

ESTUDIO PILOTO DE DOSIS EN CRISTALINO EN RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA

Castro, A. ¹, Martínez, A. ¹, Fernández, A. ¹, Molina, D. ¹, Sánchez, L. ² y Díaz A. ²

¹Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones
²Hospital Clínico Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras"

RESUMEN

La radiología intervencionista implica niveles de exposición considerables para el personal ocupacionalmente expuesto. Las dosis abarcan un amplio rango de valores en dependencia de la función del personal y la complejidad del procedimiento. En órganos como el cristalino y la piel pudieran implicar la aparición de efectos deterministas. Múltiples estudios así lo han demostrado; uno de los más connotados fue el estudio retrospectivo de daños en cristalino y dosis, RELID por sus siglas en inglés. Sus resultados contribuyeron a que la ICRP recomendara un límite anual de equivalente de dosis para cristalino de 20 mSv. Con el objetivo de analizar las implicaciones operacionales, en los programas de vigilancia radiológica, originadas por estas nuevas recomendaciones, se desarrolló un estudio piloto para evaluar las dosis en cristalino en trabajadores ocupacionalmente expuestos vinculados a la radiología intervencionista en un hospital cubano. Utilizando un maniquí antropomórfico RANDO-ALDERSON se colocaron dosímetros termoluminiscentes por debajo y encima del delantal plomado y alrededor de los ojos, simulándose los procedimientos más representativos por su complejidad, tiempo de duración y tasa de exposición. Fueron utilizados dosímetros RADOS con detectores termoluminiscentes GR-200 para evaluar el equivalente de dosis profunda Hp(10) y en cristalino Hp(0.07). Estos fueron previamente sometidos a pruebas según la norma IEC 1066 y segregados por su sensibilidad individual. Se utilizó el lector automático TLD modelo RADOS del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), calibrado en función de la magnitud a evaluar. Este estudio permitió demostrar que la aplicación del nuevo límite de dosis establecido para cristalino puede conllevar a diferentes implicaciones desde el punto de vista operacional en los programas de vigilancia radiológica. Así mismo posibilitó la emisión de algunas recomendaciones en cuanto a tipo de vigilancia radiológica individual y frecuencia de uso para el personal ocupacionalmente expuesto durante los procedimientos intervencionistas.

1.-INTRODUCCIÓN

El desarrollo acelerado de las técnicas imagenológicas ha contribuido al incremento del uso de la Radiología Intervencionista en los últimos años. Los constantes avances en el procesamiento digital de imágenes han permitido implementar nuevas y complejas operaciones y el perfeccionamiento de catéteres, sondas y stents ha contribuido a la expansión y popularidad de las técnicas intervencionistas, ganando cada día mayores partidarios. En los últimos años es notable el incremento del uso de estas técnicas ya que permite a los especialistas evitar procedimientos invasivos tales como las cirugías que en algunos casos no son toleradas por el paciente debido a su edad o patología, contribuyendo a la pronta recuperación y a la disminución del tiempo de estadía hospitalaria.

Por otro lado los procedimientos intervencionistas requieren tiempos de fluoroscopia largos, adquisiciones en régimen de fluoroscopia de alta tasa de dosis y en modo cine que aportan altas dosis tanto a los pacientes como a los trabajadores ocupacionalmente expuestos [1; 3; 6]. Además estos procedimientos requieren que el personal se mantenga muy cerca del paciente, quien constituye la mayor fuente de radiación dispersa y en ocasiones puede quedar expuesto al haz primario de rayos X si introdujera sus manos bajo este. En las extremidades inferiores las dosis pueden ser sustanciales cuando el especialista permanece situado cerca del tubo de rayos X y no dispone de los medios de protección adecuados. Pero muy

significativas pueden llegar a ser las dosis en cristalino cuando el personal expuesto no utiliza las gafas protectoras teniendo en cuenta la radiosensibilidad de este órgano.

Es por ello que se han desarrollado múltiples estudios para evaluar el efecto de las radiaciones ionizantes sobre el cristalino teniendo en cuenta las dosis recibidas por el personal expuesto. Uno de los más connotados y cuyos resultados han tenido mayor impacto para la Protección Radiológica Ocupacional ha sido la evaluación retrospectiva de daños en cristalino y dosis, conocido por sus siglas en inglés como RELID [7] auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica con la colaboración de la Sociedad Latinoamericana de Cardiología Intervencionista. El objetivo de este estudio fue evaluar la prevalencia de opacidad en cristalino en trabajadores vinculados a la cardiología intervencionista y correlacionarla con la exposición ocupacional. Los resultados obtenidos contribuyeron a que la Comisión Internacional de Protección Radiológica [4; 7] y las Normas Básicas Internacionales de Seguridad recomendaran nuevos límites de dosis para este órgano debido a la exposición ocupacional:

- Dosis equivalente de 20 mSv por año en cristalino (contra 150 mSv anteriores) como promedio en 5 años y no debe exceder los 50 mSv en un año.

Cuba no ha estado ajena a la preocupación por las dosis que recibe el personal ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes durante la ejecución de procedimientos intervencionistas. El único estudio sobre este tema en el país del cual se tiene referencia, lo realizó el CPHR en el año 1997, en el que se evaluó la exposición ocupacional del equipo médico de radiología intervencionista del Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras” y los resultados confirmaron que este personal es uno de los de mayor exposición, así como la necesidad inmediata de evaluar estas dosis a nivel nacional no solo para estos trabajadores sino para los pacientes sometidos a dichos procedimientos. Hoy día teniendo en cuenta las nuevas tecnologías introducidas en el país para esta práctica y a tenor de las recientes recomendaciones de la ICRP se impone la evaluación de la exposición ocupacional que recibe actualmente este personal y de las implicaciones que para los programas de vigilancia radiológica tiene el nuevo límite de dosis equivalente en cristalino.

Teniendo en cuenta lo anterior y como una primera aproximación al tema fue diseñado un estudio piloto en el Servicio de Radiología Intervencionista de un hospital de La Habana cuyo programa de vigilancia radiológica individual es similar al resto de los programas implementados a nivel nacional para esta práctica y que sólo incluye el monitoreo de las dosis en cuerpo entero y extremidades. El objetivo de este trabajo es estimar las dosis en cristalino que pudiera recibir el personal ocupacionalmente expuesto durante los procedimientos intervencionistas rutinarios a partir en primer lugar, de mediciones directas utilizando dosímetros termoluminiscentes (TLD) ubicados a la altura del cristalino y en segundo lugar, estimadas a partir de dosímetros posicionados en el torso por dentro y por fuera del delantal.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio fue seleccionado el servicio de radiología intervencionista del departamento de Rayos X del Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras” en La Habana. Esta institución constituye Centro de Referencia para la especialidad de Imagenología tanto en servicios como en la formación de postgrado. Por el volumen y variedad de procedimientos que realiza se considera representativo de la práctica nacional en la especialidad. Este servicio está dotado con un angiógrafo marca Phillips modelo

INTEGRIS ALLURA, cuya cadena de obtención de imágenes está basada en cámara CCD con salida digital. Dispone de un dispositivo limitador del haz y posee tres modalidades de fluoroscopia: alta, media y baja que difieren en cuanto a calidad de imagen, el índice de dosificación y el procesamiento de las imágenes. Como único elemento de protección intrínseco para el personal posee una pantalla acrílica basculante, suspendida del techo y con un blindaje equivalente a 0.5 mm de plomo.

El servicio de radiología intervencionista del HHA realiza mensualmente más de 70 procedimientos especializados. Entre ellos podemos citar las arteriografías hepáticas, las biopsias por aspiración con aguja fina de pulmón, flebografías de miembros inferiores, embolizaciones hepáticas, embolizaciones de várices pelvianas, quimio embolizaciones, estudios para donantes, colocación de catéter, angiografías y angioplastias cerebrales y periféricas, entre otros. De los procedimientos antes mencionados y según los datos aportados, el que con más frecuencia se realiza es la angiografía cerebral. Este tipo de estudio es considerado como uno de los más complejos por el tiempo de exposición y el número de proyecciones realizadas. Por estas razones se considera como uno de los procedimientos que pudiera ser el mayor contribuyente a las dosis ocupacionales y aportar niveles de exposición significativamente altos. Teniendo en cuenta estos criterios fue el tipo de procedimiento seleccionado para llevar a cabo el estudio y evaluar en diferentes escenarios el comportamiento del equivalente de dosis personal en cuerpo entero y cristalino.

El grupo de trabajo del servicio de radiología intervencionista está integrado por médicos especialistas en imagenología, licenciados en enfermería y en imagenología. Todos ellos están incluidos en el programa de vigilancia radiológica individual desarrollado en la institución. Dicho programa tiene una frecuencia mensual y comprende la evaluación del equivalente de dosis en cuerpo entero utilizando la magnitud $H_p(10)$ medida con dosímetro termoluminiscente modelo RADOS colocado por debajo del delantal plomado; y la evaluación del equivalente de dosis en extremidades $H_p(0.07)$ empleando un dosímetro de anillo con el mismo tipo de detector. El servicio de dosimetría para la vigilancia radiológica ocupacional es brindado por el Laboratorio de Dosimetría Externa (LDE) del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR). Como medios individuales de protección utilizan delantales con blindaje equivalente a 0.35 mm de plomo y gafas protectoras con blindaje equivalente a 0.5 mm de plomo sin protección lateral.

El estudio se desarrolló simulando condiciones de trabajo lo más cercanas a las reales. Para ello se empleó un maniquí antropomórfico Rando-Alderson (RA) para evaluar las dosis individuales durante el desarrollo de dos protocolos estándar de angiografía cerebral: uno utilizando el modo de fluoroscopia y otro que emplea además la substracción digital de imágenes. Para realizar las mediciones se colocó el maniquí RA en las posiciones que habitualmente ocupan el especialista principal y las enfermeras durante un procedimiento, teniendo en cuenta que son las más cercanas al paciente y donde se esperan los mayores niveles de exposición ocupacional, ver Figura 1.

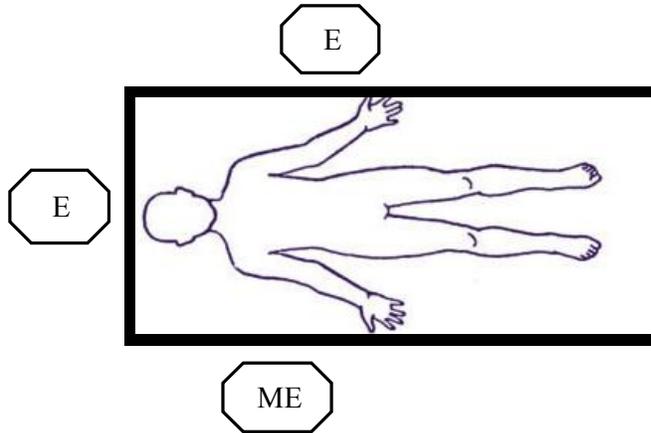


Figura 1. Posicionamiento del maniquí Rando-Alderson respecto al paciente.

2.1 Ejecución de las mediciones

Teniendo en cuenta las condiciones rutinarias de trabajo al maniquí RA se le colocaron el delantal y las gafas protectoras disponibles en el servicio. Los dosímetros fueron colocados como puede observarse en la Figura 2. Un dosímetro TL de cuerpo entero por encima y otro por debajo del delantal plomado y 4 dosímetros TL para evaluar las dosis en cristalino en diferentes posiciones alrededor de los ojos: uno en la cara anterior al frente de las gafas protectoras; dos sobre la piel en contacto directo con el maniquí (encima y en el lateral del ojo más cercano al haz primario) y un cuarto sobre la pata del espejuelo en el lateral del propio ojo.



Figura 2. Maniquí preparado para el estudio.

Los dosímetros TL utilizados en el estudio estaban compuestos por detectores del modelo GR-200 (LiF:Mg, Cu,P) seleccionados a partir de un grupo sometido a las pruebas recomendadas por la Norma Internacional IEC 1066 [5] con vistas a estudiar su respuesta energética, angular, la homogeneidad y la reproducibilidad. Así mismo fue calibrada la sensibilidad individual al igual que el fondo o lectura cero de cada detector. La lectura de los mismos se realizó utilizando un lector automático TLD, RADOS-DOSACUS, modelo RE-2000. El sistema fue calibrado en términos de equivalente de dosis personal, utilizando dosímetros irradiados en condiciones de referencia en el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (LSCD) del CPHR.

La magnitud estimada durante el estudio fue la dosis efectiva E a partir de relacionar las dosis evaluadas por dos dosímetros de cuerpo entero colocados a la altura del torso; uno por encima y otro por debajo del delantal frontal. Estos dosímetros fueron calibrados en la magnitud equivalente de dosis profunda Hp(10), en condiciones de referencia utilizando un maniquí ISO de láminas.

El equivalente de dosis en cristalino fue evaluado a partir de la magnitud Hp(0.07) utilizando dosímetros compuestos por tres detectores colocados dentro de una envoltura plástica transparente. Estos fueron calibrados utilizando un maniquí ISO de varilla de 19 mm de diámetro y 300 mm de altura. Esta magnitud fue seleccionada teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales [2; 4; 5].

El cálculo de las magnitudes Hp(d) se realizó a través de la expresión:

$$Hp(d) = ((L-Lo)*Sd*Cd)/Sl \quad (1)$$

Donde: L es el valor reportado por la lectura del dosímetro

Lo es la lectura cero del dosímetro

Sd es la sensibilidad del detector

Cd es el factor de calibración del sistema

Sl es la sensibilidad del lector

Estos factores fueron determinados a partir de la calibración del sistema TLD.

El protocolo seleccionado para llevar a cabo las mediciones fue la angiografía cerebral (AC) con y sin sustracción digital de imágenes por ser uno de los estudios más complejos y que con mayor frecuencia se lleva a cabo en esta institución (15 a 18 semanalmente). Durante la ejecución de dicho protocolo se realizan proyecciones en diferentes ángulos: vista PA, oblicua anterior derecha e izquierda con una angulación del gantry de 20⁰, vistas laterales derecha e izquierda en ángulo de 90⁰, caudal y cráneo-caudal en ángulo de 20⁰.

El estudio se organizó en tres grupos de mediciones. Cada grupo para una posición dada del maniquí (posición del especialista principal, posiciones I y II de la enfermera). En cada posición se utilizó un juego completo de dosímetros (2 de cuerpo entero y 4 de cristalino) durante la ejecución del protocolo (todas las proyecciones y angulaciones).

Para simular al paciente objeto de estudio y las condiciones de dispersión del haz (de forma conservadora) fueron utilizados 20 y 24 láminas de (PMMA) de 1 cm de espesor, equivalentes al hombre de referencia y a una persona más gruesa. Como puede observarse en

la Figura 3 el maniquí se colocó hacia el extremo izquierdo de la camilla coincidiendo con la posición que ocupa la cabeza del paciente durante este tipo de procedimiento.



Figura 3. Montaje experimental de los maniqués.

2. 2. Resultados de las mediciones con el maniquí antropomórfico Rando-Alderson

Los resultados de las evaluaciones dosimétricas para cada posición del maniquí RA realizadas con el espesor de 20 cm PMMA correspondiente a un paciente estándar (hombre de referencia) se muestran en la Tabla 1. Los valores superiores de dosis efectiva y equivalente de dosis en cristalino corresponden, para ambos protocolos (fluoroscopia y ASD), a la posición de la Enfermera II debido a que es la más próxima al paciente y al tubo de rayos X.

Tabla 1. Dosis evaluadas en el RA durante procedimientos realizados utilizando maniquí de 20cm de PMMA.

Ubicación RA	E (mSv)**	Hp(0,07)* en cada posición del dosímetro (mSv)			
		Centro del Espejuelo	Encima del ojo	Lateral del ojo	Pata del Espejuelo
Fluoroscopia					
Esp. Pcpal.	0,02	0,18	0,04	0,16	0,19
Enfermera I	0,02	0,09	0,02	0,09	0,14
Enfermera II	0,03	0,30	0,11	0,19	0,25
ASD					
Esp. Pcpal.	0,03	0,20	0,04	0,18	0,20
Enfermera I	0,02	0,22	0,07	0,11	0,18
Enfermera II	0,06	1,30	0,15	0,78	1,02

*Incertidumbre del 20%

Los valores de equivalente de dosis Hp(0,07) medidos con los dosímetros ubicados en contacto con el maniquí, en la posición correspondiente al lateral del ojo, son del mismo orden que los valores obtenidos con los dosímetros colocados en el centro externo de los espejuelos. Esto podría estar dado por el diseño de las gafas plomadas que se utilizan de manera rutinaria en este servicio, las cuales no cuentan con protección lateral; por lo que la radiación dispersa en otras partes del propio espejuelo y en la cabeza del maniquí podría ser una contribución a los valores de equivalentes de dosis obtenidos en dicha posición.

Si comparamos los resultados del equivalente de dosis en cristalino, medido por los dosímetros colocados en el centro externo del espejuelo y directamente encima del ojo, para cada una de las ubicaciones del maniquí RA durante ambos procedimientos, observamos que los valores de la Enfermera II son superiores a los registrados para el Especialista Principal y la Enfermera I. Estos resultados permiten demostrar la variabilidad en el comportamiento de las dosis en el personal que interviene en los procedimientos intervencionistas, dependiendo de la función que realiza y de la ubicación con respecto al paciente y al equipo.

Para el caso de la angiografía con sustracción digital (ASD), el comportamiento de los equivalentes de dosis en cristalino, medidos en cada posición ocupada por el maniquí RA durante el protocolo, fueron superiores en todos los casos que los registrados durante la fluoroscopia; lo que corrobora que el modo de trabajo es un factor directamente relacionado con los niveles de exposición del personal.

Los valores de dosis efectiva estimados tuvieron igual comportamiento que los de equivalente de dosis en cristalino en correspondencia con la ubicación del maniquí durante las simulaciones.

En la Tabla 2 se muestran los valores de equivalente de dosis anuales en cristalino para cada una de las posiciones del maniquí RA. Estos fueron estimados considerando la carga de trabajo actual del servicio, que según los datos suministrados por su personal en las encuestas completadas y durante las entrevistas realizadas, es como promedio de 18 angiografías cerebrales en una semana.

Tabla 2. Equivalentes de dosis en cristalino en el RA durante procedimientos ASD (para 20cm de PMMA).

Ubicación RA	Equivalente de dosis en cristalino* (mSv)	Equivalente dosis anual** (mSv)
ASD		
Esp. Pcpal.	0,04	30,2
Enfermera I	0,07	54,4
Enfermera II	0,15	113,4

*Valor obtenido con el TLD ubicado encima del ojo. Incertidumbre 20 %

**Para la carga de trabajo actual del servicio

Estos valores estimados de equivalente de dosis en cristalino anual cumplen, en todas las posiciones del maniquí RA, con los límites de dosis vigentes actualmente en nuestro país (150 mSv/a) sin embargo, a la luz de las nuevas recomendaciones, dichos valores superan en más de 2 veces al nuevo límite anual (20 mSv/a promediado en 5 años).

La Tabla 3 muestra los valores de dosis evaluados durante los procedimientos intervencionistas en un paciente grueso, utilizando 24 cm de PMMA.

Tabla 3. Dosis evaluadas en procedimientos realizados en maniquí de 24cm de PMMA.

Ubicación RA	E (mSv)**	Hp(0,07)* en cada posición del dosímetro (mSv)			
		Centro Espejuelo	Encima Ojo	Lateral Ojo	Lateral Espejuelo
Fluoroscopia					
Esp.Pcpal.	0,07	0,48	0,12	0,29	0,41
Enfermera I	0,03	0,32	0,08	0,11	0,26
Enfermera II	0,07	0,69	0,15	0,37	0,47
ASD					
Esp.Pcpal.	0,12	1,73	0,26	1,24	1,52
Enfermera I	0,08	1,26	0,20	0,92	1,09
Enfermera II	0,11	1,94	0,25	1,38	1,48

* Incertidumbre: 20%

Durante el desarrollo de los procedimientos en un paciente grueso, simulado con 24 láminas de PMMA, los resultados muestran que las dosis efectivas y equivalentes en cristalino son superiores a los valores obtenidos durante las simulaciones con un paciente estándar (20 cm PMMA). El comportamiento relativo de estos valores entre las diferentes posiciones del maniquí RA es similar al obtenido en la simulación anterior; mayor dosis para la enfermera cercana a la cabeza del paciente en comparación con el especialista principal y la enfermera situada hacia el lado izquierdo del paciente.

Los resultados están en correspondencia con los obtenidos en otros estudios realizados por la comunidad científica dedicada a la protección radiológica en trabajadores expuestos en la práctica de la radiología intervencionista. Queda demostrada la relación que existe entre las dimensiones del paciente; quien constituye la fuente principal de radiación dispersa y por tanto de los niveles de exposición que puede recibir el trabajador.

En la Tabla 4 se muestra el cociente entre el equivalente de dosis personal por fuera del delantal y el equivalente de dosis en cristalino evaluado en el centro de los espejuelos. En las simulaciones realizadas esta relación guarda una razón que como promedio es cercana a la unidad.

Tabla 4. Relación entre las dosis evaluadas con TLD por fuera del delantal y en el centro de los espejuelos.

Ubicación RA	Encima delantal (ED)* (mSv)	Centro del espejuelo (CE)* (mSv)	Relación CE/ED
Fluoroscopia para 20 cm PMMA			
Esp.Pcpal.	0,28	0,18	0,6
Enfermera I	0,17	0,09	0,5
Enfermera II	0,41	0,3	0,7
ASD para 20 cm PMMA			
Esp.Pcpal.	0,27	0,20	0,7
Enfermera I	0,36	0,22	0,6
Enfermera II	1,45	1,3	0,9
Fluoroscopia para 24 cm PMMA			
Esp.Pcpal.	1,07	0,48	0,5
Enfermera I	0,41	0,32	0,8
Enfermera II	1,26	0,69	0,5
ASD para 24 cm PMMA			
Esp.Pcpal.	2,5	1,7	0,7
Enfermera I	1,5	1,3	0,8
Enfermera II	2,8	1,9	0,7

* Incertidumbre: 20%

Teniendo en cuenta esta relación, pudiera considerarse la utilización de un dosímetro colocado por fuera del delantal para estimar las dosis en cristalino, realizando la corrección por la atenuación producida por los espejuelos plomados que sean utilizados durante los procedimientos. Sin embargo es importante tener en cuenta que estudios internacionales indican que Hp(10) subestima la dosis en cristalino, especialmente para energías bajas de los fotones y ángulos de incidencia grandes; ya que el cristalino se ubica a una profundidad de 3mm por debajo de la superficie a diferencia de los 10 mm de tejido profundo para los que está definida esta magnitud.

3. CONCLUSIONES

Los valores de equivalentes de dosis y dosis efectiva para el personal que realiza los procedimientos intervencionistas son dependientes del tipo de estudio y la ubicación del personal en la sala. Los resultados muestran que las dosis en cristalino pudieran alcanzar valores significativos teniendo en cuenta la carga de trabajo del personal ocupacionalmente expuesto encargado de llevar a cabo los procedimientos intervencionistas.

Considerando estos valores de dosis evaluados durante este estudio en cristalino, el programa de vigilancia radiológica individual de la institución debería ser modificado para incluir el monitoreo periódico de la dosis en este órgano. Las modificaciones en el programa pudieran incluir bien el empleo de dosímetros TLD colocados en zonas cercanas a los ojos para evaluar directamente la dosis en cristalino o colocar un dosímetro adicional ubicado por fuera del delantal a partir del cual pudiera ser estimada la dosis en este órgano.

De igual manera estos niveles de exposición implican la revisión y modificación, siempre que sea posible, de los procedimientos operacionales valorando la inclusión de medios de protección complementarios como las pantallas protectoras suspendidas del techo, utilizar gafas protectoras con blindaje lateral para la protección del cristalino, la variación de las posiciones que ocupa el personal durante el desarrollo de los estudios y las cargas de trabajo.

Se recomienda desarrollar un programa de vigilancia médica especial para los trabajadores ocupacionalmente expuestos vinculados a los procedimientos intervencionistas que incluya el chequeo oftalmológico periódico.

4. REFERENCIAS

1. Bhargavan M. “Trends in the utilization of medical procedures that use ionizing radiation,” *Health Physics*, **95**,612–27 (2008).
2. Behrens R, Dietze G, “Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate,” *Phys. Med. Biol.*, **55**, 4047-4062 (2010).
3. Efstathopoulos E P, Pantos I, Andreou M, Gkatzis A, Carinou E, Koukorava C, Kelekis N L, Brountzos E., “Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures”, *The British Journal of Radiology*, **84**, 70–77 (2011).
4. International Atomic Energy Agency. Occupational Radiation Protections. Safety Standards. Draft Safety Guide DS 453 (2014).
5. IEC 1066 “Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring.” First Edition (1996).
6. Padovani R., Foti C., Malisan MR. “Staff dosimetry protocols in interventional radiology,” *Radiat Prot Dosimetry*, 94,193–6 (2001).
7. Rehani MM, Vano E, Ciraj-Bjelac O, Kleiman NJ. “Radiation and cataract,” <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21764807> (2011).