

Medidas de atenuación en haces de fotones de Radioterapia

V. Delgado, J. de Areba, C. Prieto. Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad Complutense

Se han realizado medidas de atenuación con agua y agua sólida y con polietileno en haces de fotones para radioterapia producidos a 6MV en un acelerador de electrones Primus y en un acelerador Varian, ambos en el Hospital Clínico San Carlos.

En las medidas con atenuadores de agua y agua sólida se encontraban incongruencias entre los valores obtenidos con agua en garrafas y agua sólida, por lo que se ha optado por diseñar, construir y calibrar un conjunto de atenuadores de polietileno y se ha hecho un

protocolo de medida con el que se mide atenuación desde 0.5 cm hasta 144 cm de polietileno interpuesto en el haz.

La intención es, a partir de esas medidas de atenuación, obtener la fluencia en energía del haz y reconstruir su distribución espectral. Para ambas tareas se extiende a altas energías métodos de obtención de la fluencia de energía y de obtención de la distribución espectral a energías de radiodiagnóstico que es un problema inverso mal condicionado.

Como paso previo se han buscado las fuentes de errores sistemáticos que pueden afectar a las medidas asociadas a falta de equilibrio electrónico o malas condiciones geométricas, encontrando unas condiciones que nos parecen suficientes.

Como primera medida se ha comparado la curva de atenuación medida con la calculada a partir del modelo de distribución espectral que incluyen ambos aceleradores para simular distribuciones de dosis. Se ha encontrado una discrepancia sistemática: Las curvas de atenuación predichas para los modelos de espectro de ambos aceleradores son más penetrantes que las curvas medidas.

Aunque los modelos de espectro son muy burdos, esta discrepancia nos mueve a analizar en profundidad, para poder descartarlas, posibles fuentes de errores sistemáticos.

Posibles causas de errores sistemáticos

El juego de atenuadores está formado por los siguientes bloques contruidos a base de planchas de polietileno: Uno (1) de 0.5 cm, dos (2) de 1 cm, uno (1) de 2 cm, uno (1) de 4 cm, uno (1) de 8 cm y ocho (8) de 16 cm de espesor. Estos bloques permiten realizar medidas con espesores interpuestos de 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112, 128, 144 cm de atenuador. Los grosores en cm son aproximados, se han determinado los espesores máxicos de cada bloque midiendo longitud y anchura de cada plancha con un pie de rey marca ACHA de precisión $\frac{1}{2}$ décima de milímetro y de error máximo a fondo de escala (30 cm) de 0.2 mm y pesado con una balanza digital Beckman de precisión 0.1g y de error máximo a fondo de escala (2 Kg) de 0.3g.

Las medidas de atenuación para un haz producido a 6MV se realizan por duplicado, con una cámara de ionización para radioterapia, con caperuza de build-up, colocando los espesores de menor a mayor y realizando la segunda tanda de medidas de mayor a menor, al ir retirando los bloques.

Se ha utilizado un campo de 3cm x 3cm en el isocentro y hay una separación entre el punto de colocación de los absorbentes y la cámara de aproximadamente un metro (se

utilizan las marcas de referencia de la mesa) para minimizar la llegada de radiación dispersa a la cámara de ionización. El espesor másico de aire y de la caperuza de build-up no son suficientes para alcanzar equilibrio electrónico (se medía más con 0.5 cm de absorbente que con 0cm), por lo que se añadió fijo un espesor de 1 mm de “agua sólida” para alcanzar el equilibrio electrónico.

Las posibles fuentes de errores sistemáticos que se nos ocurren son:

Campo no suficientemente pequeño:

Este error sistemático supondría que encontraríamos en nuestras medidas un haz penetrante en exceso, pues llegan a la cámara más fotones que en geometría de haz delgado.

Insuficiente separación entre los absorbentes y la cámara:

Este error sistemático supondría también que encontraríamos en nuestras medidas un haz penetrante en exceso, pues llegan a la cámara más fotones que en geometría de haz delgado por dispersión múltiple.

Conclusiones y acciones a realizar

Las fuentes de error sistemático que identificamos en nuestro montaje suponen desviaciones sistemáticas en la dirección contraria a las que encontramos al comparar la curva de atenuación medida con la calculada a partir de los espectros de fotones que se utilizan para simular de forma rápida distribuciones de dosis (NOT FOR CLINICAL USE).

Si bien estos espectros son poco fiables y son modificables “a mano y a ojo” por los responsables de los equipos, antes de descartar que la causa de las desviaciones esté en los espectros nos planteamos el calcular directamente, a partir de la curva de atenuación en polietileno, la curva de atenuación en agua y medir ésta con la cuba de medidas dosimétricas, aunque la disposición experimental es más compleja, y poder descartar la presencia de causas de sesgos que no hayamos detectado.

El cálculo de la curva de atenuación en un material a partir de la curva de atenuación en otro distinto es trivial si hay una relación lineal entre los coeficientes de atenuación de de ambos materiales, una sustitución directa en la expresión de la curva de atenuación nos permite obtenerla.

En el caso de la relación lineal, si $\mu_{\text{agua}} = a + b \cdot \mu_{\text{polietileno}}$ la relación entre la curva de atenuación en agua $K_{\text{agua}}(x_{\text{agua}})$ y la curva de atenuación en polietileno $K_{\text{polietileno}}(x_{\text{polietileno}})$ nos queda (naturalmente, los espesores son espesores máxicos):

$$K_{\text{agua}}(x_{\text{agua}}) = e^a \cdot K_{\text{polietileno}}(b \cdot x_{\text{agua}})$$

Si la relación lineal no es suficientemente precisa pueden utilizarse los métodos de la referencia [1].

Espectros suministrados



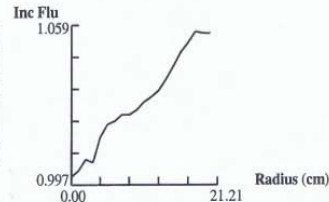
RTP System 9.8

Patient Name:	tmp	Date/Time:	2015-03-06 14:37:49
Patient ID:		Comment:	
Plan Name:		Institution:	
Trial Name:		Physician/Physicist:	/
Revision:	R01.P01.D01	Planner:	
Lock Status:	Not Locked		

Machine: VARIAN
 Version: 2014-10-22 14:47:56
 Energy: 6MV
 Field Size: All Field Sizes

Incident Fluence

Arbitrary profile	See plot
X (perpendicular to gantry axis) (cm)	0.01
Y (parallel to gantry axis) (cm)	0.01
Gaussian height (cm)	0.0742435
Gaussian width (cm)	1.52337
Top/Bottom jaw transmission	0.00104911
Left/Right jaw transmission	0.0034921
MLC transmission	0.01500



Modifiers

Modifier scatter factor 0

Electron Contamination

On/Off	On
Max Depth [MAXD] (cm)	2
EC Surface Dose [ECD 10x10] (D/Flu)	0.555247
Depth Coefficient [K] (1/cm)	4.96526
Off-axis Coefficient [OAC] (1/rad^2)	0
DF	0.0551416
SF	0.991767
C1 (D/Flu)	0.00751996
C2 (D/Flu)	0.439461
C3 (1/cm)	0.101372

Spectral Factors

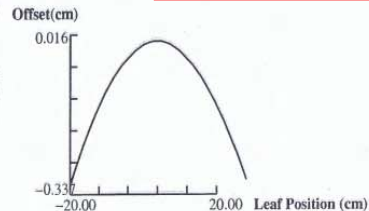
Off-axis softening factor 9.9375

Modeling Geometry

Fluence grid resolution (cm)	0.20
Phantom Size - Lateral (cm)	65.00
Phantom Size - Depth (cm)	50.00

MLC

Leaf offset calibration	See plot
Rounded leaf tip radius (cm)	8
Tongue and groove width (cm)	0.1
Additional interleaf leakage transmission	0.01



Energy Spectrum

(Energy in MeV)	
Energy MeV	Rel Photons
0.10	0.043
0.20	0.087
0.30	0.126
0.40	0.159
0.50	0.188
0.60	0.213
0.80	0.250
1.00	0.274
1.25	0.288
1.50	0.288
2.00	0.262
3.00	0.167
4.00	0.079
5.00	0.025
6.00	0.000
8.00	0.000



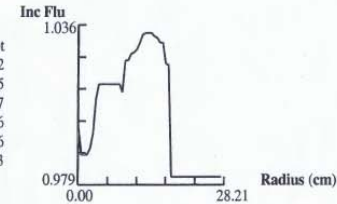
RTP System 9.8

Patient Name:	tmp	Date/Time:	2015-03-25 11:31:37
Patient ID:		Comment:	
Plan Name:		Institution:	
Trial Name:		Physician/Physicist:	/
Revision:	R01.P01.D01	Planner:	
Lock Status:	Not Locked		

Machine: PRIMUS1
 Version: 2014-03-10 09:11:19
 Energy: X 6 MV
 Field Size: All Field Sizes

Incident Fluence

Arbitrary profile	See plot
X (perpendicular to gantry axis) (cm)	0.0390042
Y (parallel to gantry axis) (cm)	0.0976225
Gaussian height (cm)	0.0692187
Gaussian width (cm)	0.863036
Jaw transmission	0.00275726
MLC transmission	0.01063



Modifiers

Modifier scatter factor 0

Electron Contamination

On/Off	On
Max Depth [MAXD] (cm)	2.5
EC Surface Dose [ECD 10x10] (D/Flu)	0.5
Depth Coefficient [K] (1/cm)	3.42779
Off-axis Coefficient [OAC] (1/rad^2)	0
DF	0.0756366
SF	0.998309
C1 (D/Flu)	0.008
C2 (D/Flu)	1.18689
C3 (1/cm)	0.255263

Spectral Factors

Off-axis softening factor 12.203

Modeling Geometry

Fluence grid resolution (cm)	0.20
Phantom Size - Lateral (cm)	50.00
Phantom Size - Depth (cm)	50.00

MLC

Tongue and groove width (cm)	0.1
Additional interleaf leakage transmission	0

Energy Spectrum

(Energy in MeV)	
Energy MeV	Rel Photons
0.10	0.054
0.20	0.098
0.30	0.138
0.40	0.180
0.50	0.212
0.60	0.240
0.80	0.287
1.00	0.312
1.25	0.331
1.50	0.340
2.00	0.328
3.00	0.220
4.00	0.108
5.00	0.034
6.00	0.010
8.00	0.000

Referencias

[1] V. Delgado. Comparison between measured and predicted attenuation curves of x-ray beams. *Medical Physics*. 26, 2183-2189, 1999