

Radiobiología

Revista electrónica

ISSN 1579-3087

<http://www-rayos.medicina.uma.es/rmf/radiobiologia/revista/radiobiologia.htm>

[http://www-rayos.medicina.uma.es/rmf/radiobiologia/revista/numeros/RB3\(2003\)66-70.pdf](http://www-rayos.medicina.uma.es/rmf/radiobiologia/revista/numeros/RB3(2003)66-70.pdf)

Radiobiología 3 (2003) 66-70

La braquiterapia como tratamiento de tumores localizados

Francisco Martín Carvajal

Médico Interno Residente. Cirugía General, Hospital Clínico Virgen de la Victoria

Málaga (España)

Recibido 22 septiembre 2003; aceptado 1 noviembre 2003



Edita: Grupo de Investigación de Radiobiología.
Dpto. Radiología y Medicina Física. Universidad
de Málaga (España)



Radiobiología 3 (2003) 66-70

Radiobiología
Revista electrónica

Edita: Grupo de Investigación de Radiobiología.
Dpto. Radiología y Medicina Física. Universidad
de Málaga (España)

<http://www-rayos.medicina.uma.es/rmf/radiobiologia/revista/radiobiologia.htm>

La braquiterapia como tratamiento de tumores localizados

Francisco Martín Carvajal

Médico Interno Residente. Cirugía General, Hospital Clínico Virgen de la Victoria

Málaga (España)

Recibido 22 septiembre 2003; aceptado 1 noviembre 2003

Resumen

La braquiterapia es un tipo de radioterapia que utiliza fuentes cerradas o selladas de material radiactivo (isótopos radiactivos) que liberan radiación y se colocan cerca del tumor o se introducen en el seno del mismo. Principalmente indicada en tumores malignos aunque también se utiliza en enfermedades benignas como la prevención de reestenosis coronarias o reestenosis de vasos periféricos.

Palabras clave: radiación; braquiterapia; cáncer; próstata; indicaciones

Radioterapia

La radioterapia intenta maximizar la absorción de la radiación dentro del cuerpo, de modo que la energía se deposite en una zona del cuerpo ocupada por un tumor, ocasionando daño local. La limitación en la cantidad de radiación se debe al hecho inevitable de que el tejido sano que rodea al tumor también resulta irradiado, por lo cual se produce, un efecto negativo para la salud del paciente. La radioterapia busca entonces el equilibrio entre una máxima irradiación al tumor y una mínima irradiación al tejido sano vecino.

Braquiterapia

La braquiterapia es un tipo de radioterapia que utiliza fuentes cerradas o selladas de material

radiactivo (isótopos radiactivos) que liberan radiación y se colocan cerca del tumor o se introducen en el seno del mismo sin necesidad de pasar a través de otras estructuras sanas, esta es su mayor ventaja: la de concentrar la máxima dosis de radiación en la zona que se quiere irradiar siendo más escasa la irradiación del tejido sano situado alrededor; se basa en el hecho de que la dosis recibida en la proximidad de una fuente decrece muy rápidamente al alejarse de ella.

El radio ha sido el elemento más usado en braquiterapia, pero debido a que en su decaimiento pasa por un elemento gaseoso (el radón), es posible que las agujas selladas que contienen el material radiactivo presenten fugas y puedan

ocasionar exposiciones innecesarias para el paciente.

Menos riesgo que el radio tienen otros isótopos como el yodo-131, con una vida media de 7 días y el fósforo-32 con una vida media de dos semanas. Estos dos isótopos, por su vida media tan corta, son introducidos directamente al organismo y residiendo hasta que terminan de decaer.

Como uno de los problemas de la braquiterapia, también llamada curieterapia, es la posible exposición innecesaria del paciente y del personal sanitario que prepara, transporta y manipula las fuentes radiactivas, se han ideado una serie de métodos como la utilización de fuentes simuladas no radiactivas para el cálculo de su posición correcta en el paciente, el uso de mandos de control a distancia de las fuentes radiactivas o la retirada automática de las mismas hasta un lugar protegido en el caso de que surja alguna incidencia.

Normalmente la radiación externa es la convencional, y la braquiterapia es una técnica que la complementa, de tal manera que a través del acelerador lineal, que es el generador de la radiación externa, se trata el tumor a través de unas puertas de entrada por donde se introduce el haz, y con la braquiterapia subimos la dosis en el área tumoral.

La implantación de los radioisótopos puede ser temporal o permanente, como es el caso del paladio:

- Los implantes permanentes están compuestos por semillas radiactivas que se introducen dentro del tumor. El material implantado de forma permanente se mantiene indefinidamente en el organismo del paciente. Sin embargo, es una radiación de muy baja energía que se libera en su totalidad al cabo de unas semanas, por lo que no entraña ningún riesgo para el enfermo, familiares o personal médico. En el caso del paladio, a los dos meses de su instalación libera el 90 % de irradiación. Son utilizadas en los tumores de próstata.
- Los implantes temporales radian a través de las cavidades anatómicas o de agujas hasta completar la dosis. En la mayoría de tumores se utiliza este tipo de implante

Tipos de braquiterapia según la localización del tumor

- Superficial: cuando las placas de material radiactivo se colocan sobre la superficie del tumor. Ej. : tumores cutáneos u oculares.
- Endocavitaria o intracavitaria: cuando el material radiactivo se introduce a través de las cavidades naturales del organismo donde se localiza el tumor (tumores ginecológicos: vagina y cuello de útero; de esófago o bronquiales).

- Intersticial: cuando se realiza la colocación quirúrgica, guiados por ecografía o TAC, de agujas, alambres o semillas radiactivas, que pueden ser de plástico o metálicos, en el seno del propio tumor, cuando el tumor no se localiza en las cavidades naturales. Ej.: mama, cuello, próstata.
- Intraluminal: cuando la radiación se aplica por dentro de la luz de alguno de los conductos orgánicos (bronquio, esófago, vascular).

Conceptos Físicos

La radiación ionizante producida por cualquier isótopo es generada a consecuencia de la desintegración de los núcleos atómicos de dicho isótopo.

Actividad (A): es la medida de la cantidad de desintegraciones que se producen en un material radiactivo en la unidad de tiempo. Las unidades para expresarla son: el Becquerel (Bq), corresponde a 1 desintegración por segundo, y el Curie (Ci) que corresponde a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo.

Desde el punto de vista de la dosimetría, la actividad no es una magnitud adecuada para su caracterización pues resulta difícil medir en el laboratorio y normalmente se presenta como una magnitud derivada de otras que si se pueden hacer directamente. Por ejemplo: La exposición o dosis iónica: puede medirse con una cámara de ionización y un electrómetro. Expresa la cantidad de iones de un solo signo que se forman en la unidad de masa del aire como resultado del paso de la radiación. La unidad del sistema internacional para la exposición es el culombio/kilogramo (C/kg).

Otra unidad de uso muy frecuente aún en nuestros días es el roentgen cuya equivalencia en el SI es: $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.

La exposición puede calcularse a partir de la actividad del isótopo usando la constante de exposición específica para radiación gamma, G, esta depende de la composición espectral de la radiación, por ello la constante es específica del isótopo.

Otro elemento que puede afectar el valor de G es el blindaje de la fuente, pues el material que encapsula al radioisótopo actúa como filtro y modifica la composición espectral de la radiación.

Si se tiene una fuente radiactiva casi puntual con actividad A, cuya constante gamma se conoce y se desea calcular la exposición (X) que ella produce en el aire a una distancia (d) en la unidad de tiempo, podemos usar la siguiente expresión:

$$X = \frac{G \cdot A}{d^2}$$

La expresión es válida si se cumplen las siguientes condiciones:

- La fuente es isótropa.

- La unidad de tiempo empleada es mucho menor que el período de semidesintegración del isótopo.

Dosis es la cantidad de energía que deposita un haz de radiación ionizante en la unidad de masa. La dosis que absorbe el tejido está muy vinculado al efecto biológico que produce la radiación, por ello es el término de dosimetría más usado en la radio-oncología. Se define como la transferencia de energía de un fotón al medio (tejido) y tiene lugar en dos etapas:

1. Comienza cuando el fotón interactúa con un átomo y pone en movimiento uno o varios electrones de alta energía, la energía que transfiere el fotón primario en esta etapa se conoce como Kerma.
2. La segunda etapa se produce con el frenado de los electrones de alta energía, en forma de excitación e ionización. La energía que depositan en el medio los electrones de esta etapa, es la dosis.

La unidad del SI para la dosis es el Gray, cuyo símbolo es Gy.

$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg}$ donde J es el símbolo de la unidad básica de energía del SI, el Joule.

En Radioterapia es de uso muy común el cGy, que es igual al rad. El símbolo que se emplea en las expresiones para la dosis es D.

Existen numerosos trabajos publicados que indican las distribuciones de dosis medidas o simuladas. El algoritmo para el cálculo de la dosis asociada a una fuente puntual que se encuentra en el tejido ha evolucionado, y aún se trabaja para tener en cuenta todos los efectos perturbadores.

El tratamiento matemático de las inhomogeneidades del tejido es otro aspecto discutido en el cálculo de la dosis alrededor de las fuentes de braquiterapia. La inclusión de métodos para corregir inhomogeneidades en un programa para cálculo de dosis en braquiterapia conduciría a un incremento considerable del tiempo de ejecución. La perturbación debida a heterogeneidades en el campo de dosis de la fuente es más pronunciada para los isótopos emisores de radiación de baja energía, pues el efecto predominante es la interacción fotoeléctrica, por lo que la absorción depende del número atómico de los elementos que contienen el medio.

La distribución en el tiempo de la dosis es el otro elemento que define el efecto biológico que se alcanza. Se han ensayado esquemas de tratamiento que van desde pocos minutos hasta implante permanente.

Alta tasa de dosis

La alta tasa de dosis es una modalidad preferencial de braquiterapia. Es realizada en un

micro-selectron HDR-Nucleotron. Utiliza una micro-fuente radioactiva de migratoria controlada por control remoto computadorizado. En la braquiterapia de alta dosis se llega con unos catéteres por guía. Estos catéteres están conectados a una máquina que van a despedir fuentes microscópicas y gracias a la computadora nos dice en que lugar y cuánto es el tiempo necesario de permanencia de las semillas.

Baja Tasa de Dosis

La utilización de isótopos radiactivos de baja tasa de dosis deja de ser práctica de rutina y es paulatinamente abandonada. Los procedimientos de baja tasa de dosis están restringidos a implantes intersticiales y oftálmicos con placas de cobalto-60 (indicado en el tratamiento de retinoblastoma y de melanoma intraocular). Se utiliza una placa radioactiva y suturada en esclera adyacente a la lesión. Tiene como ventaja el control tumoral y la preservación de la visión.

Dosimetría clínica en braquiterapia

Con equipos como el TAC se pueden hacer los implantes de las fuentes en tiempo real y se delimita con mayor precisión el volumen tumoral, la dosimetría y la liberación de la irradiación.

Estos métodos se utilizan para la reconstrucción de fuentes y de puntos de interés en Braquiterapia de manera sencilla. Se realiza una serie de comprobaciones y ajustes previos en el equipo de TC. El método basado en las radiografías localizadoras ortogonales es compatible con el uso de aplicadores metálicos y evita la utilización de la "caja" con marcas de referencia que viene utilizándose tradicionalmente en el simulador convencional. Los dos métodos utilizan el mismo sistema de coordenadas, por ello permite su utilización conjunta, y se aprovecha así la información radiodiagnóstica de TC disponible y facilita su incorporación en la rutina de la dosimetría clínica de Braquiterapia

Indicación de braquiterapia

Principalmente indicada en tumores malignos aunque también se utiliza en enfermedades benignas como la prevención de reestenosis coronarias o reestenosis de vasos periféricos.

Aplicaciones

Braquiterapia estereotáxica:

Las fuentes que con más frecuencia se emplean en la braquiterapia estereotáxica son el ^{192}Ir y el ^{125}I .

El Iridium-192, es más barato que el Iodo-125, pero las regulaciones de protección radiológica no permiten, en algunos casos, que el

paciente salga del hospital durante su tratamiento. Se emplea frecuentemente en forma de alambre, con actividad próxima a los 0.3 mCi/mm. Generalmente se presenta como un núcleo de Iridium de 0.1 mm de diámetro y una cápsula cilíndrica de platino de 0.1 mm.

La tendencia actual es favorecer el uso del Iodo-125, pues debido a su baja energía media, se alcanza un mayor gradiente de dosis en la frontera del tumor, respeta mejor la masa encefálica sana de la periferia y además las normas de protección radiológica son menos rigurosas.

El Iodo-125 generalmente se presenta en forma de semillas y la de uso más frecuente para braquiterapia estereotáxica es de 4.5 mm de largo y 0.8 mm de diámetro externo, con cápsula de titanio y con el yodo incorporado a pequeñas esferas de resina de intercambio aniónico, este no incorpora marcador de rayos X, y existe otro modelo que incorpora una barra de plata que sirve de marcador de rayos X.

En la distribución del tiempo de dosis muchos piensan que un régimen óptimo es el de unos 10 cGy/h promedio al margen del volumen blanco, hasta alcanzar 60 Gy, esto se consigue con tiempos de implante entre 20 y 30 días.

Los tumores quísticos deben ser tratados de forma especial. Se emplean radioisótopos coloidales beta-emisores.

La irradiación intracavitaria:

Puede emplearse en el manejo de tumores quísticos recurrentes intracraniales. La radiación beta está formada por electrones resultados de una desintegración nuclear. Los electrones, debido fundamentalmente a su carga eléctrica, interactúan mucho más en el tejido que los fotones de los rayos gamma, teniendo menos poder de penetración. Con estos isótopos se puede impartir una dosis elevada a la pared del quiste sin afectar el tejido sano de la vecindad; se emplean en este tipo de tratamiento ^{90}Y , ^{186}Re y el ^{32}P .

El ^{32}P es el más usado y tiene un tiempo de semidesintegración de 14.2 días, su energía máxima es de 1.71 MeV y la media de 0.694 MeV. La dosis que generalmente se calcula a la pared interna del quiste oscila entre 200 y 400 Gy. El volumen tumoral se mide por imágenes o por estudios de la dilución del isótopo dentro del fluido del quiste. El isótopo se debe inyectar tratando que el volumen del contenido líquido se preserve, para garantizar que toda la pared sea correctamente expuesta a la radiación. A los 30 días (aproximadamente 2 vidas medias) se aspira todo el líquido que se pueda.

Braquiterapia endobronquial:

La Braquiterapia Endobronquial con alta tasa de dosis es una técnica utilizada, en el tratamiento del cáncer de pulmón y de otros tumores de la vía aérea localmente avanzado, con intención curativa o como tratamiento desobstructivo de los bronquios.

Se inicia mediante la práctica de una broncoscopia. A través de la cámara del broncoscopio se visualiza la localización exacta del tumor y su extensión.

Se utilizan Rx ortogonales para reconstrucción tridimensional y dosimetría. Dosis calculada a 1 cm del eje en centro del movimiento de la fuente de Iridio. No hay un acuerdo general en cuanto al fraccionamiento ni a la dosis total a aplicar.

Utilizando una fuente de Ir^{192} de una actividad elevada que se desplaza por el interior de una sonda de plástico de 2-3 mm diámetro. Se consigue irradiar desde el interior del bronquio, con una dosis muy elevada en el tumor endobronquial, sin irradiar las estructuras y órganos vecinos. El procedimiento se realiza sólo con sedación ligera y anestesia local. Los resultados actuales son buenos, en cuanto a paliación de síntomas y a la remisión de las lesiones endoscópicas,

Braquiterapia endovascular:

La radioterapia endovascular (braquiterapia) aparece como el medio terapéutico de mayor potencial en la actualidad para combatir la reestenosis de la angioplastia coronaria

Existen dos tipos de radiación que se aplican en la braquiterapia endovascular: la radiación gamma que consiste en fotones emitidos durante procesos de de-exitación nuclear. Son rayos de alta penetración de tejidos; y la radiación beta caracterizada por la emisión de partículas beta; las cuales poseen características similares a los electrones. Tienen una penetración en profundidad de los tejidos muy baja.

Según las dosis de radiación administradas surgen dudas sobre los efectos a largo plazo en el lecho coronario y a nivel sistémico. Dada la alta penetración de la radiación gamma originada en Ir^{192} , no es posible bloquearla con las tónicas de plomo comúnmente usadas en las salas de cateterismo. Por ello este sistema esta expuesto a dosis de radiación más altas que en una angioplastia coronaria.

Se estudiaron otros isótopos de radiación menos penetrantes tales como isótopos de radiación beta y stents beta-radioactivos Debido a la baja penetración de la radiación beta, las dosis recibidas disminuyen rápidamente al alejarse del centro emisor. Los resultados de esta técnica están siendo muy favorables con respecto a la angioplastia coronaria. En determinados estudios se ha demostrado que se pueden lograr, con radiación beta, resultados similares a los obtenidos con radiación gamma.

Braquiterapia de Tumores ginecológicos

El tratamiento radioterápico combinado con quimioterapia es el tratamiento habitual del carcinoma del cuello de alto riesgo. También es útil en cáncer de endometrio en las que cuando la cirugía supone un riesgo excesivo por presentar

otras enfermedades asociadas. En los casos de cáncer de mama que se les realiza cirugía conservadora deben ser tratadas con irradiación externa. En situaciones que presentan mayor de riesgo de fallo local, por la afectación de márgenes quirúrgicos, el tratamiento puede realizarse con braquiterapia intersticial. La braquiterapia perioperatoria asociada a cirugía es una técnica útil en los casos en que, tras una resección quirúrgica de un tumor, existe el riesgo de recaída de la enfermedad.

Braquiterapia del Cáncer de Próstata

La braquiterapia del cáncer de próstata con semillas radiactivas es una alternativa conservadora para tratar estos tumores cuando están limitados a la glándula. El objetivo es administrar una dosis de irradiación, que puede llegar a 160 Gy, suficiente para anular el crecimiento tumoral y lo más baja posible para evitar las complicaciones de irradiar a los órganos vecinos. La tomografía axial computarizada y la ecografía transrectal hicieron que la distribución de las semillas, fueran colocadas a través de punciones con agujas dirigidas de manera más uniforme.

Se utilizan los isótopos radiactivos: Yodo-125 (^{125}I) o Paladio-103 (^{103}Pd) en forma de semillas recubiertas de Titanio. La principal diferencia entre ambos es la vida media, la cual a su vez determina la frecuencia de dosis inicial del implante. El ^{125}I , con una vida media de 60 días, emite entre 8 y 10 cGy por hora al momento del implante, mientras que el ^{103}Pd , con una vida media de 17 días, emite entre 20 y 24 cGy por hora. La "dosis biológicamente efectiva" de Paladio-103 es más baja que la de Yodo-125. Este hecho sugiere que las complicaciones a largo plazo del Paladio-103 deberían ser también más bajas que las de la braquiterapia basada en el Yodo.

Se recomienda utilizar ^{125}I en tumores con células bien o moderadamente diferenciadas, de crecimiento lento y el ^{103}Pd en tumores mal diferenciados, de crecimiento más rápido, ya que este radisótopo libera su energía en menos días. La baja energía del ^{125}I y del ^{103}Pd , hacen innecesarias medidas de radioprotección especiales.

La braquiterapia prostática moderna consiste de 3 fases: la planificación del tratamiento, la inserción de la fuente radiactiva y la evaluación posterior del implante para verificar la dosis radiactiva colocada.

La sonda ecográfica se coloca sobre un soporte especial permite ir retirando a intervalos de 5 mm. Se obtiene un corte transversal de la próstata y se dibuja su perímetro. El ecógrafo está dotado de un software específico dando por sumación, el volumen total de la glándula. Las imágenes ecográficas se trasladan a un programa elaborado para cálculos dosimétricos, que nos da el número de semillas y su actividad y genera un

mapa de la distribución espacial de las semillas con la dosis prevista. Las semillas se colocan en agujas de 18G. Se utilizan alrededor de 100 en cada tratamiento. Se introducen por vía transperineal, con la guía de una rejilla horadada y dirigidas por ecografía transrectal. Cuando llegan a los lugares indicados por la planificación previa se depositan las semillas.

Las semillas pueden implantarse sueltas o unidas en un hilo trenzado de vicrilo. Este sistema permite irradiar mejor la cápsula, con menor riesgo de emigración de las semillas. Al finalizar para comprobar que no hay ninguna en vejiga urinaria se hace una fluoroscopia con contraste. Se hace un cálculo dosimétrico de control al mes mediante TAC, con identificación de cada una de las semillas.

Complicaciones: Agudas (6 meses postratamiento): disuria, hematuria, polaquiuria, prostatitis. Tardías (después de los 6 meses): cistitis, incontinencia.

La supervivencia libre de enfermedad de los pacientes con cáncer prostático de bajo riesgo tratados con braquiterapia sola es del 66 %, pero alcanza al 79 % en los pacientes de alto riesgo que reciben además radioterapia externa. La braquiterapia del carcinoma de próstata es una opción terapéutica, tan válida como la cirugía radical o la radioterapia externa. Cuando el tumor está localizado en la glándula es el tratamiento más adecuado del cáncer de próstata para hombres menores de 65 años.

Referencias

- Radge H, Grado GL, Nadir By Elgamal A-A. Modern Prostate Brachuthrapy. A Cancer Journal for Clinicians 2000; 50: 380-393
- Pérez-Calatayud J, Lliso F, Carmona V, Bea J, Tormo A, Petschen I, Millán E. Dosimetría clínica en Braquiterapia basada exclusivamente en TC. Boletín SFEM, 4-1997.
- Apardian R, Besada E, Glausius A, Romero G, Santini A. Radioterapia vascular: prevención de la reestenosis. Aspectos radiobiológicos, físicos y clínicos.. Servicio de Radioterapia. Hospital de Clínicas de Uruguay, 2000.
- Supervivencia en los cánceres de próstata después de tratamiento con braquiterapia. Nuclear News, octubre, 2001.
- La braquiterapia del cáncer de próstata con semillas de Yodo-125 o Paladio-103. Una alternativa a la cirugía. Cetir, Grup medic.
- Díaz P, Luongo A. Radioterapia endovascular. Una solución a nuestro alcance. Rev Med Uruguay 1999; 15: 189-192.
- Alaminos Bouza A. Revisión de los Aspectos Físicos de la Braquiterapia Estereotáxica. Micromar Ind. e Com. Ltda., 1994