Rev. latinoam. fís. méd. 2015; 1(2): 8-13

DOSIMETRÍA PARA TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN DE CUERPO TOTAL (TBI)

Y. Ayala Piñella[1], C. Picon Chávez [1,2]
[1] Centro de Radioterapia de Lima/ Física Medica, Lima, Perú
[2] Universidad Nacional de Ingeniería / Post Grado Facultad de Ciencias, Lima, Peru

RESUMEN

Los tres principales objetivos de la Irradiación Corporal Total (TBI) son: inmunodepresión para impedir el rechazo del transplante de médula ósea; erradicación de células malignas (leucemia, linfomas y algunos tumores sólidos) y erradicación de poblaciones celulares con alteraciones genéticas.
La importancia del presente trabajo es la cuantificación de los valores de los parámetros dosimétricos del sistema en el tratamiento del TBI, poniendo énfasis en los aspectos dosimétricos como homogeneidad en la distribución de dosis, así como la determinación in vivo de la dosis y tasa de dosis.
Se realizó una estadística de la respuesta de los pacientes al tratamiento con la técnica implementada.

Palabras Claves: Irradiación de cuerpo Total (TBI), Transplante de Médula ósea, Dosimetría in Vivo, Tasa de Dosis, Seguridad Radiológica

ABSTRACT

The three main goals of Total Body Irradiation (TBI) are: immunosuppression to prevent rejection of bone marrow transplants; eradication of malignant cells (leukemias, lymphomas and certain solid tumors) and elimination of genetically altered cell populations.

The importance of this study is to calculate the values of dosimetric parameters in the treatment of TBI, with emphasis on dosimetric aspects as homogeneous dose distribution and in vivo determination of dose and dose rate.
We conducted a statistical response of patients to treatment with the technique implemented.

Keywords: Total body irradiation (TBI), Bone Marrow Transplant, Vivo Dosimetry, Rate Dose Radiation Safety

I. INTRODUCCIÓN

La Irradiación de Cuerpo Total o TBI, por su acrónimo en inglés (Total Body Irradiation); es una técnica de radioterapia que se ha aplicado para el tratamiento de diversas enfermedades benignas y malignas desde principios del siglo XX.
La técnica ha evolucionado paralelamente a un aumento en el conocimiento de la respuesta biológica a las radiaciones ionizantes y debido a un resultado de mejoras en la entrega de dosimetría y tratamiento de radiación.
Ésta técnica de radioterapia que cubre con radiación todo el cuerpo del paciente, es considerado a menudo como parte del régimen para el trasplante de médula ósea, o como parte del tratamiento para enfermedades hematológicas como leucemia o anemia aplásica. Por ello el TBI sigue siendo un componente importante del trasplante de células madre hematopoyéticas (HSCT), con el objetivo de erradicar las células malignas residuales y modular el sistema inmunológico del receptor de trasplante.
La técnica consiste en irradiar el volumen corporal del paciente en forma homogénea con fotones de energía adecuada, lo cual no puede lograrse con un conjunto de campos convencionales de fotones, por problemas de superposición y empalme de campos múltiples contiguos ya que de ellos resultarían distribuciones irregulares de isodosis y zonas subdosadas clínicamente inaceptables.
El objetivo del presente trabajo fue conseguir una técnica de TBI que cumpliera con las condiciones de simplicidad, repetitividad, rápido y confortable posicionamiento del paciente, homogeneidad de la dosis entre 10 y 15%, cortos tiempos de tratamientos y dosimetría *in vivo*; para lo cual se utilizó el Reporte No 17 de la AAPM (1)
Para la implementación de la técnica del TBI se realizó la medición de los parámetros dosimétricos del sistema bajo las condiciones geométricas del tratamiento
Para la dosimetría in vivo y la determinación de la tasa de dosis se ha desarrollado un programa de cálculo mediante el cual se va midiendo ambos parámetros durante la irradiación del paciente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para implementar la técnica de TBI en el Centro de Radioterapia de Lima S.A., se utilizó el acelerador lineal con energía de 6MV, se hizo un levantamiento de datos dosimétricos según el esquema en que es entregado el tratamiento de TBI, nos referimos a datos dosimétricos obtenidos a una distancia de SSD de 3.49 metros con un campo nominal de 39x39 a 100cm que equivale a 136cm x136cm a la distancia SSD de tratamiento. El colimador con un ángulo de 240 grados a fin de obtener un campo longitudinal máximo de 1.92 metros.

Los datos obtenidos sirvió para realizar el programa de cálculo de dosis para la **"**dosimetría in vivo**"** utilizada en el TBI, que es un método directo de control dosis de irradiación que el paciente recibe y nos sirve para determinar la dosis en el punto de especificación, usualmente tomado en la línea media del abdomen o la pelvis y monitorear la dosis a nivel de los órganos en riesgo.

Se llevó a cabo un estudio estadístico de la respuesta de los pacientes tratados con la técnica implementada durante los años 1999 hasta 2008.

1. Equipos Utilizados

Los equipos utilizados para medir los parámetros dosimétricos del sistema en el tratamiento del TBI son:

- Acelerador Lineal: marca Varian, modelo Clínica 600C, Fotones, energía 6MeV.
- Cámara de ionización: PTW MODELO N31003, SERIE 138
- Electrómetro MODELO CNMC, SERIE Nro. 5046
- Barómetro:Casio modelo Se Pathfinder SPF-60
- Termómetro
- Fantomas de paredes de acrílico de 40cmx40cmx40cm con soporte de cámara desplazable.
- Cable de extensión CNMC de 10m
- Paralelepípedo de acrílico de 12mm de pared y de dimensiones regulables como para un adulto.
- Protector de Cerroben de 3cmx 7cm x14cm
- Computadora

2. Medición de los parámetros dosimétricos del sistema en el Tratamiento de TBI

Para poder llevar a cabo la Irradiación de Cuerpo Total (TBI) se tiene que realizar previamente una dosimetría del sistema, con los cuales posteriormente se podrá hacer el cálculo de la dosis in vivo.

2.1. Medidas Experimentales

Para obtener las medidas de los parámetros dosimétricos del sistema de TBI, se utilizó "IAEA Code of Practice for Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, TRS-398".

Las medidas experimentales realizadas bajo las condiciones geométricas indicadas anteriormente fueron: distribución de dosis en profundidad (PDD), distribución longitudinal de dosis en D_{max} o Perfiles de Dosis, factores de campo, parámetro de energía (TPR), influencia de la longitud del cable irradiado, variación transversal de la dosis, dosimetría absoluta utilizando el "IAEA Code of Practice for Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, TRS-398".

3. Calculo de la dosis in vivo y tasa de dosis para TBI

3.1 Realización del TBI

La dosis total que se le debe entregar al paciente es de 12Gy, el cual es dado en dos fracciones por día, en un periodo de tres días, de tal forma que la tasa de dosis por sesión no supere los 10cGy/min. Considerando el alto grado de toxicidad pulmonar se debe tener consideración de proteger los pulmones de tal forma que la dosis máxima permisible en ellos sea de 8Gy.

En el tratamiento del TBI, la irradiación se hará en forma bilateral, con el haz dirigido perpendicularmente a cada lado del paciente a una distancia SSD = 3.49m

El paciente es ubicado dentro de un fantoma con los brazos al costado del cuerpo, las piernas ligeramente flexionadas con la ayuda de un parante externo; y de dimensiones ajustables a la longitud transversal y longitudinal del paciente. Figura.1



Figura 1. Localización del paciente para tratamiento de TBI

Luego este fantoma fue llenado con bolsas de polietileno que contienen agua temperada, de tal forma que se obtenga una distribución de dosis que no sea afectada por las irregularidades del cuerpo. Figura 2.



Figura 2. Paciente de TBI listo para ser irradiado

Se le coloca el detector de radiación al paciente, en este caso una cámara de ionización [Figura 3] y se le conecta a este el electrómetro [Figura 4], obtendremos así medidas en unidades de carga, las cuales serán convertidas posteriormente a dosis y tasa de dosis con la ayuda de nuestro programa de cálculo de dosis in vivo para TBI y reporte de calibración respectivo. Tabla 1.



Figura 3. Colocación de la cámara de

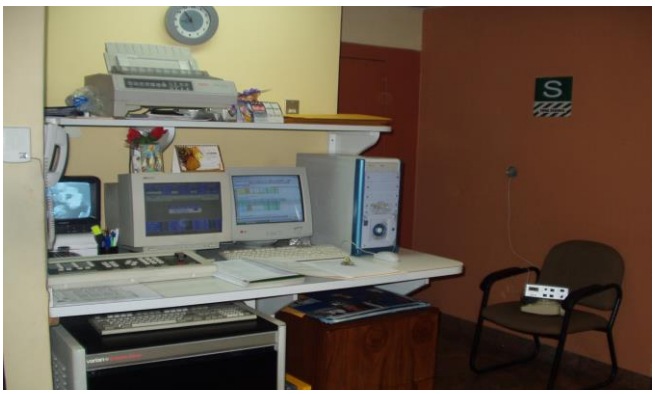


Figura 4. Sistema para medición de dosimetría in vivo.

Síntesis de la Dosimetría In Vivo del Tratamiento

Fecha	Sesion	Lado	Tiempo min	Dosis cGy	Tasa cGy/min	Dosis Acumulada(cGy)
22-09-04	Mañana	Lat-der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat-Izq	0	0.00	#¡DIV/0!	-
	Tarde	Lat-Izq.	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat-Der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
26-08-04	Mañana	Lat-Der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat-Izq	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
	Tarde	Lat-Der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat. Izq.	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
27-08-04	Mañana	Lat.Der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat-Izq	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
	Tarde	Lt-Izq	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
		Lat-Der	0	0.00	#¡DIV/0!	0.00
TOTAL			0	0.00	#¡DIV/0!	0

Tabla 1. Síntesis de la dosimetría in vivo del Programa de Calculo de Dosis in Vivo para TBI.

De acuerdo con lo sugerido por la AAPM la tasa de dosis no debe superar los 10cGy/min, de tal forma que tenemos que estar pendiente que esto se cumpla, si no fuese el caso y la tasa de dosis llegar a superar los 10cGy/min se indica bajar inmediatamente la tasa de dosis de exposición del equipo, hasta que se normalice la situación.

De acuerdo por lo sugerido por la AAPM, es necesario proteger los pulmones de tal forma que la dosis que estos reciban no supere los 8Gy, evitando los altos grados de toxicidad pulmonar. Para ello se protege lateralmente la banda pulmonar con un protector de cerrobend de 7cm de espesor. Para hallar el ancho de la banda de protección, previamente se toma una radiografía de tórax en el acelerador. Esta radiografía también sirve para el diseño de las protecciones pulmonares que se utilizaran como compensación de la banda pulmonar no irradiada sin incluir los pulmones. Figura 5 y Figura 6.

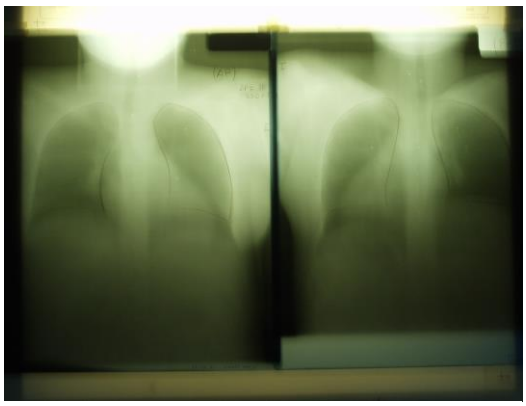


Figura 5. Radiografía para diseño de protecciones pulmonares



Figura 6. Protecciones pulmonares

La compensación de la banda pulmonar se realizará a una distancia de SSD de 1.2m que es la misma que se utiliza para la toma de radiografías pulmonares; para su verificación se vuelve a tomar una nueva placa radiográfica. Figura 7.



Figura 7 Compensación de la banda pulmonar con las protecciones.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

1.Medición de los parámetros dosimétricos del sistema en posición del Tratamiento de TBI

Los resultados de las medidas experimentales realizadas bajo las condiciones geométricas indicadas anteriormente fueron:

Distribución de Dosis en Profundidad (PDD). Figura 8.

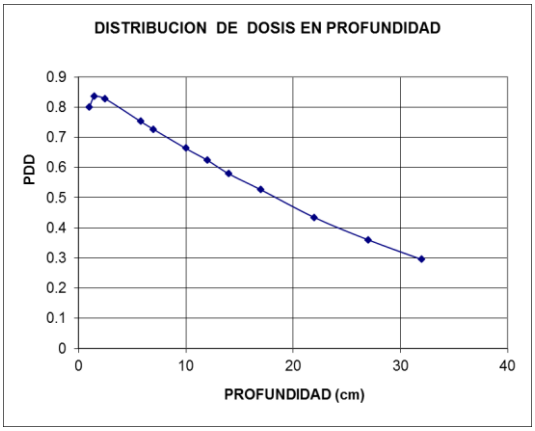


Figura 8. Porcentaje de Dosis en profundidad en posición de TBI

- Distribución longitudinal de Dosis en D_{max} o Perfiles de Dosis. Figura 9.

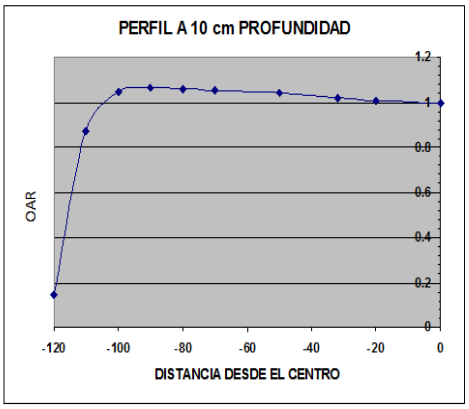


Figura 9. Perfil de dosis a 10cm de profundidad. Se ha graficado el barrido del lado izquierdo

Factores de Campo a 3.49m. Figura 10. La influencia del tamaño del campo en el Output de Acelerador. Se aprecia que para campos extensos la variación es mínima

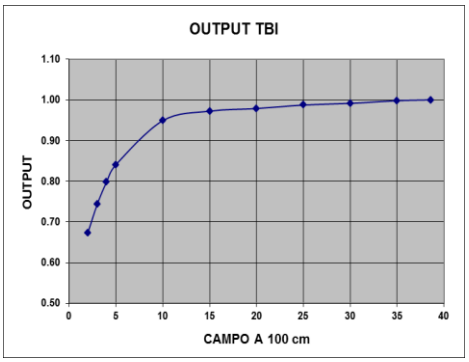


Figura 10. Factores de Campo

Influencia de la Longitud de Cable irradiado. Figura 11. Para campos extendidos la longitud del cable irradiado es mayor, la figura permite cuantificar la variación , que será proporcional a la longitud irradiada

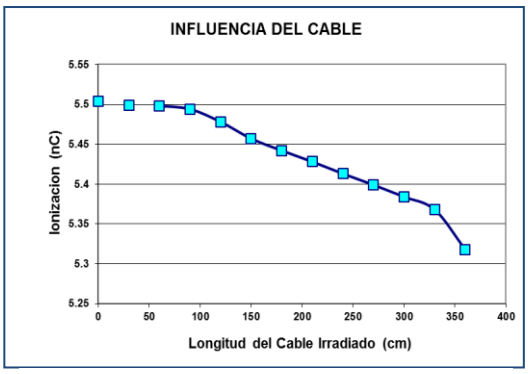


Figura 11. Influencia de la Longitud del Cable Irradiado

- Variación Transversal de la Dosis. Nos ayuda verificar la homogeneidade de dosis al ir el haz de radiación atravesando el espesor del paciente. Figura 12. Se considero la contribución de cada lado del fantoma que fue irradiado.

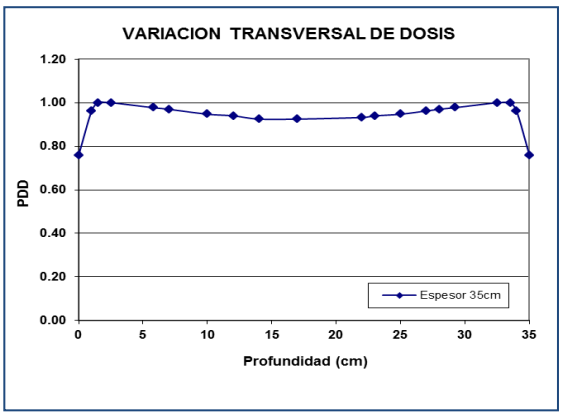


Figura 12. Variación Transversal de la Dosis

Tabla 2. Calculo Del Parámetro de Energía: TPR

Fantoma:	Cuba con agua	
SSD (cm):	100	
Campo(cm^2)	10x10	
	L10	**L20**
Lecturas (nC)	16.647	10.942
	16.634	10.938
	16.643	10.945
Promedio	16.641	10.942
$TPR_{20,10}$ =	0.6575	

- **Determinación del TPR(20,10). Tabla 2.**
- Dosimetría Absoluta utilizando Protocolo 398 de la IAEA, se obtuvo 1.00 cGy/UM para D_{max}.
-

2. Respuesta de los pacientes tratados con la técnica de TBI implementada.

No se tuvieron reportes de complicaciones o efectos colaterales como resultado de la técnica implementada. La sobrevida obtenida llego a ser de un 35% según el seguimiento dado a los pacientes Tabla 3, logrando a estar dentro del cuadro estadístico de respuesta que se obtiene en los diferentes centros a nivel internacional.

Tabla 3. Respuesta de Pacientes de TBI tratados

Año de Tratamiento	TOTAL PAC.	RPTA POSITIVA	NO SE SABE	FALLECIO
1998	5	1	2	2
1999	5	0	2	3
2000	6	3	1	2
2001	5	2	3	0
2002	1	1	0	0
2003	10	2	7	1
2004	11	4	5	2
2005	8	4	3	1
2006	9	5	4	0
2007	4	2	0	2
2008	2		1	1
Total	66	23	28	14

Cabe mencionar que en este resultado no se esta considerando los pacientes a los cuales no se ha podido localizar con los datos dejados en la historia clínica. Según los datos presentados, se puede observar que de los 66 pacientes tratados entre los años 1998 y 2008, el 42% de los pacientes no se les ha podido localizar, el 35% se encuentra de salud estable y siguen con sus controles, mientras que el 21% falleció en un promedio de dos años después de recibir el tratamiento y tener su respectivo transplante de médula.

IV.CONCLUSIONES

Bajo los aspectos físicos analizados previamente a la irradiación del paciente, bajo la dosimetría in vivo obtenida durante la irradiación y con la respuesta de sobrevida obtenida, se puede concluir que la técnica descrita y empleada para Irradiación de cuerpo Total (TBI) es eficaz, cumpliendo perfectamente con los objetivos trazados, una técnica con las condiciones de simplicidad, repetitividad, rápido y confortable posicionamiento del paciente, homogeneidad de la dosis entre 10 y 15%, cortos tiempos de tratamientos y dosimetría *in vivo*.

Los resultados de la técnica de TBI presentada justifican su implementación en un Centro de Radioterapia, ya que producirá un beneficio suficiente en el grupo poblacional con enfermedades de HSBC.

Hemos visto que se cumple con el principio de optimización al realizar la dosimetría in vivo, midiendo la dosis y la tasa de dosis que recibe el paciente, y tomando las medidas necesarias para que la tasa de dosis recibida por el paciente no supere los 10cGy/min, y se cuide de no producir daños en los órganos, principalmente, los pulmones.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) AAPM REPORT No 17: The Physical Aspects of the Total and Half Body P Irradiation.
(2) IAEA Code of Practice for Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, TRS-398.
(3) Khan, Faiz m. Ph.D. The Physics of Radiation Therapy, Second Edition

Contacto para correspondencia:
Autor: Yuliana Ayala Piñella
Institución: Centro de Radioterapia de Lima S.A.
País: Perú
Correo electrónico: ayala.pinella@gmail.com