

# IRRADIACIÓN CORPORAL TOTAL TÉCNICA DOSIMÉTRICA

P.J. Meoli, M. Casal, G. Sanchez, R.O. Moll y C. Chacón

Departamento de Radioterapia. Instituto Alexander Fleming.  
Cramer 1180, (1426) Buenos Aires.  
e-mail: [radiaf@interprov.com](mailto:radiaf@interprov.com)

El trasplante de médula ósea es una modalidad terapéutica posible para determinados tumores. La Irradiación Corporal Total (TBI, *Total Body Irradiation*), forma parte de este tratamiento. El Departamento de Radioterapia del Instituto Alexander Fleming dispone del equipamiento necesario para este tipo de aplicaciones.

En el presente trabajo se detalla la técnica utilizada para realizar la dosimetría y calibración del haz de radiación, para lograr un haz de fotones con las características adecuadas para este tipo de tratamientos.

The bone marrow transplantation is a therapeutic modality for certain kinds of tumor. The TBI (Total Body Irradiation) is part of this treatment. The Radiotherapy Department of the Alexander Fleming Institute has the facilities to do it.

In this paper we describe the dosimetry and calibration techniques to have the characteristics of the photon beam for this kind of treatments.

## I. INTRODUCCIÓN

La Irradiación Corporal Total o TBI es una técnica que tiene por objetivo eliminar la enfermedad de base del paciente, disminuir las defensas del mismo, y crear un espacio para que pueda proliferar la médula ósea que se le va a reemplazar. Es un procedimiento que se puede utilizar tanto en trasplantes de médula autólogos (de médula ósea propia del paciente), como alogénicos (de médula ósea de un dador). El hecho de ser una irradiación de cuerpo entero, implica la necesidad de realizar una evaluación muy precisa de la dosis depositada, debido a que con la técnica mencionada se entregan valores de dosis letales a cuerpo entero y por lo tanto de riesgo para el paciente. La mayor parte del cuerpo se irradia con fotones de alta energía, pero para evitar fibrosis pulmonar se bloquea el haz en la región torácica. Luego de la irradiación con fotones es necesario irradiar las partes blandas y la pared costal con electrones, conformando el campo con la forma pulmonar que había sido bloqueada en la primera etapa del proceso.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Accesorios

El equipo utilizado como fuente de irradiación es un acelerador Siemens KDS-2, con capacidad de producir haces de fotones de 6 y 15 MV, y de electrones de 6, 8, 10, 12, 15 y 18 MeV (Fig.1). En una descripción simplificada del mismo, se aceleran electrones en una guía de ondas, y a la salida de esta se interpone al haz de electrones un blanco o target, produciendo fotones por radiación de frenado. Este sistema se halla instalado en un brazo giratorio del equipo (gantry), lo cual permite girar la fuente de radiación propiamente dicha, en una circunferencia de 360°, dirigiendo el haz hacia un punto

sobre el eje de giro de la máquina. Por medio de un sistema espejado, se tiene un foco lumínico en la misma posición virtual que el foco radiante, lo que permite obtener una imagen lumínica del campo radiante.

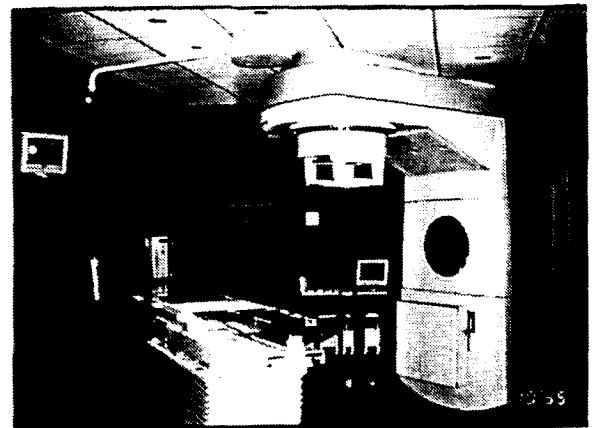


Fig.1: Acelerador lineal dual de fotones y electrones utilizado para la irradiación.

Para la irradiación se cuenta con un marco de posicionamiento diseñado en el Memorial Sloan-Kettering Center (TBI STAND, Nuclear Instruments, Fig.2) en la que el paciente se encuentra parado o semi-sentado con inmovilización de cadera, tórax, brazos y hombros. El brazo del equipo es girado hacia la posición de tratamiento lateral, y el marco con el paciente es ubicado contra la pared opuesta. De esta manera se logra que todo el cuerpo del paciente se ubique dentro del campo de tratamiento. Los pacientes son tratados alternativamente dirigiendo hacia el equipo la superficie

anterior y posterior del cuerpo en cada fracción. La desviación máxima de la angulación del brazo del equipo respecto a la horizontal, no debe exceder los 2° para mantener una uniformidad de dosis en la distancia.

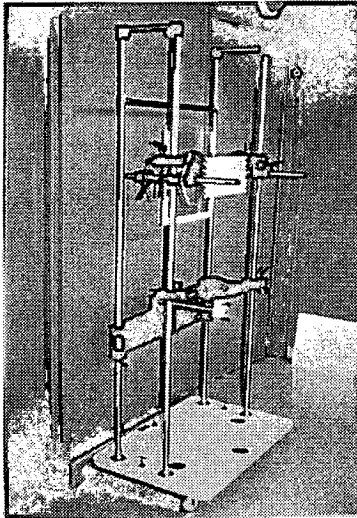


Fig.2: Marco de posicionamiento para irradiación Antero-Posterior.

Para observar al paciente durante el tratamiento, se utiliza un sistema de cámaras instalado en el recinto de irradiación.

Para lograr una mayor área de planicidad en el campo de 40 x 40 cm utilizado en la irradiación, se confeccionó un aplanador de haz con planchuelas de plomo situadas en forma escalonada. Este filtro tiene un espesor de plomo variable, siendo mayor en la zona central del haz, y disminuyendo gradualmente hacia los

bordes de campo. De esta manera se logra un área plana de mayor dimensión en el campo efectivo para el tratamiento (Fig.3).

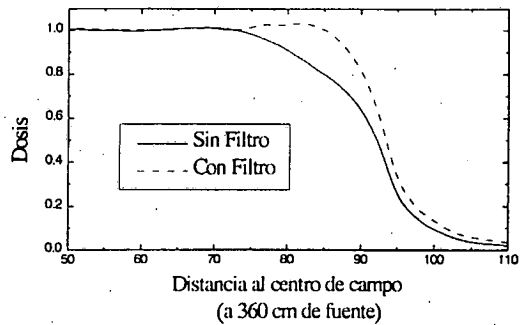
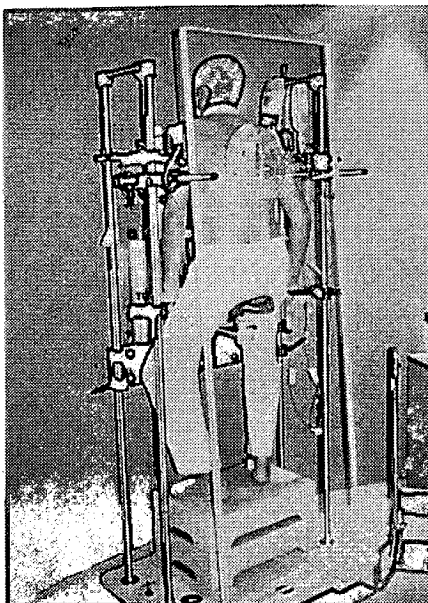
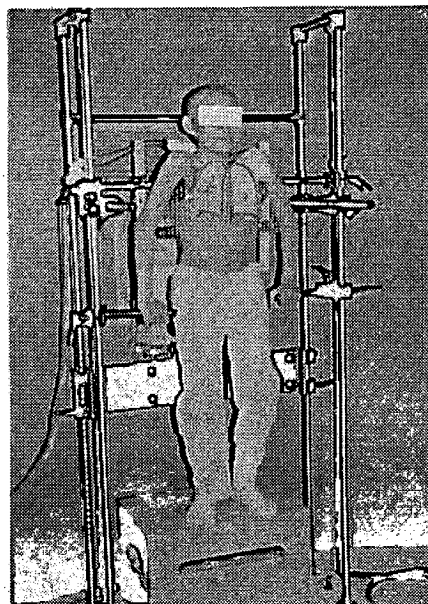


Fig.3: Perfil de dosis en agua a 10 cm de profundidad. Para tratamientos de TBI diversos protocolos<sup>(1,3)</sup> consideran aceptables variaciones en planicidad de campos dentro del 10%.

A los efectos de irradiar uniformemente todo el cuerpo, y debido a que existe un espesor considerable de equilibrio electrónico (build-up) con esta energía de fotones, se utilizan dos planchas de 1.5 cm de acrílico. Estas se interponen entre el paciente y el haz de irradiación. Al incidir en estas el haz primario, se genera radiación dispersa de menor energía, elevando la dosis en la superficie del paciente. Estas placas son colocadas a 15 cm máximos del paciente (Fig.4a). La distancia de tratamiento es 3.60 m, desde la fuente de irradiación al plano medio de la pelvis del paciente.



a



b

Fig.4: Posicionamiento del paciente en el marco especial. Se pueden observar las protecciones pulmonares correspondientes y las planchas de acrílico mencionadas en el texto.

### Protocolo de irradiación

La dosis prescrita es de 1280 cGy a plano medio de la pelvis, entregada en 2 fracciones diarias durante 4 días. Se utilizan 6 MV de fotones a una tasa entre 14 y 17 cGy por minuto al punto de prescripción. Esta tasa de dosis está en conformidad con lo propuesto por el Memorial Sloan-Kettering Center<sup>(1)</sup>.

Por cada campo del tratamiento (anterior y posterior) se utilizan protecciones pulmonares de 2.0 cm de Cerrobend (aleación de plomo, estaño y bismuto), con los que se logra reducir la dosis pulmonar al 50% (Fig.4b). El marco de posicionamiento cuenta con una grilla anterior de acrílico con perforaciones para fijar las protecciones pulmonares.

A la zona de la pared costal, que de ésta manera queda sub-dosada, se le entrega la dosis restante (boost) en aplicaciones con haz de electrones en 2 fracciones (Fig.5). Se utilizan electrones debido a que su curva de dosis en profundidad limita la dosis entregada hasta una cierta profundidad característica (Fig.6). La energía de electrones utilizada es elegida de tal manera que el 90% de salida de la curva en profundidad se ubique en la zona de unión entre la pared costal y la pulmonar. Para estas aplicaciones, se utilizan como conformadores del haz moldes protectores cuya abertura central tiene la misma forma que los bloques protectores utilizados para filtrar el haz de fotones.

Además, a los pacientes masculinos con diagnóstico de leucemia (ciertos sub-tipos) se le entrega un refuerzo de dosis en los testículos de 400 cGy con electrones en una fracción. De manera similar al boost de pared pulmonar, se elige la energía de los electrones de manera que el 90% de la curva en profundidad se ubique en la superficie posterior del escroto.

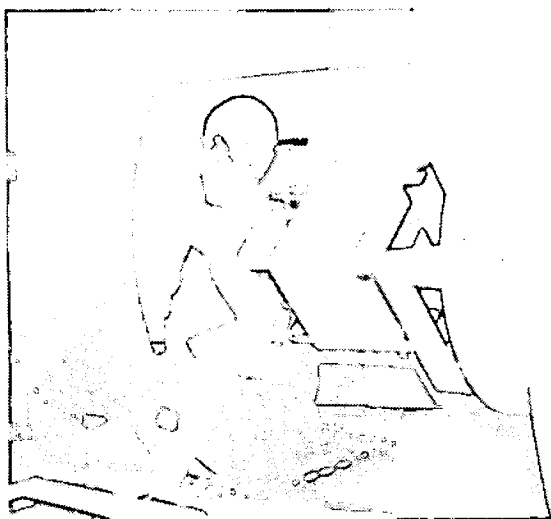


Fig.5: Aplicación del boost con electrones en pared costal.

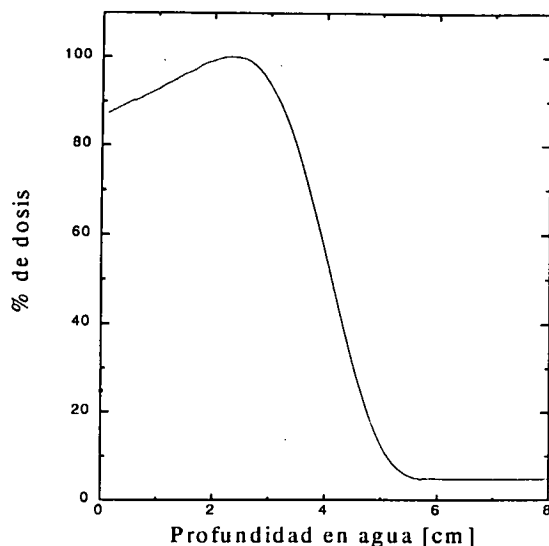


Fig.6: Perfil típico de dosis en profundidad en agua de un haz de electrones de 10 MeV nominales.

### Simulación del tratamiento

Para el estudio previo del tratamiento de cada paciente, se simula el procedimiento de irradiación en el propio equipo de tratamiento para obtener la posición definitiva que tendrá el paciente durante el tratamiento, la medición de diámetros del paciente y la localización de los cortes tomográficos que serán necesarios para determinar la energía óptima de electrones para tratar el boost de pared costal. También se toman placas radiográficas en la posición definitiva de tratamiento para la fabricación de los bloques protectores de pulmón, en las posiciones anterior y posterior de irradiación. Como referencia para posicionamientos posteriores de los bloques se tatúa al paciente en un punto determinado, coincidente con una referencia en la grilla perforada del marco de posicionamiento.

Una vez construidos los bloques protectores de pulmón, se toman placas verificadoras en condiciones de tratamiento para verificar la construcción y posicionamiento definitivos de los bloques. Se colocan entonces referencias sobre el paciente. Estas consisten en marcar la sombra que los plomos de protección de pulmón proyectan en la piel del mismo, cuando el brazo del equipo y los demás parámetros geométricos están en posición de tratamiento. Estas marcas, una vez chequeadas las placas verificadoras, son utilizadas para repetir diariamente el mismo posicionamiento de los bloques, y también como guía para las aplicaciones del boost de electrones.

### Dosimetría

Para la dosimetría se utilizó un recipiente de agua (fantoma) de 30 x 30 x 35 cm<sup>3</sup> con una cámara de ionización cilíndrica PTW N31003 y un electrómetro Keithley 35040. Se colocó dicho fantoma en el marco de

posicionamiento en condiciones normales de tratamiento. La dosimetría se realizó en un punto determinado de distancia conocida a la fuente de irradiación. La proyección de este punto es marcada en el piso del recinto de irradiación. Se tomaron valores de TPR (Tissue-Phantom Ratio). Estos son valores dosis absorbidas en un punto (referencia) a una determinada distancia fuente-punto, para distinta cantidad de material interpuesto (profundidad en agua), normalizadas al valor de dosis de una profundidad de referencia. Con esto es posible determinar la tasa de dosis resultante en el punto de prescripción (plano medio umbilical) para los espesores abdominales de cada uno de los pacientes. Es fundamental en cada tratamiento posicionar el plano medio pelviano del paciente sobre este punto de referencia.

Se midieron valores de dosis a distintas alturas del marco de posicionamiento, para profundidades típicas de tratamiento, resultando una variación menor al 3%.

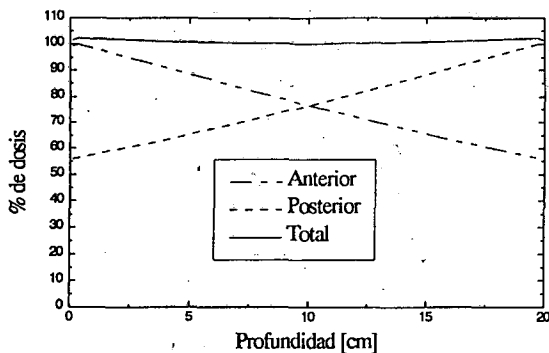


Fig.7: Perfiles de dosis en profundidad resultante por irradiación anterior y posterior (normalizadas en máximo) y la combinación de ambas (normalizada en plano medio), para un espesor abdominal típico de 20 cm.

Se tomaron valores de dosis superficial total sobre pacientes (sumando contribuciones de aplicaciones anterior y posterior) en distintas zonas del cuerpo con dosímetros termoluminiscentes TLD, resultando una variación en la uniformidad menor al 5% en el tronco del cuerpo, y menor al 7% considerando las extremidades. Estos valores son parte de los resultados de un trabajo llevado a cabo conjuntamente con el Centro Regional de referencia para Dosimetría, Centro Atómico Ezeiza<sup>(2)</sup>.

Para un diámetro umbilical típico de 20 cm, la variación de uniformidad total resultante (sumando contribuciones de aplicaciones anterior y posterior) resulta menor a un 2.3 % (Fig.7), valor menor al 10% aceptado por la American Association of Physicists in Medicine (AAPM)<sup>(3)</sup>. Todos los valores de variación de uniformidad, tasa de dosis y demás resultados experimentales mencionados en el presente trabajo están en conformidad con protocolos internacionales de Irradiación Corporal Total.

#### Referencias

- 1.- Shank B., *et al*, Int. Journal. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 9, 1607, (1983).
- 2.- P.J. Meoli, C. Kessler, M. Saraví y G.H. Olivera (enviado para su publicación).
- 3.- American Association of Physicists in Medicine. "The Physical Aspect of Total and Half Body Photon Irradiation" AAPM Report N° 17, (1986).