of stereotactic body radiation therapy

Abstract

Stereotactic body radiation therapy (SBRT) is a modality that delivers high doses of radiation to a well-defined tumor target in a single or a few fractions and with high precision, which significantly reduces the dose received by surrounding normal tissues. SBRT is indicated for inoperable, early stage (T1 and T2) primary non-small cell lung cancer, lung metastases with a controlled primary tumor, prostate tumors and oligometastatic disease. Despite the lack of long-term or phase III studies, efficacy results in local control are higher than 90%, with similar toxicity to that reported with conventional fractionated radiotherapy. This article describes SBRT technology and technique, along with clinical applications, indications and limitations of this therapeutic modality.

KEYWORDS: Oligometastases. Radiosurgery. Stereotactic body radiosurgery.

Antecedentes

La radioterapia es un componente integral en el tratamiento del cáncer, tanto en el escenario curativo como en el paliativo. A pesar de la falta de estudios a largo plazo o fase III, los resultados de su eficacia en el control local es superior a 90 %, con toxicidad similar

a la reportada con fraccionamientos convencionales de radioterapia.¹ Aproximadamente 60 % de los pacientes con diagnóstico de cáncer la requiere en algún momento de su tratamiento.²

Se considera que la radioterapia contribuye en 40 % a la curación del cáncer;³ junto con la cirugía y los tratamientos sistémicos (quimioterapia, inmunoterapia,

*Correspondencia:

Ma. Adela Poitevin-Chacón

E-mail: mpoitevinc@medicasur.org.mx

0016-3813/© 2023 Academia Nacional de Medicina de México, A.C. Publicado por Permanyer. Este es un artículo *open access* bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 29-12-2022

Fecha de aceptación: 24-02-2023

DOI: 10.24875/GMM.22000412

Gac Med Mex. 2023;159:268-275

Contents available at PubMed

www.gacetamedicademexico.com

Tabla 1. Características de la radioterapia corporal estereotáctica

1. Utiliza dosis alta por sesión en pocas sesiones (hipofraccionada) y alta dosis biológica equivalente de radiación.
2. Es un tipo radioterapia externa con localización estereotáctica del tumor.
3. Su intención es el control local prolongado o la curación.
4. Tiene un volumen objetivo claramente definido.
5. Se administra en una o en pocas sesiones (máximo 12).
6. Tiene alta precisión, exactitud y máximos estándares de calidad.

terapia blanco) constituye uno de los pilares terapéuticos en cáncer. En la radioterapia convencional, los tejidos normales responden de forma diferente, ya que poseen la capacidad de reparación celular o la apoptosis si la reparación no fuera factible, lo cual no sucede en los tejidos neoplásicos en los cuales la muerte celular es el desenlace esperado. A pesar de esta diferencia, la dosis que reciben los tejidos sanos con su subsecuente toxicidad sigue siendo la limitación principal para la aplicación de radioterapia.⁴

En este artículo se revisa la radioterapia estereotáctica corporal (SBRT, *stereotactic body radiation therapy*) —*stereos*, ubicación tridimensional en el espacio, y *axis*, orden, es decir, “orden en el espacio”—, referida como “radiocirugía” y cuya característica es la administración de una dosis biológica efectiva de radiación igual o superior a 100 Gy en una o varias sesiones (máximo 12), con los más altos estándares de calidad disponibles.⁵ Este tipo de tratamientos hipofraccionados de alta precisión también se llama radiocirugía estereotáctica cuando se utiliza para tumores malignos o benignos intracraneales y trastornos funcionales o vasculares en una o varias sesiones.⁶ Las características de la SBRT se encuentran enlistadas en la Tabla 1.

Una particularidad de la SBRT es la dosis administrada por sesión, mucho más alta que la dosis convencional (de 1.8 a 2.0 Gy por fracción) para superar los mecanismos de radiorresistencia que se han identificado con el fraccionamiento convencional. La SBRT, además de la muerte celular asociada a daño directo sobre el ADN tumoral, produce cambios en la microvasculatura del tumor, con lo cual altera y daña su microambiente, está asociada con incremento de la respuesta inmune y en conjunto produce una respuesta al tratamiento superior a los esquemas convencionales.^{7,8} Las dosis pueden ser tan altas como 32 Gy en una sola sesión o 60 Gy en cinco sesiones. Al ser administradas con equipo de estereotaxia,

estas dosis altas suponen mínimo daño a los tejidos sanos circundantes (órganos en riesgo).

La SBRT representa un menor riesgo de toxicidad en comparación con la cirugía u otras modalidades de radioterapia, con tasas de control local equiparables.⁹ Puede realizarse con equipos que cumplen con los requisitos tecnológicos mínimos, aceleradores lineales o equipos de radioterapia de estereotaxia.

Selección de los pacientes

La selección correcta del paciente es primordial para garantizar el éxito y debe incluir historia clínica completa, evaluación por el radiooncólogo y revisión de los estudios de imagen y patología por un equipo multidisciplinario. Los tumores mayores de 5 cm por lo general son excluidos de los ensayos clínicos por el riesgo teórico de un control local menor y una mayor toxicidad; además, debe considerarse la ubicación, ya que los pacientes con tumores en contacto con estructuras como la tráquea, el esófago, la médula espinal y el duodeno pueden no ser candidatos.¹⁰

Diseño del tratamiento (simulación virtual)

El primer paso es realizar una tomografía de simulación virtual, en la cual se coloca al paciente en la misma posición que tendrá durante el tratamiento y cuyo objetivo es adquirir una serie de imágenes para definir de forma precisa el volumen que se planea tratar. En esta fase, se inmoviliza al paciente en forma cómoda, rigurosa y reproducible; los accesorios utilizados varían conforme a la indicación clínica (Figura 1).

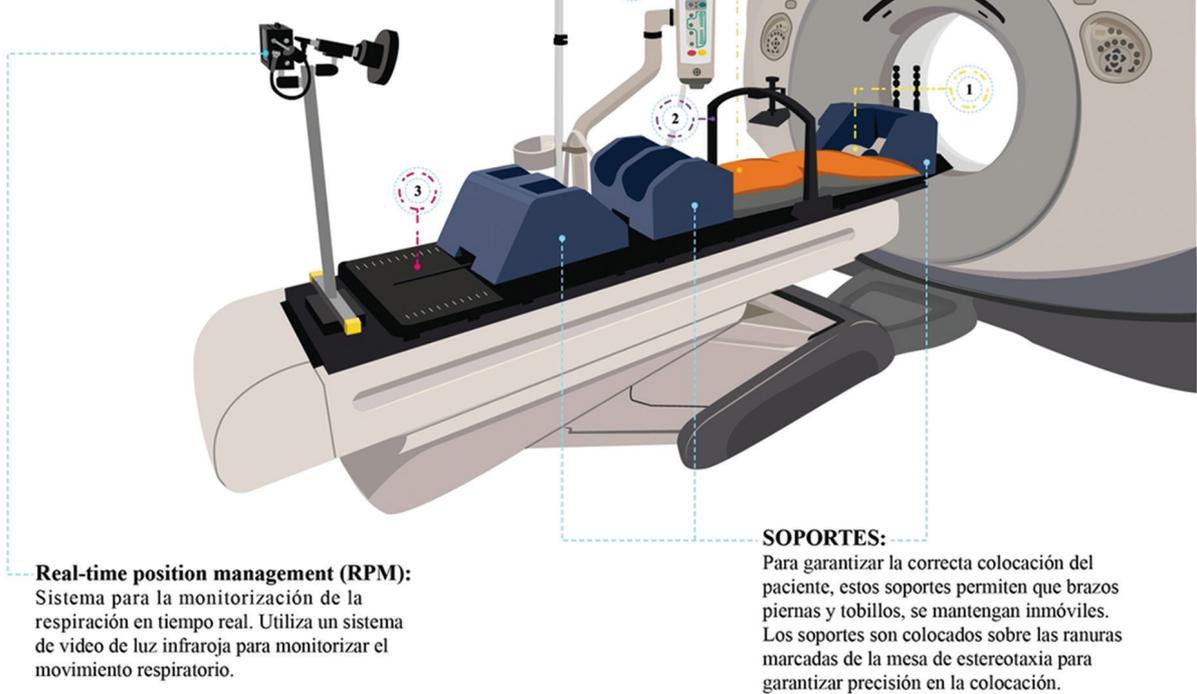
La tomografía computarizada debe ser de alta resolución y de cortes finos (< 2 mm en lesiones extracraneales), con inyector de medio de contraste cuando su uso sea necesario; es esencial obtener imágenes durante todo el ciclo respiratorio en objetivos móviles como lesiones pulmonares o hepáticas, así como la colocación de fiduciales internos, los cuales se colocan cerca del tumor para ayudar a localizar y guiar los haces de radiación durante el tratamiento. La información de movimiento del objetivo se adquiere a través de la imagen de tomografía de cuatro dimensiones que captura el ciclo de movimiento completo asociado con la respiración.¹¹

Planeación del tratamiento

Para la planeación del tratamiento deben delimitarse cuidadosamente el volumen tumoral grueso y los

- 1 **Soporte cabeza**
Cuenta con múltiples cuñas y tamaños que permiten mantener la anatomía cervical del paciente en posición cómoda y reproducible.
- 2 **Arco de compresión**
Este arco presionará el abdomen del paciente al máximo punto tolerable, para minimizar el movimiento de los órganos internos durante la respiración.
- 3 **Mesa de estereotaxia**
Mesa rígida, graduada con múltiples ranuras para la inserción y fijación de los demás accesorios utilizados durante la SBRT.
- 4 **Colchón al vacío**
Consiste en un colchón relleno de esferas pequeñas de poliestireno; el paciente se coloca encima de este en la posición que precise el tratamiento, y se procede a extraer el aire del colchón, con esto se consigue que quede rígido con la forma anatómica del paciente.
- 5 **inyector de contraste**
Se debe de contar con inyector de medio de contraste

TOMOGRÁFO:
Tomógrafo de simulación virtual deberá de contar con cortes de 1.25mm, con mínimo de 16 cortes, un diámetro de gantry >80cm para garantizar el paso por el mismo del paciente con los diversos accesorios de inmovilización.



Real-time position management (RPM):
Sistema para la monitorización de la respiración en tiempo real. Utiliza un sistema de video de luz infrarroja para monitorizar el movimiento respiratorio.

SOPORTES:
Para garantizar la correcta colocación del paciente, estos soportes permiten que brazos, piernas y tobillos, se mantengan inmóviles. Los soportes son colocados sobre las ranuras marcadas de la mesa de estereotaxia para garantizar precisión en la colocación.

Figura 1. Tomógrafo de simulación virtual con los accesorios más utilizados para la inmovilización y reproducibilidad de la posición del paciente durante la SBRT.

órganos en riesgo, para lo cual las imágenes de diagnóstico, por lo general de resonancia magnética de alta resolución o tomografía por emisión de positrones, se empalman con las imágenes de simulación virtual. La delimitación de volúmenes consiste en contornear estos en cada uno de los cortes tomográficos; el *software* de planeación combina estas imágenes para producir una representación tridimensional (Figura 2). Los volúmenes pueden editarse para agregar un margen de seguridad por movimiento, incertidumbre en la colocación, enfermedad microscópica o evitar alguna estructura. Debido a las dosis altas que se administran, el margen de error de la SBRT es significativamente menor que el de la radioterapia convencional; un error mínimo en la localización del objetivo podría dejar afuera del tratamiento hasta 20 % del tumor.¹²

Una vez delimitados el volumen de planeación por tratar y los órganos en riesgo, se prescriben las dosis. Con equipo especializado, físicos médicos y dosimetrías calculan que los volúmenes blanco reciban la dosis adecuada y que se cumplan las restricciones de dosis establecidas a los órganos en riesgo para cumplir con el criterio de calidad de estos tratamientos, el cual también implica la disminución rápida de la dosis más allá de los volúmenes tratados (Figura 2). Cuando el plan terapéutico es evaluado y aprobado por el radiooncólogo, se realiza un control de calidad para asegurar que el sistema de ejecución con la fidelidad necesaria y el tratamiento se logre administrar conforme a lo planeado.

Además del acceso a tecnología altamente avanzada, existen otras exigencias impuestas por el

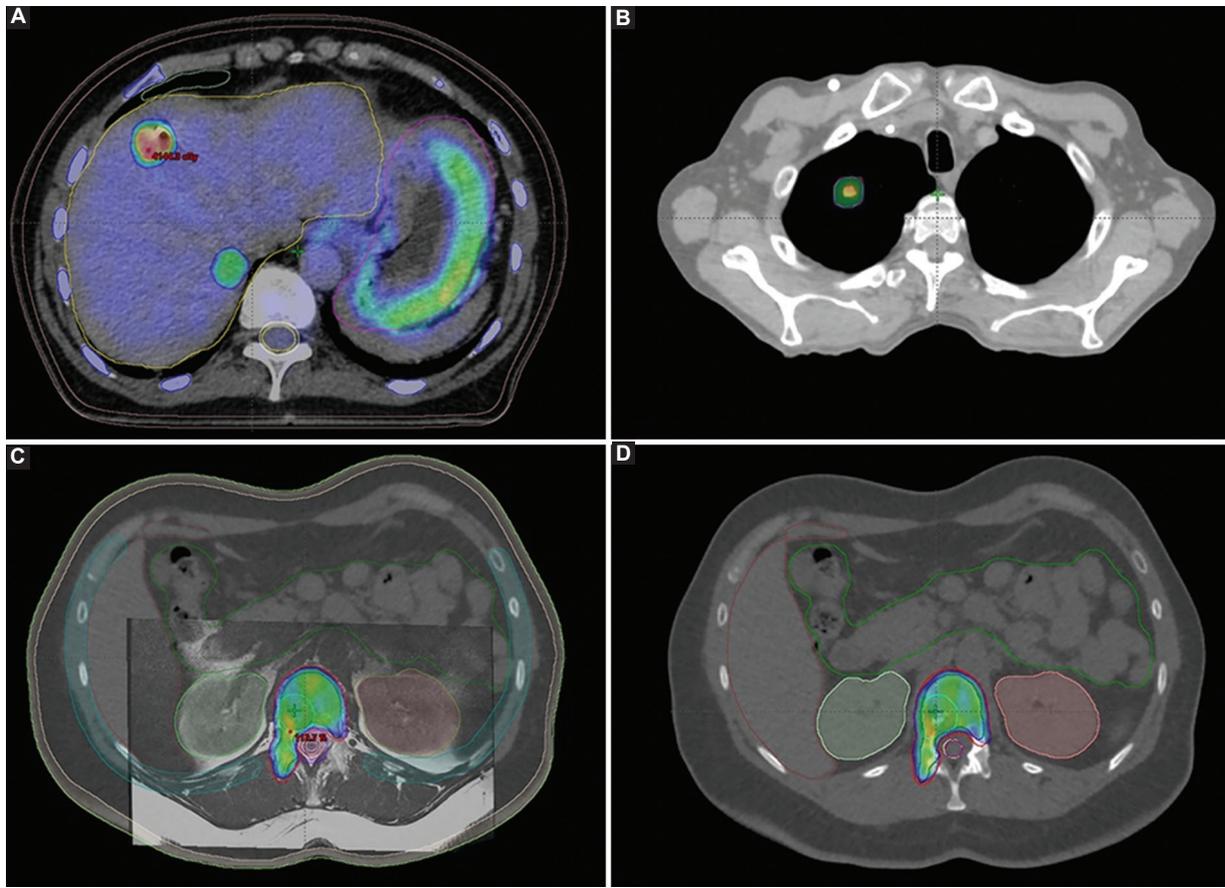


Figura 2. A: plan de SBRT en lesión metastásica de hígado, se utilizó corregistro de imágenes con PET/CT con F^{18} -fluorodesoxiglucosa para delimitar correctamente los volúmenes. B: plan de SBRT en lesión pulmonar. C: plan de SBRT en lesión metastásica ósea con corregistro de imagen con resonancia magnética. D: plan de SBRT en lesión metastásica ósea.

régimen ultrahipofraccionado y la finalidad ablativa de la SBRT: el personal involucrado debe disponer de conocimientos y competencias apropiadas y que se sigan protocolos estrictos de garantía de calidad en relación con el equipo, el procedimiento y el paciente.¹¹

Para la aplicación del tratamiento, el paciente se posiciona e inmoviliza de forma idéntica a la de la simulación y es necesario realizar radioterapia guiada por imagen del objetivo de tratamiento o de una estructura de referencia. Para cumplir los requisitos de precisión, el tiempo máximo entre la adquisición de la imagen de verificación y el inicio de tratamiento no debe ser superior a cinco minutos.^{6,13}

El radiooncólogo es responsable del tratamiento, de la supervisión de la inmovilización y posicionamiento del paciente, así como de la verificación de las imágenes, por lo que se requiere su presencia desde el inicio y durante toda la sesión, acompañado en todo momento por el físico médico.

Aplicaciones clínicas

Las aplicaciones clínicas de la SBRT son amplias y se han incrementado los escenarios clínicos en los cuales es beneficiosa, particularmente en oligometástasis. La SBRT se ha estudiado mejor en el cáncer pulmonar de células no pequeñas (CPCNP) en etapa temprana, carcinoma hepatocelular, de páncreas, de próstata, metástasis espinales y no espinales, así como reirradiación.

SBRT de lesiones pulmonares: cáncer primario y metastásico

La radioterapia siempre ha desempeñado un papel en cáncer de pulmón. Aunque no existen estudios comparativos entre las técnicas terapéuticas convencionales y la SBRT, esta parecería ser más eficaz y conveniente con menos de una semana de tratamiento y un perfil de toxicidad más tolerable. La SBRT ya es estándar de

tratamiento para los pacientes con CPCNP en etapas tempranas que no pueden ser sometidos a cirugía, con tasas de control local superiores a 90 % a tres años y con toxicidad mínima.¹⁴⁻¹⁶ Un análisis combinado de estudios prospectivos fase III (estudios STARS y ROSEL) que comparan lobectomía contra SBRT en cáncer de pulmón etapa I, mostró una supervivencia global a tres años de 95 % en 31 pacientes con SBRT en comparación con 79 % en 27 pacientes con lobectomía en un seguimiento promedio de 40.2 meses.¹⁷

La enfermedad metastásica limitada en pulmón es frecuente, por lo que la SBRT constituye una opción. El protocolo más completo y con mayor seguimiento es el estudio aleatorizado fase II SABR-COMET, el cual evaluó a 99 pacientes con tumores sólidos controlados y hasta cinco lesiones metastásicas (en la mayoría de una a tres), quienes se asignaron aleatoriamente en una proporción de 1:2 a los tratamientos paliativos estándar (brazo 1) y SBRT a todos los sitios de la enfermedad (brazo 2). Se reportó una mejoría en la supervivencia libre de progresión en el brazo 2 (12 meses *versus* seis meses en el brazo 1, $p = 0.001$); la supervivencia global fue de 28 *versus* 41 meses en el brazo 1 *versus* brazo 2 ($p = 0.09$). La toxicidad grado 2 o superior de SBRT fue de 29 % y la tasa de toxicidad grado 5 fue casi de 5 %.¹⁸ La toxicidad fue particularmente baja, ya que por protocolo la dosis de tolerancia de los órganos en riesgo siempre fue respetada; en un análisis posterior se identificó que hasta en un tercio de los casos fue necesario modificar la dosis prescrita al volumen de planeación por tratar para lograr dosis apropiadas en los órganos en riesgo, principalmente en médula espinal, lo cual no comprometió la supervivencia global, el control local ni el periodo libre de progresión.^{19,20} El seguimiento a cinco años del SABR-COMET ya fue publicado: la supervivencia global fue de hasta 21.3 %, no se reportaron toxicidades tardías adicionales ni datos de recurrencia.²¹

SBRT de hígado: hepatocarcinoma y metástasis hepáticas

El hígado es un órgano comúnmente afectado por las neoplasias malignas primarias o metastásicas. La resección quirúrgica proporciona el mayor potencial de curación, sin embargo, no todos los pacientes son candidatos, generalmente por alteraciones en la función hepática, comorbilidades como cirrosis, estado funcional deficiente, enfermedad multifocal, proximidad a estructuras vasculares o tumores localmente avanzados.²²

En un metaanálisis reciente, que incluyó 11 estudios con 2238 pacientes, en hepatocarcinoma se reportó 83.8 % de control local a dos años con SBRT en comparación con 71.8 % con ablación por radiofrecuencia; en metástasis hepáticas se encontró 83.6 % *versus* 60 %, respectivamente.²³ Aunque faltan ensayos clínicos controlados, la utilidad de la SBRT en tumores con ubicación difícil para la ablación (por ejemplo, cerca de los vasos principales y el diafragma) o de tamaño relativamente grande (> 3 cm) compensa las limitaciones de la radiofrecuencia, por lo que se ha incrementado su uso.

La SBRT podría estar limitada por el tamaño de la lesión. Algunos estudios han demostrado tasas de control local del 91 % en tumores < 5 cm y de 74 % en tumores de 5 cm.^{23,24}

Los criterios de selección de pacientes y las dosis óptimas aún no están bien establecidas y dependerán de la experiencia del centro donde se realiza el procedimiento.

Las indicaciones más frecuentes son tumor < 6 cm, ≤ 5 metástasis, buen estado funcional (puntuación 0-1 en la escala ECOG o índice de Karnofsky > 70) y adecuada función hepática.

La función hepática es el principal indicador para la correcta selección del paciente: idealmente deben ser pacientes con daño hepático clase A según la escala Child-Pugh y con un volumen hepático libre > 1000 mL; la SBRT está contraindicada en pacientes clase C de la escala Child-Pugh y en pacientes con < 700 mL de volumen hepático libre.²⁴

SBRT de metástasis óseas

La SBRT para el manejo de metástasis óseas está emergiendo como un estándar clínico en tumores con tejidos radiorresistentes, para la reirradiación o como adyuvante. Su ventaja es la capacidad de incrementar la dosis al volumen de planeación por tratar sin afectar los órganos en riesgo, principalmente la médula espinal.²⁵

Anteriormente, para paliar las metástasis óseas se utilizaban esquemas con técnicas convencionales y regímenes hipofraccionados, como 30 Gy en 10 sesiones, 20 Gy en cinco sesiones y 8 Gy en dosis única, con los cuales se obtenía una respuesta clínica de entre 65 % y 75 %. Actualmente, la dosis por fracción se ha incrementado con resultados favorables hasta una dosis única de 24 Gy, con 90 % o más de control local, < 1 % de falla local a un año y 3.1 % a cuatro años. En pacientes con supervivencia superior a cinco

años, 91.6 % de las lesiones permaneció estable, lo que también sugiere que el tratamiento tiene una respuesta duradera a largo plazo^{26,27} En estudios retrospectivos se han comparado pacientes que reciben esquemas convencionales de radioterapia externa con pacientes a quienes se les realizó SBRT; las tasas de control local a 12 y 24 meses fueron de 6.1 % versus 28.4 % y 14.8 % versus 35.6 %, respectivamente, con reducción de la necesidad de reirradiación durante el periodo de un año de 15.8 a 2.2 %.²⁸

IRRADIACIÓN POSOPERATORIA

Las dosis durante el posoperatorio suelen ser similares que en la modalidad única de tratamiento. El estudio retrospectivo más grande de SBRT posoperatoria en la columna vertebral incluyó 186 pacientes tratados con 24 Gy en una sola fracción, 27 con 30 Gy en tres fracciones (hipofraccionamiento de dosis alta), 18 con 26 Gy en cinco o seis fracciones (hipofraccionamiento de dosis baja). La tasa de progresión local al año fue de 16.4 % para SBRT, 4.1 % en el grupo de hipofraccionamiento de dosis alta y 22.6 % en el grupo de hipofraccionamiento de dosis baja ($p = 0.04$).²⁹ Al igual que con otros usos de SBRT de columna, su combinación con cirugía continúa evolucionando con tasas de control local superiores a 80 %.²⁶

METÁSTASIS ÓSEAS NO VERTEBRALES

La ubicación más frecuente de metástasis óseas no vertebrales es la pelvis (en 41.5 % a 65 %). El uso de SBRT ha llevado a una mejoría en la calidad de vida (control del dolor) con menos efectos secundarios y menos posibilidad de reirradiación.³⁰

Las dosis utilizadas son variables, no hay esquemas óptimos establecidos y oscilan desde dosis únicas de 15 a 24 Gy hasta dosis múltiples de 24 a 50 Gy en tres a cinco fracciones. La elección debe adaptarse a la ubicación y características histológicas del tumor, con un control local de 90 % a un año. La recaída local se observa en aproximadamente 7 a 10 % de los tumores con tipo histológico radiorresistente.³¹

La SBRT puede ser útil en pacientes no médicamente aptos para la cirugía o con tumores no técnicamente resecables, así como en quienes no son candidatos a terapia sistémica. Es probable que no sea útil en pacientes con enfermedad metastásica generalizada, con metástasis muy grandes (> 5 cm) o con enfermedad rápidamente progresiva.³²

SBRT en cáncer de próstata

La radioterapia externa es una opción potencialmente curativa en cáncer de próstata localizado cuando se emplean esquemas convencionales con duración hasta de ocho semanas. Debido a las propiedades radiobiológicas del cáncer de próstata —duplicación tumoral lenta (coeficiente alfa-beta bajo)—, el uso del hipofraccionamiento proporciona excelentes tasas de control local sin incrementar la toxicidad aguda.³³ Existen ensayos clínicos de no inferioridad que comparan radioterapia externa convencional *versus* radioterapia externa hipofraccionada, los cuales han demostrado eficacia y toxicidad similares.³⁴⁻³⁷ Hay esquemas de SBRT eficaces y probados clínicamente para cáncer de próstata de riesgo bajo e intermedio que han demostrado un beneficio en el control local, la calidad de vida reportada por el paciente y baja toxicidad. Las dosis más utilizadas van de 32.5 Gy hasta 47.5 Gy en cinco sesiones.³⁸ La SBRT en cáncer de próstata de alto riesgo se recomienda bajo protocolo clínico a pacientes seleccionados y en centros con radioterapia de alta precisión, ya que no se dispone de suficiente evidencia para usarla de forma rutinaria.³⁹⁻⁴⁵

Recientemente, una revisión sistemática que incluyó 23 estudios sobre SBRT en cáncer de próstata de alto riesgo documentó que no hay un incremento de la toxicidad con respecto a esquemas de fraccionamiento convencional, con tasas de control bioquímico de 82 % a 100 % a dos años.⁴⁶ En un metaanálisis de más de 6000 pacientes en 38 estudios prospectivos para cáncer de próstata localizado tratados con SBRT se reportó una supervivencia libre de recaída bioquímica de 95.3 % y 93.7 % a cinco y siete años, respectivamente.⁴⁷

Uno de los principales retos en el manejo con SBRT del cáncer de próstata de alto riesgo es la irradiación profiláctica a ganglios pélvicos. El estudio PBS (NCT03380806) comparó el brazo control con 45 o 46 Gy en 23 a 25 sesiones a la próstata y ganglios locorregionales con incremento de dosis hasta 32 o 33 Gy en 15 o 16 sesiones contra el brazo experimental, en el cual el incremento se realizó con SBRT mediante 19.5 a 21 Gy en tres sesiones.⁴⁸ El objetivo de este estudio fue asegurar la mínima toxicidad.

Los ensayos clínicos en curso abordan el uso de SBRT en diferentes escenarios clínicos y definirán la dosis total del tratamiento, el fraccionamiento, el uso concomitante de bloqueo androgénico total, la irradiación electiva de ganglios pélvicos, así como la SBRT en lecho prostático.

Enfermedad oligometastásica

El término oligometástasis, propuesto en 1995 por Hellman y Weichselbaum, se refiere a un estado intermedio del cáncer entre enfermedad local y metástasis generalizada. Actualmente, describe un fenotipo de metástasis limitadas en número y ubicación, generalmente de una a tres lesiones o de uno a cinco sitios, que pueden ser tratadas de forma segura con tratamiento dirigido, independiente del sitio primario o los de metástasis.

En estos pacientes, la evidencia sugiere que el tratamiento de todos los sitios de la enfermedad con terapias ablativas como SBRT o cirugía puede mejorar los resultados clínicos. Aún no se ha demostrado un beneficio de supervivencia global en el contexto de un ensayo aleatorizado fase III. Hasta la fecha, la evidencia para respaldar la SBRT en oligometástasis ha consistido en estudios no aleatorizados de un solo grupo sin controles, con estimaciones de supervivencia global de 30 a 50 % a cinco años.^{49,50}

Los estudios de enfermedad oligometastásica sugieren que la SBRT es eficaz y segura respecto a la administración del tratamiento, localización anatómica y dosis óptima, aunque la interpretación es complicada por la diversidad de tipos histológicos tratados que incluyen principalmente CPCNP, cáncer colorrectal, de próstata, de mama, de células renales, melanoma metastásico y sarcoma.

Están llevándose a cabo estudios fase III con resultados para 2030 como COMET-10, en el cual se evalúa el impacto de la SBRT en los resultados clínicos y la calidad de vida en pacientes seleccionados con cuatro a 10 lesiones metastásicas. En OligoRARE se evalúa si la adición de la SBRT al tratamiento estándar mejora la supervivencia global en tumores con histología poco común.^{51,52}

Conclusiones

La radioterapia corporal estereotáctica es una modalidad en la que se administran dosis altas de radiación a un volumen objetivo; esta técnica ha mostrado excelente tolerabilidad y altas tasas de control locorregional cercanas o superiores a 90 % en múltiples patologías estudiadas. El uso rutinario de SBRT requiere una cuidadosa estimación de la dosis que recibirán los tejidos sanos, por lo tanto, considera el movimiento de los órganos, los adecuados accesorios de inmovilización y la reproducibilidad de la posición. Los avances tecnológicos evolucionan para hacer que estos tratamientos sean cada vez más precisos, lo que implica menos efectos secundarios.

Se ha acumulado una creciente evidencia clínica sobre la eficacia y el bajo perfil de toxicidad de la SBRT, tanto en tumores primarios como metastásicos, lo que la ha convertido en el estándar de tratamiento en numerosos escenarios clínicos y en una opción emergente cada vez de mayor uso en los tratamientos ablativos de enfermedad oligometastásica.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pacientes y a los investigadores por usar esta técnica para mejorar el control local y la supervivencia con calidad de vida.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se realizaron experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Bibliografía

1. Chen H, Louie AV, Higginson DS, Palma D, Colaco R, Sahgal A. Stereotactic radiosurgery and stereotactic body radiotherapy the management of oligometastatic disease. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*. 2020;32:713-27.
2. Abshire D, Lang MK. The evolution of radiation therapy in treating cancer. *Semin Oncol Nurs*. 2018;34:151-7.
3. Baskar R, Lee KA, Yeo R, Yeoh KW. Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *Int J Med Sci*. 2012;9:193-9.
4. Mangoni M, Borghesi S, Aristei C, Becherini C. Radiobiology of stereotactic radiotherapy. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2022;27:57-62.
5. Sharma M, Nano TF, Akkati M, Milano MT, Morin O, Feng M. A systematic review and meta-analysis of liver tumor position variability during SBRT using various motion management and IGRT strategies. *Radiother Oncol*. 2022;166:195-202.
6. Guckenberger M, Baus WW, Blanck O, Combs SE, Debus J, Engenhardt-Cabillic R, et al. Definition and quality requirements for stereotactic radiotherapy: consensus statement from the DEGRO/DGMP Working Group Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery. *Strahlenther Onkol*. 2020;196:417-20.
7. Song CW, Terezakis S, Emami B, Griffin RJ, Sperduto PW, Kim MS, et al. Indirect cell death and the LQ model in SBRT and SRS. *J Radiother Oncol*. 2020;7:1-4.
8. Spina CS, Drake CG. Mechanisms of immune modulation by radiation. *Semin Radiat Oncol*. 2021;31:205-16.
9. Tandberg DJ, Tong BC, Ackerson BG, Kelsey CR. Surgery versus stereotactic body radiation therapy for stage I non-small cell lung cancer: a comprehensive review. *Cancer*. 2018;124:667-78.

10. Chan M, Palma D, Barry A, Hope A, Moore R, O'Neil M, et al. Practical considerations for the implementation of a stereotactic body radiation therapy program for oligo-metastases. *Adv Radiat Oncol.* 2020;6:1004-9.
11. Gaetani-Liseo F, Lautenschlaeger T, Ewing M, Langer M. The dosimetric differences in calculating lung SBRT plans on different image data sets: comparison of the free breathing scan to both the average intensity projection scan and to the sum of calculations on each respiratory phase of the 4DCT scan. *Med Dosim.* 2019;44:291-9.
12. Das IJ, Dawes SL, Dominello MM, Kavanagh B, Miyamoto CT, Pawlicki T, et al. Quality and safety considerations in stereotactic radiosurgery and stereotactic body radiation therapy: an ASTRO SafetyWhite paper update. *Pract Radiat Oncol.* 2022;12:e253-68.
13. Schmitt D, Blanck O, Gauer T, Fix MK, Brunner TB, Fleckenstein J, et al. Technological quality requirements for stereotactic radiotherapy: expert review group consensus from the DGMP Working Group for Physics and Technology in Stereotactic Radiotherapy. *Strahlenther Onkol.* 2020;196:421-43.
14. Dettlerbeck FC, Blasberg JD, Woodard GA, Decker RH, Kumbasar U, Park HS, et al. A guide for managing patients with stage I NSCLC: deciding between lobectomy, segmentectomy, wedge, SBRT and ablation-part 1: a guide to decision-making. *J Thorac Dis.* 2022;14:2340-56.
15. Temming S, Kocher M, Stoelben E, Hagemeyer L, Chang DH, Frank K, et al. Risk-adapted robotic stereotactic body radiation therapy for inoperable early-stage non-small-cell lung cancer. *Strahlenther Onkol.* 2018;194:91-7.
16. Sun B, Brooks ED, Komaki RU, Liao Z, Jeter MD, McAleer MF, et al. 7-year follow-up after stereo-tactic ablative radiotherapy for patients with stage I non-small cell lung cancer: results of a phase 2 clinical trial. *Cancer.* 2017;123:3031-9.
17. Chang JY, Mehran RJ, Feng L, Verma V, Liao Z, Welsh JW, et al. Stereotactic ablative radiotherapy for operable stage I non-small-cell lung cancer (revised STARS): long-term results of a single-arm, prospective trial with prespecified comparison to surgery. *Lancet Oncol.* 2021;22:1448-57.
18. Palma DA, Olson RA, Harrow S, Gaede S, Louie AV, Haasbeek C, et al. Stereotactic Ablative Radiation Therapy for the Comprehensive Treatment of Oligometastatic Tumors (SABR-COMET): results of a randomized trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2018;102:S3-4.
19. Van Oirschot M, Bergman A, Verbakel WFAR, Ward L, Gagne I, Huang V, et al. Determining planning priorities for SABR for oligometastatic disease: a secondary analysis of the SABR-COMET phase II randomized trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;114:1016-21.
20. Ashram S, Bahig H, Barry A, Blanchette D, Celinski A, Chung P, et al. Planning trade-offs for SABR in patients with 4 to 10 metastases: a substudy of the SABR-COMET-10 randomized trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;114:1011-5.
21. Harrow S, Palma DA, Olson R, Gaede S, Louie AV, Haasbeek C, et al. Stereotactic radiation for the comprehensive treatment of oligometastases (SABR-COMET): extended long-term outcomes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;114:611-6.
22. Wang L, Ke Q, Huang Q, Shao L, Chen J, Wu J. Stereotactic body radiotherapy versus radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperthermia.* 2020;37:1313-21.
23. Lee J, Shin IS, Yoon WS, Koom WS, Rim CH. Comparisons between radiofrequency ablation and stereotactic body radiotherapy for liver malignancies: meta-analyses and a systematic review. *Radiother Oncol.* 2020;145:63-70.
24. Rim CH, Kim HJ, Seong J. Clinical feasibility and efficacy of stereotactic body radiotherapy for hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Radiother Oncol.* 2019;131:135-144.
25. Rives M, Izar F, Parent L, Modesto A, Portier G, Sylvain K. Dose to organ at risk and dose prescription in liver SBRT. *Rep Pract Oncol Radiother.* 2017;22:96-102.
26. Osborn VW, Lee A, Yamada Y. Stereotactic body radiation therapy for spinal malignancies. *Technol Cancer Res Treat.* 2018;17:1533033818802304.
27. Moussazadeh N, Lis E, Katsoulakis E, Kahn S, Svoboda M, DiStefano NM, et al. Five-year outcomes of high-dose single-fraction spinal stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;93:361-7.
28. Zeng KL, Myrehaug S, Soliman H, Husain ZA, Tseng CL, Detsky J, et al. Mature local control and reirradiation rates comparing spine stereotactic body radiotherapy to conventional palliative external beam radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;114:293-300.
29. Laufer I, Rubin DG, Lis E, Cox BW, Stubblefield MD, Yamada Y, et al. The NOMS framework: approach to the treatment of spinal metastatic tumors. *Oncologist.* 2013;18:744-51.
30. De la Pinta C. SBRT in non-spine bone metastases: a literature review. *Med Oncol.* 2020;37:119.
31. Palma DA, Olson R, Harrow S, Gaede S, Louie AV, Haasbeek C, et al. Stereotactic ablative radiotherapy versus standard of care palliative treatment in patients with oligometastatic cancers (SABR-COMET): a randomized, phase 2, open-label trial. *Lancet.* 2019;393:2051-8.
32. López-Campos F, Cacicado J, Couñago F, García R, Leaman-Alcibar O, Navarro-Martin A, et al. SEOR SBRT-SG stereotactic body radiation therapy consensus guidelines for non-spine bone metastasis. *Clin Transl Oncol.* 2022;24:215-26.
33. Hickey BE, James ML, Daly T., Soh FY, Jeffery M. Hypofractionation for clinically localized prostate cancer. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;9:CD011462.
34. Royce TJ, Lee DH, Keum N, Permpalung N, Chiew CJ, Epstein S, et al. Conventional versus hypofractionated radiation therapy for localized prostate cancer: a meta-analysis of randomized noninferiority trials. *Eur Urol Focus.* 2019;5:577-84.
35. Sinzabakira F, Heemsbergen WD, Pos FJ, Incrocci L. Patient-reported outcomes in the Acute Phase of the Randomized Hypofractionated Irradiation for Prostate Cancer (HYPRO) trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2022;112:870-9.
36. Arcangeli G, Saracino B, Arcangeli S, Gomellini S, Petrongari MG, Sanguineti G, et al. Moderate hypo-fractionation in high-risk, organ-confined prostate cancer: Final results of a phase III randomized trial. *J Clin Oncol.* 2017;35:1891-7.
37. Widmark A, Gunnlaugsson A, Beckman L, Thellenberg-Karlsson C, Hoyer M, Lagerlund M, et al. Ultra-hypofractionated versus conventionally fractionated radiotherapy for prostate cancer: 5-year outcomes of the HYPO-RT-PC randomised, non-inferiority, phase 3 trial. *Lancet.* 2019;394:385-95.
38. Gómez-Aparicio MA, Valero J, Caballero B, García R, Hernandez-Requejo O, Montero Á, et al. Extreme hypofractionation with SBRT in localized prostate cancer. *Curr Oncol.* 2021;28:2933-49.
39. Jackson WC, Dess RT, Litzenberg DW, Li P, Schipper M, Rosenthal SA, et al. A multi-institutional phase 2 trial of prostate stereotactic body radiation therapy (SBRT) using continuous real-time evaluation of prostate motion with patient-reported quality of life. *Pract Radiat Oncol.* 2018;8:40-7.
40. Boyer MJ, Papagikos MA, Kiteley R, Vujaskovic Z, Wu J, Lee WR. Toxicity and quality of life report of a phase II study of stereotactic body radiotherapy (SBRT) for low and intermediate risk prostate cancer. *Radiat Oncol.* 2017;12:14.
41. Alayed Y, Cheung P, Pang G, Mamedov A, D'Alimonte L, Deabreu A, et al. Dose escalation for prostate stereotactic ablative radiotherapy (SABR): late outcomes from two prospective clinical trials. *Radiother Oncol.* 2018;127:213-8.
42. Fuller DB, Kane BL, Medbery CA, Underhill K, Gray JR, Peddada A, et al. 5-year outcomes from a prospective multi-institutional trial of heterogeneous dosing stereo-tactic body radiotherapy (SBRT) for low- and intermediate-risk prostate cancer. *J Clin Oncol.* 2017;35:35.
43. Fransson P, Nilsson P, Gunnlaugsson A, Beckman L, Tavelin B, Norman D, et al. Ultra-hypofractionated versus conventionally fractionated radiotherapy for prostate cancer (HYPO-RT-PC): patient-reported quality-of-life outcomes of a randomised, controlled, non-inferiority, phase 3 trial. *Lancet Oncol.* 2021;22:235-45.
44. Musunuru HB, D'Alimonte L, Davidson M, Ho L, Cheung P, Vesprini D, et al. Phase III study of stereotactic ablative radiotherapy including regional lymph node irradiation in patients with high-risk prostate cancer (SATURN): early toxicity and quality of life. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2018;102:1438-47.
45. Meier RM, Bloch DA, Cotrutz C, Beckman AC, Henning GT, Woodhouse SA, et al. Multicenter trial of stereotactic body radiation therapy for low- and intermediate-risk prostate cancer: survival and toxicity endpoints. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2018;102:296-303.
46. Foerster R, Zwahlen DR, Buchali A, Tang H, Schroeder C, Windisch P, et al. Stereotactic body radiotherapy for high-risk prostate cancer: a systematic review. *Cancers (Basel).* 2021;134:759.
47. Jackson WC, Silva J, Hartman HE, Dess RT, Kishan AU, Beeler WH, et al. Stereotactic body radiation therapy for localized prostate cancer: a systematic review and meta-analysis of over 6,000 patients treated on prospective studies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2019;104:778-89.
48. Isfahanian N, Lukka H, Dayes I, Quan K, Schnarr KL, Douvi G, et al. A randomized phase II trial of prostate boost irradiation with stereotactic body radiotherapy (SBRT) or conventional fractionation (CF) external beam radiotherapy (EBRT) in locally advanced prostate cancer: the PBS trial (NCT03380806). *Clin Genitourin Cancer.* 2020;18:e410-5.
49. Szturz P, Vermorken, J. Oligometastatic cancer: key concepts and research opportunities for 2021 and beyond. *Cancers (Basel).* 2021;13:2518.
50. Guckenberger M, Lievens Y, Bouma AB, Collette L, Dekker A, de Souza NM, et al. Characterisation and classification of oligometastatic disease: a European Society for Radiotherapy and Oncology and European Organization for Research and Treatment of Cancer consensus recommendation. *Lancet Oncol.* 2020;21:e18-28.
51. Li GJ, Arifin AJ, Al-Shafa F, Cheung P, Rodrigues GB, Palma DA, et al. A review of ongoing trials of stereotactic ablative radiotherapy for oligometastatic disease in the context of new consensus definitions. *Ann Palliat Med.* 2021;10:6045-51.
52. Morris Z, Dohopolski M, Rahimi A, Timmerman R. Future directions in the use of SABR for the treatment of oligometastatic cancers. *Semin Radiat Oncol.* 2021;31:253-62.