

COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN RADIOTERAPIA CONVENCIONAL Y CONFORMAL PARA CÁNCER DE PRÓSTATA POR MEDIO DE DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE

por

L. Mahecha¹, M.C. Plazas², H. Machado³ & S. Perea⁴

Resumen

Mahecha, L., M.C. Plazas, H. Machado & S. Perea: Comparación de los tratamientos en radioterapia convencional y conformal para cáncer de próstata por medio de dosimetría termoluminiscente. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **30** (117): 517-524, 2006. ISSN 0370-3908.

En el tratamiento del cáncer de próstata, la dosis prescrita por el médico oncólogo depende de la extensión de la enfermedad y de la dosis de tolerancia de los tejidos adyacentes normales. Para lograr un óptimo control tumoral en estadios tempranos y localmente avanzados, es necesario escalar la dosis con probabilidad baja de morbilidad a nivel rectal y vesical. Esto se logra por medio de la radioterapia conformal. En el instituto nacional de cancerología esta técnica es usada, pero surgen dos interrogantes de los radioncólogos y físicos médicos: de acuerdo a los protocolos clínicos, la técnica conformal entrega una dosis menor a las estructuras adyacentes, ¿existe un método experimental que verifique dosimétricamente la certeza de esta afirmación?, y ¿los sistemas de planeación dosimétricos calculan adecuadamente las dosis en los diferentes órganos como lo recomiendan los protocolos de control de calidad en radiaciones ionizantes del organismo internacional de energía atómica? Este trabajo pretende dar respuesta a estas preguntas. Mediante dosimetría termoluminiscente y utilizando simuladores físicos, se midió la dosis absorbida en el volumen blanco y en los tejidos adyacentes en radioterapia conformal y convencional. Se mostró que órganos como recto y vejiga reciben menor dosis en radioterapia conformal, disminuyendo de esta forma su probabilidad de morbilidad. Adicionalmente, se compararon las lecturas de los dosímetros termoluminiscentes con los valores de las dosis suministrados por el sistema de planeación dosimétrico eclipse concluyendo que la dosis prescrita al paciente es la realmente entregada como lo exige los programas de control de calidad en radioterapia.

¹ Grupo de Física Médica, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.

² Grupo de Física Médica, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.

³ Grupo de Física Médica, Instituto Nacional de Cancerología E.S.E.

⁴ Grupo de Radioterapia, Instituto Nacional de Cancerología E.S.E.

Palabras clave: Radioterapia convencional, radioterapia conformal, cáncer, próstata, dosimetría termoluminiscente.

Abstract

In the prostate cancer treatment, the dose prescribed by the medical radio-oncologist depends on the extension of the disease and the threshold dose of the adjacent healthy tissues. In order to achieve an optimal tumoral control in early and locally advanced stages, it is necessary to increase the dose with a low morbidity probability at the vesicle and rectal level. This is achieved through conformal radiotherapy. The Instituto Nacional de Cancerología uses this technique, but two questions arise from the medical-physicists and medical radio-oncologist: In accordance with clinical protocols, the conformal radiotherapy delivers a low dose to the adjacent healthy tissues. What experimental method exists that can prove with certainty the veracity of this affirmation? And, Do the dosimetric simulation systems calculate suitably the dose for each tissues, as recommended by *International Atomic Energy Agency* quality control programs for ionizer radiation? This paper seeks to answer these questions. Through thermoluminescent dosimetry and the use of a physical simulator, we measured the absorbed dose at the target volume and the adjacent tissues using conformal and conventional radiotherapy. We proved that organs such as the rectum and bladder, receive a minor dose in conformal radiotherapy, hence reducing their morbidity probability. In addition, the readings from the thermoluminescent dosimeters and the doses calculated by the ECLIPSE dosimetric system were compared, concluding that the patient's prescribed dose is effectively delivered as recommended by the quality control programs in radiotherapy.

Key words: Conventional radiotherapy, conformal radiotherapy, cancer, prostate, thermoluminescence dosimetry.

Introducción

El cáncer puede ser controlado por medio de cuatro tipos de tratamientos, los cuales se eligen de acuerdo al estadio de la enfermedad y a criterio del médico oncólogo: la cirugía, la quimioterapia, la inmunoterapia y con radiaciones ionizantes llamada radioterapia.

Ésta última es aplicada desde el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y del radio y polonio por los esposos Curie en 1898. Se han mejorado las técnicas y los procedimientos para brindar una mayor seguridad y efectividad en los tratamientos al paciente y al personal ocupacionalmente expuesto.

Las estadísticas del Instituto Nacional de Cancerología concluyeron que en el período 2000-2002, el cáncer de próstata fue la segunda causa básica de defunción en Colombia con 6.099 muertes seguida del cáncer de pulmón con 5232 y antecedida por cáncer de estómago con 7744¹.

El cáncer de próstata es dependiente de la dosis de acuerdo a la extensión de la enfermedad $66\text{Gy} < d < 76\text{Gy}$. Cuando el estadio de la enfermedad aumenta, es necesario escalar la dosis prescrita al tumor, pero los tejidos adyacentes normales, como vejiga y recto, son limitantes de

dosis debido a su tolerancia a la radiación. La radioterapia convencional permite dar una dosis total óptima en el volumen tumoral entre 66-70 Gy para no incrementar la morbilidad a nivel rectal y vesical. Si la enfermedad se encuentra en un estadio localmente avanzado, se puede lograr un buen control tumoral escalando la dosis a 76 Gy, lo cual no es conveniente para los órganos adyacentes. La radioterapia 3D o conformal permite dicho escalamiento dirigido a un volumen tumoral, protegiendo los tejidos normales próximos de sobreexposición^{2,3}. En el Instituto Nacional de Cancerología, esta técnica es recientemente usada y se aplica en el tratamiento para cáncer de próstata. Surgen dos observaciones de los radioncólogos y físicos médicos: ¿Al aumentar la dosis en radioterapia conformal los tejidos adyacentes reciben menor dosis que el volumen blanco en comparación con el tratamiento convencional?, y, ¿La dosis prescrita en los sistemas computarizados de planeación es realmente la realmente entregada al paciente como lo recomiendan, los programas de control de la calidad en radioterapia?

En este trabajo se estudia experimentalmente la dosis absorbida por los tejidos expuestos usando un simulador físico y se compara con la dosis calculada en el sistema de planeación Eclipse del Instituto Nacional de Cancerología E.S.E.

Parte experimental

El cáncer es el crecimiento tisular patológico originado por la proliferación continua de las células anormales, con capacidad de expansión y destrucción local e invasión de otros tejidos.

Se distinguen tres tipos principalmente, los carcinomas que afectan el tejido epitelial, los sarcomas que afectan los tejidos conjuntivos y las leucemias que afectan las células sanguíneas.

La próstata está alojada en el compartimiento o nicho prostático inmediatamente por debajo de la vejiga, rodeando la uretra. Tiene forma de castaña o triángulo achatado en su base o cara superior. Pesa 20 a 25 g y mide 3 x 4 x 2,5 cm en el hombre adulto

Dependiendo del estado de la enfermedad, el médico radio-oncólogo decide el tratamiento a seguir, de acuerdo a protocolos ya establecidos⁴.

Una de las técnicas usadas en el tratamiento del cáncer es la *radioterapia* y consiste en la exposición de tejidos a radiaciones ionizantes. Se usan fuentes naturales o artificiales de radiación. El mecanismo radiobiológico de acción a nivel celular es la producción de radicales libres, nocivos para las estructuras vitales de la célula, como por ejemplo en el núcleo donde se localiza el ADN.

Existen dos tipos fundamentales de terapia con radiaciones⁵:

- Radioterapia Externa. Llamada también teleterapia. La exposición se hace a distancia de la fuente. Se usan fuentes como ⁶⁰Co, electrones y partículas pesadas.
- Radioterapia Interna. Llamada también braquiterapia. Se usan fuentes selladas de radiación como ¹⁹²Ir o ¹⁰³Pd y ¹²⁵I en forma de semillas, túbulos o alambres que se colocan dentro del tumor o de cavidades de órganos. Esta práctica se realiza en el quirófano con anestesia general para no provocar dolor.

Para radioterapia externa existen dos técnicas:

- Radioterapia convencional: se planea con imágenes 2D (placas radiográficas) donde el médico radioncólogo elige el campo a irradiar y los órganos a proteger. Para el cáncer de próstata se usa: *La técnica de cajón* que consiste en irradiar con campo pélvico reducido de área 10 cm², con profundidad del centro geométrico de la próstata con dos campos laterales, un campo posterior y un campo anterior. La energía

requerida es de aproximadamente 18 MeV con haz de fotones. *La arcoterapia* consiste en dos campos laterales centrados en el centro geométrico de la próstata y con exclusión de un sector circular de 60 grados anterior y posterior.

- Radioterapia conformal. La radioterapia conformal refiere a un método que incorpora movilización rígida, planeamiento computarizado 3D y sistemas de tratamiento para producir altas dosis en el volumen tumoral. Al realizar un esquema de tratamiento convencional de alta tasa de dosis en próstata, se corre el riesgo de aumentar la morbilidad de los tejidos normales (vejiga, recto, cabezas femorales). La radioterapia conformal permite alta tasa de dosis en el tumor y baja exposición de los tejidos adyacentes mediante el planeamiento computarizado 3D y la disposición de múltiples haces de radiación de forma tal que el campo de irradiación se aproxime a la forma del tumor. Para este tratamiento el paciente es sometido a una tomografía axial computarizada y en cuya imagen el médico radioncólogo define el área a tratar y la dosis prescrita³.

En la calidad de estos tipos de tratamiento, el *físico médico* desempeña un papel importante. Entre sus funciones se encuentra llevar a cabo medidas físicas relacionadas con la evaluación de las dosis recibidas por los pacientes (dosimetría); así como optimizar las condiciones que conlleven una reducción de dosis innecesarias en los tratamientos, de acuerdo a los programas de garantía de calidad en radioterapia, recomendados por los organismos internacionales como la *Internacional Atomic Energy Agency* (Safety Series N. 115) y la *American Association of Physicists in Medicine* (The solo practice of medical physics In radiation oncology, Reporte N. 80). La dosimetría es un campo de la Física Médica encargada de: Estimar las dosis absorbidas por los pacientes en los tratamientos de radioterapia y en los procedimientos de radiodiagnóstico, así mismo evaluar las exposiciones a las radiaciones ionizantes del personal ocupacionalmente expuesto. Existen varias tecnologías basadas en propiedades de los semiconductores y cristales útiles en la medición de dosis, como son: los dosímetros termoluminiscentes (TLD), los dosímetros de diodos semiconductores, los detectores MOSFET, y los detectores OSL (Optically Stimulated Luminescence).

Los dosímetros termoluminiscentes son los utilizados como referencia para dicha evaluación. Los cristales termoluminiscentes de *LiF:MgTi* son ampliamente utilizados en dosimetría clínica por su buena resolución espa-

cial, equivalencia tejido-agua, un amplio rango de sensibilidad, su tamaño y estabilidad a temperatura ambiente. La termoluminiscencia (TL) o luminiscencia térmicamente estimulada se basa en la teoría de bandas por Randall y Wilkins. Consiste en la emisión de radiación óptica con longitud de onda entre 200 y 700 micrómetros, durante el calentamiento de un sólido (aislante o semiconductor), previamente excitado con radiación (ionizante, luz visible, UV, etc.). Se presentan en cristales que contienen impurezas tales como $LiF:MgTi$, $LiF:CuP$, $CaF_2:Dy$, $Al_2O_3:C$, entre otros. La energía almacenada por el cristal a través del mecanismo expuesto, es proporcional a la energía total absorbida por este. Esta propiedad es la que se utiliza en dosimetría^{6, 10}.

Procedimiento Experimental

Los cristales de $LiF:MgTi$ (TLD-100) son recomendados para dosimetría clínica. Para este trabajo se usaron dichos cristales en forma de cilindros cuyas dimensiones son 6 mm de largo por 1 mm de diámetro. Antes de ser irradiados cada vez, se expusieron a un proceso térmico de 400°C por 1 hora seguido a 100°C por 2 horas y finalmente a 100°C por 30 minutos, para eliminar señales termoluminiscentes residuales de anteriores lecturas⁷⁻¹⁰.

Para medir las dosis en los esquemas de tratamientos, se deben caracterizar los cristales de acuerdo a su linealidad, ya que cada uno de ellos posee diferencias físicas y de dopaje. La linealidad nos da la proporcionalidad entre la dosis recibida y la señal termoluminiscente. La caracterización de los cristales en cuanto a su dependencia energética y sensibilidad se encuentra en la revisión bibliográfica⁸.

La linealidad se puede explicar como sigue:

Si N es el número de trampas en el fósforo, n es el número de trampas correspondientes a la dosis D y si dn/dD es proporcional a las trampas vacías:

$$\frac{dn}{dD} = a(N - n) \quad (1)$$

Por lo tanto:

$$n(D) = N[1 - e^{-aD}] \quad (2)$$

Donde a es una constante de proporcionalidad. Si $D \ll 1$, la ecuación (2) se describe:

$$n(D) = aND \quad (3)$$

De esta forma se tiene la proporcionalidad entre la dosis y el número de electrones atrapados. A su vez, si $n(D)$ es proporcional a la intensidad termoluminiscente integrada en un ciclo de lectura:

$$I_{Total} = \int_0^t I(t') dt' = \int_0^n c \frac{dn}{dt} dt = cn = kD \quad (4)$$

Donde k es una constante⁶.

Para ello se irradió el lote de 32 cristales a diferentes dosis (entre 40y 200 cGy) con una fuente de ^{60}Co de energía de 1.25 MeV, un campo de irradiación de 10 cm², distancia piel-fuente de 80 cm. y un build-up de 5 cm. Equipo Teradi del Instituto Nacional de Cancerología. Finalmente, se eligieron los dosímetros con las mejores respuestas lineales.

El sistema lector utilizado es el TLD Hashaw 4500. Este se compone de un detector termoluminiscente, una CPU y el sistema de refrigeración a base de aire comprimido.

La señal termoluminiscente obtenida se da en unidades de carga¹¹.

Las mediciones se realizaron sobre un simulador físico. Ellos permiten la planeación de los tratamientos de radioterapia y evaluar las dosis entregadas a los pacientes comparando los valores obtenidos en las planeaciones (curvas de isodosis) y los medidos sobre él. Entre sus propiedades se encuentran¹²:

- Son maniqués de hombre y mujer seccionados. El espesor de cada corte es de 2.5 cm.
- Las dimensiones promedio son: para un hombre, 175 cm. de alto y 73.5 Kg. de peso; para la mujer, 163 cm. de alto y 54 Kg. de peso.
- Son modelados con esqueletos naturales.
- Está construido con material sintético, indestructible con respecto al estrés físico y a la radiación. Son suficientemente flexibles para resistir caídas repetidas en un piso de concreto, pero suficientemente rígidos para prevenir daños a la estructura ósea bajo tales condiciones.
- Sus materiales son equivalentes al tejido humano para radiación: X de baja energía, gama, neutrones, protones y electrones. Simulan el número atómico efectivo del tejido y la gravedad específica, esencial

para la equivalencia en altas energías. De esta forma la radioequivalencia se extiende desde bajas energías usadas en diagnóstico, hasta altas energías usadas en la radioterapia.

- Contiene orificios que permiten la ubicación de dosímetros en cada sección

Para lograr la simulación de los tratamientos de radioterapia convencional y conformal, fue necesario crear una estructura de órganos virtual en el simulador físico, debido a su carencia de órganos. Para lograr este objetivo, se superpusieron las imágenes de TAC del simulador físico y de un paciente masculino con dimensiones similares. De esta forma, se dibujó: PTV (rojo), Vejiga (g), Recto (rosado), Cabezas femorales (amarillo) y Sistema Óseo (Blanco), Figura 1. Finalmente se simularon los tratamientos con una dosis prescrita de 180 cGy. Lo anterior se realizó por medio del TPS Treatment Planning System Eclipse del Instituto Nacional de Cancerología.

Radioterapia convencional

En este tratamiento se utilizó la *técnica de cajón*. Para la realización de la terapia convencional se tomó una radiografía al simulador físico donde se visualizó el área a irradiar. Se definieron cuatro campos para la irradiación con fotones de 6 MeV: dos campos laterales, un campo posterior y un campo anterior. Figura 2. Los parámetros obtenidos en la simulación se presentan en la Tabla 1. Mediante el TPS Treatment Planning System Eclipse se realizó la simulación del tratamiento. Se normalizó el 100% de la dosis en la curva del 97%. Se ubicaron 8 dosímetros en los orificios contenidos en los órganos virtuales a evaluar

Radioterapia conformal

Se definieron seis campos para la irradiación con fotones de 6 MeV. El acelerador dual dispone las multihojas para colimar el haz a la forma del volumen blanco. En la

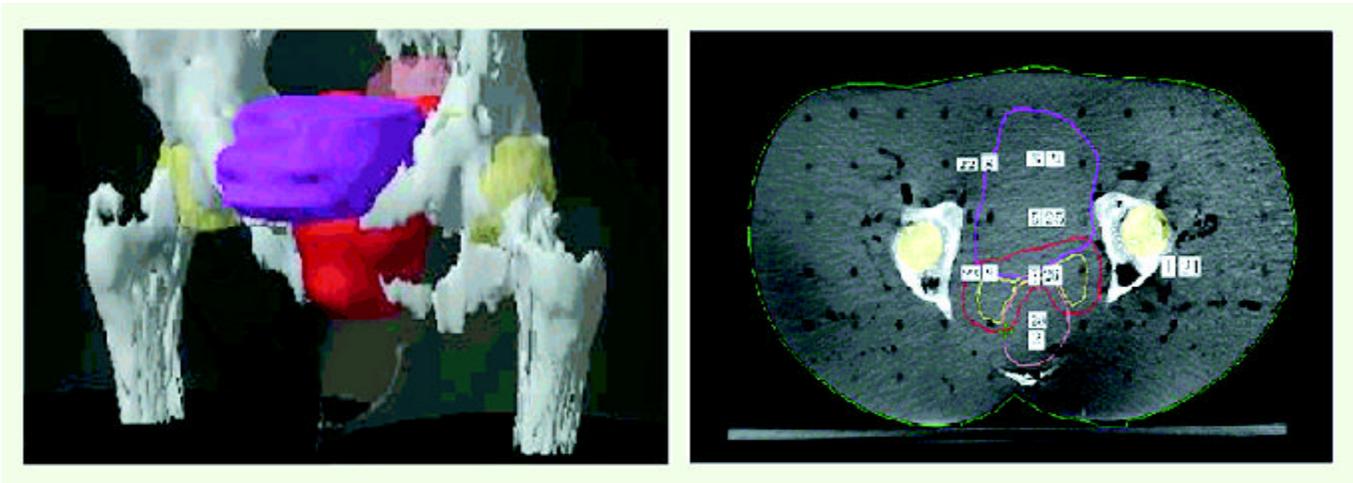


Figura 1. Construcción de las estructuras anatómicas a considerar en el simulador físico para el estudio experimental. Izquierda: Imagen espacial de la zona pélvica detallándose el PTV (rojo), la vejiga (violeta), el recto (rosado), las cabezas femorales (amarillo) y el sistema óseo (Blanco). Derecha: Corte transversal de las imagen de TAC con los órganos virtuales. Cada uno de ellos corresponde a los usados para posicionar los dosímetros en los orificios contenidos en dichos órganos. Para la comparación de los tratamientos se ubicaron distintos dosímetros en las mismas posiciones.

Tabla 1. Parámetros usados en radioterapia conformal para cáncer de próstata estadio localmente avanzado. Distancia Fuente-Piel: 89 cm. La máquina utilizada fue un Acelerador Dual Clinac 2100 C/D, con colimador multihojas del Instituto Nacional de Cancerología.

Campo	Peso	$X_1(cm)X_2(cm)$	$Y_1(cm)Y_2(cm)$	Gantry Rnt (Grados)	SSD (cm)	UM
1	0.333	-5.5+5.6	-4.9+4.0	0	88.9	81
2	0.333	-5.6+5.7	-4.9+4.0	180	92.3	71
3	0.167	-4.9+4.5	-4.9+4.0	270	81.1	56
4	0.167	-4.5+4.9	-4.9+4.0	90	82.5	53

Figura 3 la línea amarilla segmentada de la imagen derecha muestra dicha disposición desde un ángulo de irradiación, rodeando el PTV que es el órgano donde se prescribe el escalamiento de la dosis. Los parámetros obtenidos en la simulación se presentan en la Tabla 2. Fue necesaria la ubicación de cuñas para proteger los órganos adyacentes. Se normalizó el 100% de la dosis en la curva del 97%.

Resultados

Comparación de los tratamientos

Al calcular la dosis absorbida por los cristales termoluminiscentes por medio de la Ecu. (4) se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3. Estos valores se compararon con los obtenidos en la simulación. Se encontró que:

Tabla 2. Parámetros usados en radioterapia conformal para cáncer de próstata estadio localmente avanzado. Distancia Fuente-Piel: 89 cm. La máquina utilizada fue un Acelerador Dual Clinac 2100 C/D, con colimador multihojas del Instituto Nacional de Cancerología.

Campo	Cuñas	Peso	$X_1(cm)X_2(cm)$	$Y_1(cm)Y_2(cm)$	Gantry Rnt (Grados)	SSD (cm)	UM
1	0	1.0	-4.0+5.0	-5.0+4.0	50	84.6	52
2	0	1.2	-4.2+4.5	-5.0+4.0	95	83.2	67
3	30(R)	0.8	-4.2+5.9	-5.0+4.0	135	88.2	57
4	30(L)	0.8	-4.6+4.1	-5.0+4.0	235	86.4	62
5	0	1.2	-4.0+4.3	-5.0+4.0	265	81.5	73
6	0	1.0	-5.9+4.2	-5.0+4.0	310	83.3	55

Tabla 3. Valores obtenidos en los dos tipos de tratamientos. El porcentaje de simulación se aplica sobre el valor de dosis prescrito: 180 cGy.

No.	Ubicación	Dosis exp. convencional	Simulación %	Valor dosis simulación	Incertidumbre %	Dosis exp. R.T. conformal	Simulación %	Valor dosis simulación	Incertidumbre %
1	Cabezas	65.82	40.3	72.54	9.27	95.54	52.70	94.86	0.72
21	Femorales								
2	Recto	183.56	100.1	180.18	1.87	167.91	98.1	176.58	4.91
28	Recto								
3	Recto	169.50	99	178.2	4.88	177.62	99.3	178.74	0.62
26	Recto								
5	Vejiga	178.78	98.8	177.84	0.53	129.82	74.7	134.46	3.45
25	Vejiga								
6	Vejiga	123.03	71.9	129.42	4.94	23.09	11.70	21.06	9.61
24	Vejiga								
8	Vejiga	125.79	72.1	129.78	3.07	71.68	38.6	69.48	3.17
22	Vejiga								
9	Vejiga	169.05	99.1	178.38	5.23	182.57	100	180	1.43
23	Vejiga								
15	PTV	173.19	101.5	182.7	5.21	191.29	101.9	183.42	4.29
29	PTV								

- Al comparar los resultados experimentales con los calculados en la simulación, la incertidumbre en las medidas son aceptables. Es decir, la dosis que se prescribe en los tratamientos y la calculada mediante la simulación del tratamiento es la realmente entregada.
- Los dosímetros 15 y 29 registran cantidades similares de dosis absorbida en PTV para cada tipo de tratamiento, puesto que están ubicados dentro del volumen tumoral. Este resultado es de esperarse.
- La disminución de la lectura en los dosímetros 25, 24 y 22 que evaluaron la absorción de dosis en radioterapia conformal respecto a los dosímetros 5, 6 y 8 que evaluaron la dosis recibida en radioterapia convencional, se debe a su ubicación en la vejiga, lejana al PTV, Ver Figura 1 y Figura 3. Éste es el resultado que se logra con la planeación de tratamiento 3D para el cáncer de próstata: disminuir la exposición de los órganos adyacentes para evitar complicaciones colaterales en el tratamiento. Por ejemplo en el dosímetro 24 se logró reducir la dosis absorbida en un 87% respecto a la dosis prescrita.
- Para el dosímetro 23 se encuentra un valor elevado de dosis absorbida por vejiga en radioterapia conformal debido a su cercanía con el PTV.
- Otro órgano a proteger es el recto. Para radioterapia conformal se logra una disminución en la dosis ab-

sorbida para disminuir la probabilidad de morbilidad. De acuerdo a los datos experimentales mostrados en la Tabla 3 la dosis absorbida en radioterapia conformal por los dosímetros 28 y 26 es aproximadamente 98% de la dosis prescrita, y muy similar a la obtenida en radioterapia convencional. Dicho resultado se obtuvo por la cercanía del dosímetro al PTV, el cual se ubica en el área de los seis campos de irradiación para terapia conformal Figura 3.

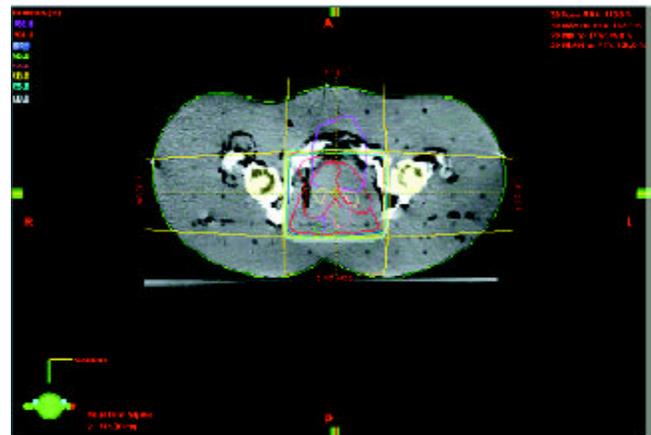


Figura 2. Simulación del tratamiento de radioterapia convencional para cáncer de próstata. Se observan dos campos de irradiaciones laterales, un campo posterior y un campo anterior. Se muestran las curvas de isodosis correspondientes al corte transversal para la posición de referencia del simulador físico.

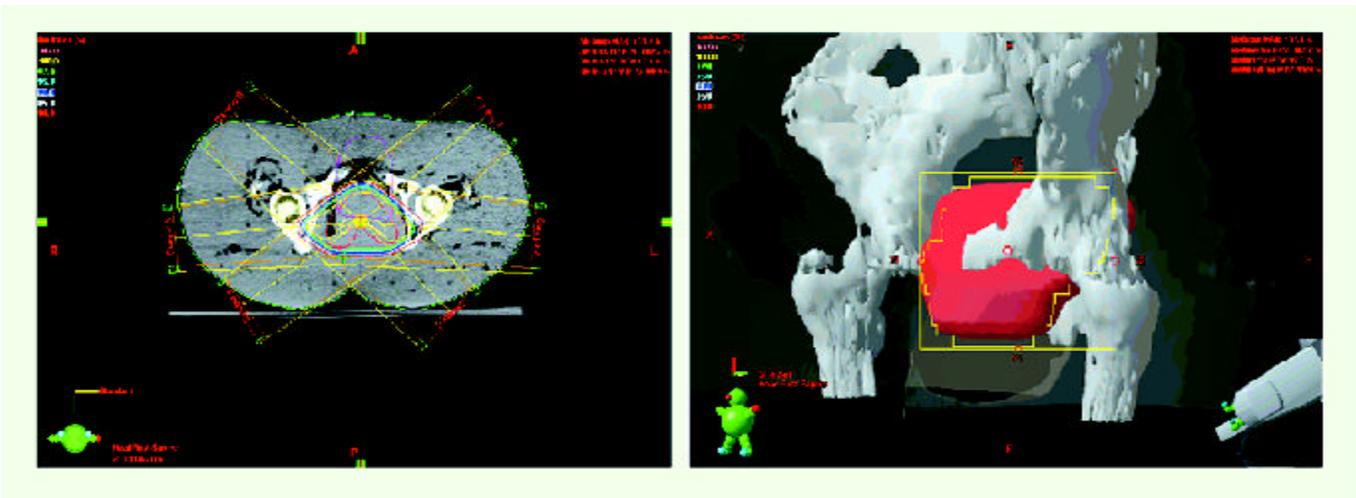


Figura 3. Simulación del tratamiento de radioterapia conformal para cáncer de próstata. Derecha: Curvas de isodosis para el corte transversal en la posición de referencia del simulador físico en la simulación del tratamiento. Izquierda: El acelerador dual dispone las multihojas para colimar el haz a la forma del volumen blanco. La línea amarilla segmentada muestra dicha disposición desde un ángulo de irradiación, rodeando al PTV que es el órgano donde se prescribe el escalamiento de la dosis. Lograr colimar el haz a una forma aproximada del volumen blanco es la meta que se alcanza en este tipo de tratamiento.

- Únicamente se ubicó un dosímetro en la cabeza femoral izquierda, debido a la disposición ya fija de los orificios en el simulador físico. Al comparar las dosis absorbidas en ambos tratamientos se obtiene que en radioterapia conformal se registra una mayor lectura a comparación con la radioterapia convencional. Este resultado se obtuvo debido a que dicho dosímetro está expuesto a tres campos de irradiación en radioterapia conformal, Figura 3 y a sólo un campo en radioterapia convencional, Figura 2.

Conclusiones

Del análisis de resultados se concluye:

- Extrapolando los resultados obtenidos al tratamiento completo de radioterapia conformal, se puede observar que el escalamiento de dosis en el volumen blanco no arriesga los órganos adyacentes, al no exceder la dosis de tolerancia de cada uno. Caso contrario ocurre con el tratamiento de radioterapia convencional, del cual observamos que el Recto y la Vejiga absorben una cantidad de dosis similar a la prescrita para el volumen tumoral, maximizando su probabilidad de morbilidad debido a su rango de tolerancia de dosis.
- El sistema de simulación computarizado del Instituto Nacional de Cancerología, garantiza la entrega correcta de dosis al paciente en los tratamientos.
- Se pueden obtener mejores resultados si se considera una precisa construcción virtual de las estructuras anatómicas y una mayor cantidad de datos experimentales.
- La dosimetría termoluminiscente, es la usada como referencia en los programas de control de calidad en radioterapia. Por ello es indispensable iniciar en Colombia una evaluación de las dosis absorbidas por los pacientes para asegurar efectividad en los tratamientos sin efectos colaterales serios por medio de este sistema dosimétrico.

Bibliografía

1. <http://www.incancerologia.gov.co>
2. **Eric C., Rost, MD.** 2004. Conformal Radiation Business Briefing: Usoncology review 65-66.
3. **Benedick A. Fraass.** 1995. *The development of the conformal therapy radiation*, Med. Phys. **22**(11), Pt. 2, 1911-1921.
4. <http://www.cancer.gov>
5. **G. Gordon Steel.** *Basic Clinical Radiobiology*, Ed. Arnold.
6. **Castellanos, M. E.** 1988. Estudio de las propiedades termoluminiscentes de detectores de LiF para aplicaciones en dosimetría por termoluminiscencia.
7. **Christie K. Harries, Howard R. Elson et al.** 1997. *A comparison of the effectiveness of thermoluminescent crystals LiF:MgTi and LiF:MgCuP for clinical dosimetry*, Med. Phys **24**(9): 1527.
8. **E.J. Fairbanks & L.A. Dewerd.** 1993. *Thermoluminescent characteristic of LiF:MgTi from three manufacturers*, Med. Phys **20**(3): 729.
9. www.tld.com.pl/tld/mts.html
10. **Ranogajec-Komor, M.** 2003. *Thermoluminescence Dosimetry Application in Environmental Monitoring*, Radiation Safety Management **2**(1): 2-16.
11. *Operator's manual, Model 4500 Harshaw, TLD Workstation*
12. *Alderson Rando Phantom System for Radiotherapy*, Alderson Research Laboratories.

Recibido el 1° de noviembre de 2006

Aceptado para su publicación el 4 de diciembre de 2006