

## OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIS EN CRISTALINO EN PERSONAL TÉCNICO DE UN SERVICIO PET/CT

Marino, E.A.<sup>12</sup>

<sup>1</sup> Fundación Escuela Medicina Nuclear

<sup>2</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica

### RESUMEN

A partir de mediciones de dosis en cristalino en técnicos de PET/CT se decidió optimizar parte del blindaje. Como consecuencia la dosis en cristalino disminuyó en promedio 5 veces. La optimización consistió en sustituir el manipulador de actividad de visión indirecta del cuarto caliente de PET por otro de visión directa diseñado *ad hoc*. Las falencias del primer manipulador conducían a procedimientos indebidos por parte de los técnicos.

El ICRP publicó en 2011 un comunicado recomendando que el límite de dosis equivalente anual en cristalino para el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) sea disminuido a 20 mSv. Esta recomendación motivó el desarrollo de una metodología fiable de medición de dosis en cristalino, para técnicos del servicio de PET/CT de FUESMEN, por medio de dosímetros TLD y magnitud operacional Hp(3). Dicho trabajo fue presentado en IX Latin America IRPA Regional Congress, con el nombre *Determinación de la dosis en cristalino por medio de TLD, en el personal técnico de un servicio PET/CT*, por los autores: Arenas, Marino.

En el presente trabajo se optimizó el blindaje y posteriormente se relevaron valores de dosis en cristalino de los técnicos, usando la misma metodología de medición validada en el trabajo previo. Los resultados comparativos reflejan las mejoras logradas, no superándose actualmente el nivel recomendado de 20 mSv/año, según cálculos prospectivos. Además, a pesar de existir cambios sustanciales en los campos radiantes a los que se expone el cristalino bajo las condiciones actuales de trabajo, los valores de Hp(3) reportados a partir del dosímetro de cuerpo entero continúan sin reflejar de forma consistente la dosis de cristalino evaluada por los dosímetros montados en gafas. Por lo tanto, se concluye que el servicio de PET/CT de FUESMEN debería incorporar rutinariamente esta última metodología de medición.

### 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este trabajo está motivado a partir de la validación de un método de medición para estimar la dosis en cristalino en el personal técnico de PET, llevado a cabo en las instalaciones de FUESMEN [1]. Además se suman las investigaciones recientes sobre los efectos radioinducidos de la catarata en el cristalino sobre el personal expuesto en

---

<sup>1</sup> E-mail del Autor. emarino@fuesmen.edu.ar

aplicaciones médicas [2-3-4-5] y las recomendaciones del ICRP en disminuir a 20 mSv/año el límite de dosis equivalente en cristalino, *He*, en las exposiciones ocupacionales [6].

A partir del crecimiento que ha tenido el servicio de PET/CT con la incorporación de la modalidad híbrida y el incremento en el número de pacientes y actividad inyectada, trajo como consecuencia una mayor exposición al personal técnico. Según datos prospectivos calculados a partir de las mediciones obtenidas con TLD en el cristalino se reflejaron valores por encima de la recomendación del ICRP [1].

Por lo tanto, el objetivo específico del presente trabajo es modificar las condiciones de trabajo optimizando los blindajes en la etapa de fraccionamiento de la actividad y bajo estas situación relevar las dosis en cristalino en el personal técnico del servicio PET/CT. De esta manera se espera disminuir los niveles de dosis en cristalino cumplimentando con las recomendaciones internacionales.

De ser necesario, los resultados deberían poder ser utilizados a posteriori para lograr una eficiente planificación de las tareas operativas desarrolladas por los técnicos.

## 2. OBSERVACIONES

En relevamientos fuera de este trabajo se analizaron detalladamente todos los procedimientos, o *tareas*, que los técnicos realizan mientras se encuentran expuestos a las fuentes de radiación con la que trabajan, a fin de identificar y registrar geometrías de irradiación (distancia fuente-cristalino), tiempos insumidos en cada procedimiento y actividad de las fuentes manipuladas. Las tareas definidas fueron tres grupos: *fraccionamiento* (sector: cuarto caliente), *inyección* (sector: inyectorio) y *posicionamiento del paciente* (sector: sala de PET/CT) [1].

En los tres sectores fueron realizadas las mediciones correspondientes de Hp(10), Hp(3) y Hp(0.07) de la dosimetría del personal. Además, con el análisis de procedimientos y las dosis detectadas por los TLD, las mayores contribuciones de dosis en cristalino correspondían a la etapa de fraccionamiento del radiofármaco FDG [1].

De esta manera, con estimaciones prospectivas se obtuvieron que los valores anuales de dosis en cristalino representaban un 19,35 % del límite de 150mSv/año establecido por la ARN en la vigente Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1- Rev 3 [7]. Sin embargo, se excedió en un 45,1% el límite de 20 mSv/año propuesto en la recomendación del ICRP. Esto implica que, en caso que la ARN actualice la normativa vigente a valores idénticos que los sugeridos por ICRP, el servicio PET-CT de FUESMEN quedaría automáticamente por encima del límite [1].

En base a todo lo analizado se propone a partir de este trabajo modificar el manipulador de dosis que se utiliza en los procedimientos de fraccionamiento para aumentar la capacidad de atenuación de los fotones gamma de 511 KeV hacia el cristalino. Se estima que el método de visión directa a través de un vidrio plomado debidamente calculado lograría resultados satisfactorios.

### 3. DISEÑO DEL FRACCIONADOR DE VISIÓN DIRECTA

El fraccionador de visión indirecta permitía procedimientos indebidos por parte de los técnicos en el momento de la manipulación del material radioactivo que conducían a sobreexposiciones del cristalino. De esta manera para optimizar las dosis en cristalino, se procedió a diseñar un fraccionador que cumplan con requerimientos más adecuados de blindaje. Una de las modificaciones a mejorar fue la incorporación de un método de visión directa que permitiera disminuir las exposiciones indeseadas en el cristalino comparado con el método de visión indirecta.

Se desarrollo un fraccionador con blindajes de paredes plomadas de 5 cm de espesor con dimensiones que se adaptaran a las necesidades del cuarto caliente del servicio de PET/CT de la institución y que cumplieran con los requerimientos establecidos por la ARN [8]. Se agregó un campo de visión directa de 10 cm x 12 cm que permitiera una visualización correcta utilizando láminas de vidrio plomado superpuestas.

Se procedió a realizar un simple cálculo del espesor de vidrio plomado necesario para lograr una buena atenuación para el visor de visión directa. En la institución se contaba con las láminas de vidrio plomado de aproximadamente 8 mm de espesor. Se utilizo una fuente emisora de positrones ubicada a 10 cm de un monitor Geiger y se midieron las tasas de dosis que detectaba en condiciones sin blindaje y con blindaje. Se fueron agregando las láminas de vidrio plomado consecutivamente durante las mediciones hasta obtener una reducción en la tasa de dosis de aproximadamente de 1,03mSv a 0,02mSv en las condiciones establecidas previamente. Por lo tanto se obtiene un factor de transmisión de aproximadamente  $B = 0,0194$ , equivalente a 27 mm de espesor de plomo para fotones gamma de 511KeV. Con estos valores medidos se estable finalmente un blindaje de 8cm de espesor de vidrio plomado que permitiera su fácil ensamble en la construcción y que lograr una buena atenuación de los fotones gamma de 511KeV para el visor de visión directa.

### 4. MEDICIONES

Una vez instalado el nuevo diseño del fraccionador de visión directa se procedió a la entrega de los dosímetros TLDs a dos técnicos del servicio PET/CT para evaluar las mediciones de las siguientes magnitudes operacionales: Hp(10) medida en tórax (**Hp(10)(tórax)**) y Hp(0,07) medida en extremidad (**Hp(0,07)(extr.)**). Para las mediciones en cristalino se utilizó el método de validación anterior montando dos TLDs en los extremos de las gafas para obtener las medidas en el lado derecho **Hp(3)der.(cris)** y el lado izquierdo **Hp(3)izq.(cris)**[1-2](Figura 4.1).



**Figura 4.1 Gafas con los TLD montados.**

Las mediciones se obtuvieron en forma acumulada durante un periodo de 1 mes para arrojar medidas de dosis superiores a la incertidumbre del detector. El proceso de lectura de la dosis acumulada se realizó de forma simultánea para que todos los TLDs implementados cumpliendo el mismo tiempo de exposición al campo de radiación.

Utilizando el mismo análisis de procedimientos del proyecto de investigación anterior, se llevó un registro de las actividades de material radioactivo utilizadas durante las mediciones y de allí se calculó el valor promedio de la actividad en el vial madre manipulada por el técnico durante la etapa de fraccionamiento, denominada *actividad promedio al fraccionar (APF)* y la actividad promedio administrada por paciente *actividad inyectada promedio (AIP)* (Tabla 4.1).

Se obtuvo la *dosimetría personal acumulada* en unidades de ( $\mu\text{Sv}$ ): *Hp(10)acum.*, *Hp(3)der.acum.(crist.)*, *Hp(3)izq.acum(crist)*, el promedio *Hp(3)prom.(crist.)* y *Hp(0,07)acum..* Además fueron calculados los valores APF y AIP por la cantidad total de pacientes obteniendo APF (*APF/pac.*) y de AIP (*AIP/pac.*) en unidades de (mCi) para cada técnico (**Tec\***: Técnico, **Pac\***: Número de Pacientes Inyectados) (Tabla 4.1).

**Tabla 4.1. Mediciones de dosis acumuladas.**

<b>Tec.</b>	<b>Pac.</b>	<b>APF/pac. (mCi)</b>	<b>AIP/pac (mCi)</b>	<b>Hp(10) acum. (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>Hp(3)der. acum. (crist.) (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>Hp(3)izq. acum. (crist.) (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>Hp(3) prom. (crist.) (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>	<b>Hp(0,07) acum. (extr.) (<math>\mu\text{Sv}</math>)</b>
A	45	298,05	9,15	350	987	869	928	17.960
B	65	110,64	7,98	425	787	761	774	8.450

Las dosis equivalentes acumuladas que recibe cada técnico se normalizaron por paciente inyectado, resultando los valores *Hp(10)/pac.*, *Hp(3)prom.(crist)/pac.* y *Hp(0,07)/pac.* (Tabla 4.2).

**Tabla 4.2. Mediciones de dosis normalizadas por paciente inyectado.**

<b>Técnico</b>	<b>Hp(10)/pac. (tórax) (uSv)</b>	<b>Hp(3)prom/pac. (crist.) (uSv)</b>	<b>Hp(0,07)/pac. (extr.) (uSv)</b>
A	7,77	20,62	399,20
B	6,53	12,31	130,12

## 5. ANÁLISIS DE COMPARATIVO

Las mediciones y el relevamiento de datos con el nuevo diseño del fraccionador fueron comparados con los datos arrojados durante la utilización del fraccionador de visión indirecta [1]. En este trabajo se realizaron los mismos procedimientos la recolección de datos con respecto a la investigación anterior. Esto nos permite versatilidad de comparación entre las diferentes magnitudes medidas por cada técnico entre diseños implementados (Tabla 5.1 y 5.2).

De la tabla 5.1 se refleja un incremento en la actividad manipulada promedio por paciente para cada uno de los técnicos, sin embargo la actividad inyectada promedio se conserva para estas mediciones. Esto datos son un reflejo del aumento progresivo del número de pacientes que ha tenido el servicio, el cual ha requerido aumentar la actividad de material radioactivo necesaria en una jornada laboral.

**Tabla 5.1. Comparación de actividades fraccionadas e inyectadas normalizadas por paciente para los dos diseños.**

<b>Técnico A</b>			<b>Técnico B</b>	
<b>Fraccionador</b>	<b>APF/pac (mCi)</b>	<b>AIP/pac. (mCi)</b>	<b>APF/pac (mCi)</b>	<b>AIP/pac. (mCi)</b>
Visión directa	298,05	9,15	110,64	7,68
Visión indirecta	245,12	9,23	66,00	7,59

El incremento de la actividad manipulada ha reflejado mayores dosis en extremidades por paciente inyectado (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2. Comparación entre las dosis con fraccionador de visión directa vs. indirecta**

<b>Fraccionador</b>	<b>Técnico A</b>	<b>Técnico B</b>
	<b>Hp(0,07)/pac.</b>	<b>Hp(0,07)/pac.</b>
Visión Directa	399,2	130,12
Visión Indirecta	166,15	36,56

Se observa en la tabla 5.3 las disminuciones respectivas de las dosis normalizadas por paciente Hp(10)/pac. y Hp(3)prom.(cris.)/pac. La modificación en el diseño ha traído mejor aceptación por parte del personal técnico, optimizando los procedimientos al fraccionar el material radioactivo. Por lo tanto las mejoras en las condiciones estructurales de blindaje han reflejado las bajas en las dosis en cristalino.

**Tabla 5.3. Comparación entre las dosis normalizadas por paciente con fraccionador de visión directa vs. indirecta**

Fraccionador	Técnico A		Técnico B	
	Hp(10)/pac. (uSv)	Hp(3)prom.(cris.)/pac. (uSv)	Hp(10)/pac. (uSv)	Hp(3)prom.(cris.)/pac. (uSv)
Visión Directa	7,774	20,62	6,538	12,31
Visión Indirecta	14,35	89,86	15,07	46,56

Además se presenta una estimación de la  $[(Dosis\ Hp(3)prom\ crist.)/(ATF\ total\ (mCi))]$ . Tal estimación se logra a partir de calcular la dosis acumulada Hp(3)prom.(cris.), para cada técnico, y luego dividiéndola entre la Actividad Total Fraccionada (ATF) por dicho técnico. Siendo la ATF el producto entre APF/pac. y número total de pacientes inyectados por cada técnico. De esta manera son comparados los valores de dosis recibida en cristalino por actividad fraccionada (Tabla 5.4).

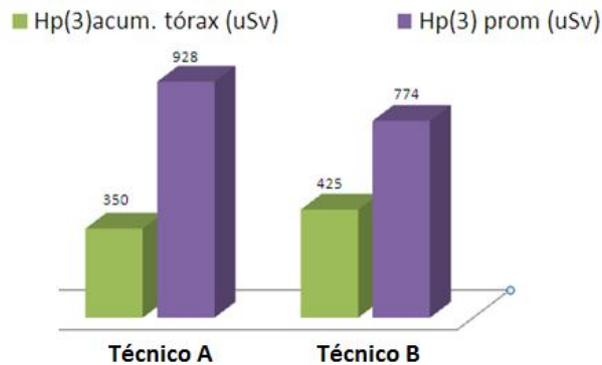
**Tabla.5.4. Comparaciones de la dosis en cristalino por actividad manipulado en los fraccionadores visión directa vs. indirecta.**

Fracc.	Técnico A		Técnico B	
	ATF (mCi)	Hp(3)prom(crist.)/ATF	ATF (mCi)	Hp(3)prom(crist.)/ATF
Visión Directa	13.415	0,069	7,191	0,107
Visión Indirecta	15.932	0,37	5,680	0,49

Analizando en la tabla 5.4, se evidencia una gran disminución en los valores de las columnas titulada  $Hp(3)prom(crist.)/ATF$  para cada técnico. Calculando la razón entre  $Hp(3)prom(crist.)/ATF$  de cada técnico para el fraccionador de visión indirecta con respecto a visión directa, se obtiene que en promedio la dosis a disminuido cinco veces. Finalmente podemos decir que el nuevo fraccionador de visión directa ha cumplido con uno de los objetivos de este trabajo.

Por otro lado, los valores obtenidos por los TLDs de tórax fueron procesados por la herramienta Doctor's Dosimetry obteniendo las magnitudes operacionales que normalmente informa Radiofísica Sanitaria. Se calculó el valor acumulado la etapa de Hp(3) tórax:  $Hp(3)$

*acum.(tórax)*. Estos valores fueron comparados con las mediciones obtenidas de las gafas *Hp(3)acum.(crist)* (Fig. 5.1).



**Figura 5.1. Valores de Hp(10)acum. (tórax) y Hp(3)acum. (crist.) en cada técnico.**

Se infiere que, para un mismo técnico existen grandes diferencias entre los valores de Hp(3) medida en cristalino y Hp(3) medida en tórax, haciéndose evidente que la medición en tórax es un mal estimador de la dosis en cristalino, esto es debido a que el torso y la cabeza están expuestos a tasas de radiación muy distintas, fundamentalmente por las relaciones geométricas entre órganos.

Para analizar la contribución de dosis que reciben en cristalino los técnicos por paciente, los datos de la Tabla 4.2 son promediados entre los técnicos, obteniendo  $Hp(3)/pac = 16,46$  uSv/pac. A partir de esto, en función de la carga actual de trabajo del servicio, cada técnico realiza en promedio 3 estudios por día. Considerando 200 jornadas laborales al año, puede estimarse prospectivamente una  $Hp(3)/año$  (crist.) por técnico igual a 9,87 mSv, por debajo del límite recomendado por el ICRP.

## 6. CONCLUSIONES

En primer lugar, las mediciones Hp(3)crist. obtenidas con las gafas demuestran que, bajo las nuevas condiciones de trabajo, los valores de Hp(3) que se reportan mensualmente al servicio de PET/CT, y que son generados a partir del dosímetro de cuerpo entero, continúan sin representar fidedignamente la dosis del cristalino. De esta manera es conveniente implementar en el personal técnico la dosimetría en cristalino a través de la magnitud operacional Hp(3)crist..

A partir de estimaciones prospectivas, se obtuvo que los valores anuales de dosis en cristalino representarían un 6,58 % del límite de 150mSv/año establecido por la ARN en la vigente Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1- Rev 3 [7]. Además, simboliza un 50,65% por debajo del límite de 20 mSv/año propuesto en la recomendación del ICRP. Esto implica que, en caso que la ARN actualice la normativa vigente a valores idénticos que los

sugeridos por ICRP, el servicio PET-CT de FUESMEN quedaría automáticamente dentro del límite requerido.

A partir de los resultados obtenidos se evidencian las mejoras en la capacidad de atenuación hacia el cristalino. Se comprueba que el método de visión directa a través de un vidrio plomado debidamente calculado ha logrado resultados satisfactorios, reduciendo las dosis 5 veces menos que el método de visión indirecta. Se podría optimizar aún más la dosis de cristalino introduciendo la cámara de ionización del activímetro dentro del mismo manipulador, lo que también simplificaría la manipulación de las fuentes y por lo tanto reduciría los tiempos de las acciones pertinentes.

Por otro lado, se esperan cambios de infraestructura en Ciclotrón – Radiofarmacia que implica la implementación de estudios con Metionina-11C, Colina-11C y Amonio-13N. Todo lo comentado anteriormente repercutirá en un aumento del número de estudios realizados, y al mismo tiempo incorporará distintos emisores de positrones. Una vez que se hayan introducido todos estos cambios sería conveniente evaluar nuevamente la dosis en cristalino.

## 7. REFERENCIAS

[1] Marino, E., Arenas, G., “Determinación de la dosis en cristalino por medio de TLD, en el personal técnico de un servicio PET/CT”, *IRPA*, 2013.

[2] Gualdrini 1, F. Mariotti 1, S.Wach<sup>2</sup>, P. Bilski 2, M. Denoziere 3, J. Daures 3, J.-M. Bordy<sup>3</sup>, P. Ferrari 1, F. Monteventi 1 and E. Fantuzzi. EYE LENS DOSIMETRY: TASK 2 WITHIN THE ORAMED PROJECTG. I1ENEA-IRP Radiation Protection Institute, Via deiColli 16, 40136 Bologna (BO), Italy.

[3] R. Behrens. Monitoring the Eye Lens. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116. Braunschweig, Germany.

[4] Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM, et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol* 2008; 168(6):620-31.

[5] Wilde G, Sjostrand J. A clinical study of radiation cataract formation in adult life following gamma irradiation of the lens in early childhood. *Br J Ophthalmol* 1997; 81(4):261-6.

[6] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Statement on Tissue Reactions. ICRP ref 4825-3093-1464. Approved by the Commission on April 21, 2011.

[7] Norma AR 10.1.1. Norma básica de seguridad radiológica. Autoridad Regulatoria Argentina. Revisión 3. Año: 2003.

[8] Norma AR 8.2.4. Uso de fuentes radioactivas no selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear. Autoridad Regulatoria Argentina. Revisión 1. Año: 2003.