

IMPLEMENTACIÓN DEL SEGUNDO DOSÍMETRO EN HEMODINAMIA E INTERVENCIONISMO

Sacc R.¹, Gomez F.¹, Herrero F.¹, Sacc A.¹, Sacc G.¹, Beltrame C.¹, Zucca M.¹

¹ C.E.R. Consultoría en Radiaciones s.r.l.
Doctor Zavalla 2947 Santa Fe, Argentina (3000), Santa Fe, Argentina
ricardo_cer@arnetbiz.com.ar

RESUMEN

Desde hace 25 años, hemos recomendado el uso de un segundo dosímetro para una mejor estimación de las dosis ocupacionales de los profesionales que se desempeñan en las prácticas de Hemodinamia e Intervencionismo, dado el alto grado de inhomogeneidad de los campos radiantes que inciden sobre las partes del cuerpo protegidas por elementos de radioprotección personales, respecto a la incidencia sobre zonas sin protectores personalizados. El objetivo principal de su uso es poder proporcionar una mejor estimación de la dosis efectiva ocupacional, teniendo en cuenta que las variaciones de tasas de dosis en las zonas referidas son elevadas y normalmente, superan un orden de magnitud. La bibliografía internacional cita importantes mejoras en la estimación de dosis mediante el uso de dos dosímetros (uno por detrás del delantal plomado y otro sin atenuador alguno), pero advierte sobre algunas complicaciones al momento de adoptar los algoritmos de cálculos correspondientes, así como errores generados por el uso incorrecto de los mismos. El objetivo del presente trabajo, es comentar cuales fueron nuestros criterios al momento de la implementación oficial del uso de ambos, ya que desde inicios del año 2014, para usuarios que se desempeñen en procedimientos dinámicos, la Autoridad de Salud Pública, ha dispuesto la obligatoriedad del uso de los mismos.

1. INTRODUCCIÓN

La última publicación de la IAEA, referida a protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación, pone énfasis nuevamente, en la necesaria promoción de la cultura de la seguridad que debe impartir la Dirección Médica de cada instalación generadora de radiaciones ionizantes hacia los trabajadores que en ella se desempeñan.

Por medio de la misma, se debe verificar no sólo que los límites de Exposición Ocupacional no sean excedidos, sino que también la protección radiológica esté optimizada en concordancia con los estándares requeridos.

Consecuentemente, deberán proveer instalaciones adecuadas, - desde el punto de vista de los blindajes estructurales -, equipamiento permanentemente monitoreado, - desde la prestación que brinda y de las dosis impartida al paciente en los distintos procedimientos -, elementos de protección personales, servicio de dosimetría personal, y capacitación continua en radioprotección, pero también deberán velar por el cumplimiento de las responsabilidades de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes, esto es el uso en forma constante y apropiado de los elementos de protección personal y de los dosímetros personales.

Creemos que el rol que deben prestar las empresas de dosimetría externas, en las distintas instalaciones, no sólo es el de dar la dosis estimada de cada uno de los trabajadores que allí se

desempeñan, sino además trabajar conjuntamente con los recursos humanos de las mismas asesorándolos en materia de radioprotección para ir evolucionando en los distintos procedimientos utilizados, de forma de ir reduciendo las dosis ocupacionales resultantes.

En los procedimientos dinámicos, altas dosis de radiación están siendo puestas en juego, y como consecuencia de variaciones relativas de posiciones del operador con respecto al tubo de Rayos X y al paciente, sumadas al uso de elementos de protección personal en distintas partes del cuerpo (delantal plomado, protector tiroideo, gafas plomados, guantes especiales), las dosis absorbidas por los distintos tejidos del mismo, variarán significativamente, dependiendo fundamentalmente si el tejido se encuentra protegido por algún atenuador o no, produciéndose una importante inhomogeneidad del campo radiante incidente.

Si es importante clarificar los conceptos y definir las magnitudes que intervienen en cualquier rama de la física, probablemente lo es mucho más tratándose de la física de radiaciones y especialmente en el campo de la dosimetría. Debido a que la energía asociada con las partículas individuales o cuantos es tan grande para las radiaciones ionizantes, los efectos estadísticos pueden ser muy notables a veces, por lo que se necesita definir con un cuidado especial las magnitudes asociadas con la radiación.

Para la evaluación de la exposición ocupacional debido a fuentes externas de radiación, han sido definidas magnitudes dosimétricas operacionales, con la intención de proveer mediciones físicas en un punto o región de interés, que sean correlacionables con efectos biológicos actuales o potenciales producidos por las radiaciones ionizantes.

Las magnitudes dosimétricas recomendadas para propósitos de radioprotección son la Dosis Efectiva E y la Dosis Equivalente en tejido H_T . La dosis Equivalente Personal $H_p(10)$, a 10 mm de profundidad, es utilizada para proveer una mejor estimación de la dosis efectiva.

Con el propósito de obtener una mejor evaluación de la dosis efectiva recibida por campos radiantes inhomogéneos, que reduzca tanto la sobreestimación como la subestimación de la misma, es aconsejable el uso adicional de un segundo dosímetro. Este último deberá utilizarse en alguna región del cuerpo carente de protección. La mejor estimación resultará de la aplicación de un algoritmo que tenga en cuenta ambas lecturas dosimétricas.

Teniendo en cuenta entonces, que se dispondrá de dos valores de $H_p(10)$, uno proveniente del dosímetro utilizado por detrás del delantal plomado, $H_p(10)_u$; y otro proveniente de un segundo dosímetro, $H_p(10)_o$; utilizado por fuera de cualquier tipo de protección, el objetivo del presente trabajo es el de exponer los motivos por los cuales un determinado algoritmo fue adoptado para el cálculo, así como también las dificultades que se encontraron al momento de correlacionar los resultados.

Por último, deseamos recordar que debe quedar perfectamente establecido, que el principal uso de la Dosis Efectiva, es el de evaluación potencial para la planificación y optimización en la protección radiológica y la demostración del cumplimiento de los límites de dosis establecidos por los requerimientos regulatorios, no recomendándose su utilización para investigaciones epidemiológicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El Servicio de Dosimetría Personal Externa de CER es de recambio mensual. Se utilizan films AGFA para Monitoreo Personal. Los portadosímetros son de Clase 3 de acuerdo a la Norma s/ ISO 1757 y cuenta con seis puntos de lectura densitométricos, existiendo las dos variantes: convencional y de unidad sellada, participando ambos tipos en los ejercicios de intercomparación organizados por CNEA y ARN.

El recambio mensual fue adoptado siguiendo las recomendaciones de bibliografía internacional, habiéndose considerado en aquella oportunidad, que de adoptar una frecuencia de recambio del material sensible de mayor período de tiempo, al ocurrir un incidente, el usuario no podría recordar las posibles causas que lo motivaron, impidiendo utilizar de esa forma el arma más efectiva en cuanto a capacitación en radioprotección se refiere, que es analizar lo ocurrido en forma conjunta con el implicado.

Si se tiene en cuenta, que el sector involucrado es por lejos el grupo ocupacional más crítico a la exposición a los Rayos X, la medida adoptada cobra relevancia en el caso de la implementación del uso de dos dosímetros, por las dosis puestas en juego y por la posibilidad siempre latente de que los mismos se utilicen en forma invertida, lo cual trae aparejada una incorrecta estimación de la dosis efectiva.

En nuestro país, la Ley N° 19.587: Higiene y Seguridad en el Trabajo, en su Decreto Reglamentario N° 351/79, establece en su Capítulo 10, Artículo 62: Radiaciones Ionizantes, que la Secretaría de Estado de Salud Pública de la Nación es la autoridad competente de aplicación de la Ley N° 19.587 en el uso o aplicación de equipos generadores de Rayos X y que es la Comisión Nacional de Energía Atómica (*) – hoy Autoridad Regulatoria Nuclear -, la autoridad competente de aplicación de la Ley N° 19.587 en el uso o aplicación de materiales radiactivos, materiales nucleares y aceleradores de partículas cuyo fin fundamental no sea específicamente la generación de Rayos X.

Los requerimientos actuales de estos organismos en cuanto a seguridad radiológica de las instalaciones donde se generen radiaciones ionizantes y registros de dosimetría personal externa, para trabajadores ocupacionalmente expuestos en las mismas, están detallados en la siguiente documentación:

- **Ministerio de Salud de la Nación, Provincias y Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Área de Radiofísica Sanitaria.**

Ley N° 17557/67, Decreto N° 6320/68 (reglamentario de la Ley N° 17557/67). Decreto N° 1648/70, Resolución N° 2680/68. Resolución N° 273/86. Disposición N° 30/91. Resolución N° 631/90. Disposición N° 259/91. Disposición N° 560/91. Resolución 61/92. Informe técnico radiosanitario N° 04-2013, del 26 de Abril de 2013, referente a: Indicaciones sobre ubicación y número de dosímetros personales a utilizarse en prácticas radioscópicas y de intervencionismo.

Entre sus artículos principales, se encuentran los siguientes requerimientos:

Que tanto la instalación como la utilización de equipos destinados a la generación de Rayos X, aseguren un adecuado nivel de idoneidad y de protección del personal afectado al servicio, mediante la observancia de normas básicas de seguridad de los mismos, sus instalaciones y lugares de funcionamiento, así como la determinación de responsables por su tenencia, aplicación y manejo.

Definición del responsable de la instalación y del responsable del uso de los equipos generadores de Rayos X.

Obligatoriedad del uso de un dosímetro personal provisto por la misma Autoridad de Salud, o por un Sistema de Dosimetría Personal aprobado por la citada autoridad.

La no utilización o la utilización indebida de los dosímetros durante el horario de trabajo determinarán la sanción por parte de la correspondiente autoridad de Salud Pública.

Los prestadores de Servicio de Dosimetría Personal deberán conservar los registros de las dosis absorbidas por los usuarios, así como también las placas de control por el término de 30 años.

Los prestadores del servicio participarán de los ejercicios de intercomparación que fije la Autoridad de Salud.

Obligatoriedad del uso de un segundo dosímetro para usuarios que realizan sus tareas en procedimientos dinámicos, debiendo ser utilizado fuera del delantal plomado, de modo de cuantificar las dosis de exposición a la que se exponen potencialmente los tejidos no cubiertos por el mismo.

- Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) – Marco Regulatorio:

Norma Básica de Seguridad Radiológica AR 10.1.1. Norma AR 7.9.1.- Operación Equipos Gammagrafía Industrial. Norma AR 7.9.2.- Fuentes de Radiación p/Aplicaciones Industriales. Norma AR 8.2.1.- Uso de Fuentes selladas en Braquiterapia. Norma AR 8.2.2.- Op. Aceleradores lineales de uso médico. Norma AR 8.2.3.- Op. Instalaciones de Telecobaltoterapia. Norma AR 8.2.4.- Uso de fuentes radiactivas no selladas en Instalaciones de Medicina Nuclear.

En dichas normativas, se encuentran los siguientes requerimientos en relación a las responsabilidades por la seguridad radiológica y en relación a los registros personales, entre los que se destacan:

La responsabilidad por la seguridad radiológica de las Instalaciones o prácticas especificadas recae en el titular de licencia.

Debe llevarse a cabo el control dosimétrico individual de los trabajadores en los casos que corresponda. El Responsable debe determinar la nómina de los trabajadores afectados al control dosimétrico individual.

Los registros individuales de cada trabajador expuesto se deben conservar durante 30 años posteriores al momento en que el trabajador haya cesado en las tareas que provocaron su

exposición a las radiaciones. Tales registros deben estar a disposición de la Autoridad Regulatoria.

La dosimetría individual solo podrá ser llevada a cabo por servicios de dosimetría que participen en ejercicios periódicos de intercomparación efectuados por entidades reconocidas por la Autoridad Regulatoria y que cumplan con los requisitos establecidos en la Resolución ARN N° 180/2013, exigiendo a partir del 1/1/2015, que los resultados de la última intercomparación organizada por ARN cumplan con los criterios de aceptación expuestos en la Norma IRAM-ISO 14146:2002 – Criterios y límites de desempeño para la evaluación periódica de laboratorios de servicio de dosimetría personal para radiación X y Gamma - .

En las Instalaciones de Telecobaltoterapia, Braquiterapia y Medicina Nuclear la normativa establece que las dosis individuales deben computarse e informarse al personal en forma mensual, y en el caso de las dos últimas, los trabajadores que manipulen fuentes radiactivas deberán utilizar dosímetros de extremidades para estimar dosis en manos.

3. RESULTADOS

En función de los nuevos requerimientos, se procedió a llevar a cabo un análisis con el fin de adoptar un algoritmo de cálculo para la estimación de Dosis Ocupacional expresada como dosis efectiva E, utilizando el sistema de doble dosímetro personal.

La bibliografía internacional cita que es común la sobreestimación de dosis ocupacionales a partir de lecturas obtenidas de dosímetros personales debido al hecho de que el cuerpo del operador no está expuesto de manera uniforme, motivada por particulares condiciones de irradiación ó debido a los distintos elementos de protección personal utilizados sobre porciones del cuerpo.

También cita que muchas relaciones numéricas entre datos monitoreados y dosis ocupacionales se han propuesto para estimaciones de dosis más precisas y que antes de implementar cualquiera de las relaciones propuestas, los requisitos regulatorios y recomendaciones deben ser cuidadosamente evaluadas.

Como se citó anteriormente, desde mediados del año 2013, la autoridad de salud pública, dispuso la obligatoriedad del uso del segundo dosímetro para todos los usuarios que realizan sus tareas en procedimientos dinámicos, especificando en forma inequívoca, la zona de uso de cada uno de ellos: el denominado de cuerpo entero – en nuestro caso Hp(10),u - , por debajo del delantal plomado y el segundo dosímetro, - en nuestro caso Hp(10),o -, por fuera del protector plomado, ubicado a la altura del cuello, procurando con ello, que el sistema de dosimetría personal pueda expresar con la mayor precisión posible la dosis de radiación a que se halle expuesto un trabajador en su concepto de “dosis efectiva”, concepto que contempla la contribución de dosis en todos los tejidos expuestos.

En función de que la autoridad de salud pública no indica el uso de un determinado tipo de algoritmo para estimar las dosis ocupacionales, se realizó un análisis de algunas de las metodologías de cálculo más consensuadas por la bibliografía internacional con el objetivo de poder informar las dosis efectivas anuales registradas por nuestros usuarios en el año 2014.

Así se tuvieron en cuenta las siguientes metodologías de cálculo:

Metodología de Gill:

$$E = 0,6 \text{ Hp}(10),u + 0,4 \text{ Hp}(10),o \quad (1)$$

Metodología de Webster:

$$E = 1,5 \text{ Hp}(10),u + 0,04 \text{ Hp}(10),o \quad (2)$$

Metodología de Niklason: propone uno de los métodos más modernos pero además tiene en cuenta el hecho de que el operador utilice protector de tiroides o no; así:

Metodología de Niklason sin protector de tiroides:

$$E = 0,06 [(\text{Hp}(10),o - \text{Hp}(10),u)] + \text{Hp}(10),u \quad (3)$$

Metodología de Niklason con protector de tiroides:

$$E = 0,02 [(\text{Hp}(10),o - \text{Hp}(10),u)] + \text{Hp}(10),u \quad (4)$$

Para adoptar la metodología de cálculo a utilizar durante el año 2014, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

No hay consenso internacional al respecto, pero se indica que en aquellos países donde no se utiliza el sistema de doble dosímetro, se estima la dosis efectiva en función del único valor obtenido, haciendo corresponder el valor de E (Dosis Efectiva), al valor de Dosis Equivalente Personal Hp(10), cuando el dosímetro se utiliza por detrás del delantal plomado y a una fracción del Hp(10), cuando se utiliza por fuera del delantal plomado, corriendo en este caso, riesgo de sobreestimación de dosis efectiva.

Nuestra experiencia nos indica que la dosis obtenida al utilizar el dosímetro por detrás del delantal plomado es menor como mínimo en un orden de magnitud a la obtenida en caso de utilizarlo por delante.

También por experiencia, no desconocemos la necesidad de respetar los valores relativos históricos registrados por nuestros usuarios desde que ingresaron al servicio, motivo por el cual las modificaciones a realizar no deberían variar significativamente los mismos.

La ecuación de Niklason contempla la posibilidad de tener en cuenta el protector de tiroides, que hoy día es utilizado ampliamente en los servicios que monitoreamos.

Se optó entonces por adoptar la **ecuación de Niklason con protector de tiroides** y se intensificó paulatinamente, el control del correcto uso del segundo dosímetro, punto muy importante a tener en cuenta, pues de no cumplirse y utilizarse en forma invertida puede acarrear serios problemas al momento de informar las dosis correspondientes.

A continuación se presentan los resultados de un análisis de los valores de Hp(10) de cuerpo entero, anuales, estimados a partir de lecturas provenientes de un único dosímetro,

confrontado contra valores estimados de E, calculados a partir de la aplicación de la ecuación de Niklason con protector de tiroides utilizando el sistema de doble dosímetro.

Se destaca que de los datos originales, no se ingresaron aquellos valores iguales o menores al error del método (0,2 mSv) para aquellos usuarios que utilizan sólo un dosímetro, motivado esto en que lamentablemente no estamos en condiciones de asegurar que un importante número de usuarios, del orden del 30%, utilice en forma constante su monitor personal.

Detalles de los usuarios actuales de nuestro Servicio de Dosimetría Personal:

En la actualidad el número de dosímetros activos en nuestra empresa es de **2989**.

De ellos, **2396** son auditados por autoridades de salud pública (SP) nacionales y provinciales, y **593** por la ARN.

De los **593** dosímetros auditados por ARN, la cantidad de usuarios es de **469** ya que **124** usuarios, poseen doble dosímetro, uno de Cuerpo Entero (CE) y el otro de extremidades (monitor de manos), por desempeñarse en prácticas de Medicina Nuclear y Braquiterapia. La frecuencia de recambio es mensual.

De los **2396** dosímetros auditados por SP, la cantidad de usuarios es de **2308**, ya que **88** usuarios poseen doble dosímetro. La frecuencia de recambio es mensual.

Finalmente, el grupo de estudio para el presente trabajo, son los **217** usuarios que se desempeñan en áreas de Hemodinamia e Intervencionismo, de los cuales **85** poseen doble dosímetro, siendo utilizados los mismos, uno por debajo del delantal plomado Hp(10),u y el segundo dosímetro por fuera del protector tiroideo Hp(10),o. En ambos casos la magnitud utilizada es Hp(10), Dosis Equivalente Personal a 10 mm de profundidad.

Condiciones de inclusión: Usuarios de Hemodinamia e Intervencionismo en nuestro Servicio que utilizan doble sistema de dosímetro o tienen una dosis anual superior a 0,2 mSv, con un único monitor: **130**

Usuarios de Hemodinamia e Intervencionismo en nuestro servicio, que tienen sistema de doble dosímetro: **85**

Servicios de Hemodinamia e Intervencionismo a quienes se presta el Servicio de Dosimetría Personal: **33**

Servicios de Hemodinamia e Intervencionismo a quienes se presta el Servicio de Dosimetría Personal, que cuentan con al menos dos usuarios de su staff profesional, que cuentan con sistema de doble dosímetro: **15** (45%)

Profesionales médicos de Servicios de Hemodinamia e Intervencionismo a quienes se presta el Servicio de Dosimetría Personal: **97**

Profesionales médicos de Servicios de Hemodinamia e Intervencionismo a quienes se presta el Servicio de Dosimetría Personal y que utilizan doble dosímetro: **42**

Profesionales médicos de Servicios de Hemodinamia e Intervencionismo a quienes se presta el Servicio de Dosimetría Personal y que se desempeñan en más de una Institución: **9**, de ellos 6 se desempeñan en dos, 2 en tres y 1 en cuatro.

Tabla 1. Resultados de la Evaluación Estadística

Mediciones Estadísticas	E = Hp(10) de cuerpo entero	E por Niklason con protección de Tiroides.
Media Geométrica	1,1 mSv / año	1,2 mSv / año
Dosis Mínima	0,2 mSv / año	0,2 mSv / año
Dosis Máxima	22,3 mSv / año	23,9 mSv / año
Mediana	0,95 mSv / año	0,99 mSv / año
Primer Cuartil	0,5 mSv / año	0,5 mSv / año
Segundo Cuartil	0,9 mSv / año	1,0 mSv / año
Tercer Cuartil	2,1 mSv / año	2,2 mSv / año
Rango Inter cuartilico	1,62 mSv / año	1,64 mSv / año
Dosis promedio acumulada anual	0,95 +/- 1,62 mSv / año	0,99 +/- 1,64 mSv / año

4. CONCLUSIONES

De la comparación se destacan las siguientes conclusiones:

El valor de la media geométrica, medida resumen de tendencia central más adecuada que la media para este conjunto de datos caracterizado por la elevada dispersión, varía menos del 10%, siendo **1,1 mSv/año**, para el primer caso -Hp(10)- y **1,2 mSv/año**, para el segundo, E.

El valor del tercer cuartil, sufre una variación menor al 10%.

El mínimo valor no sufre variación.

El máximo valor, sufre una variación menor al 10%.

Consecuentemente, **se corrobora el cumplimiento de los criterios de búsqueda.**

En las Figuras 1 y 2 se presentan el Histograma de los conjuntos de datos y el Diagrama de Cajas.

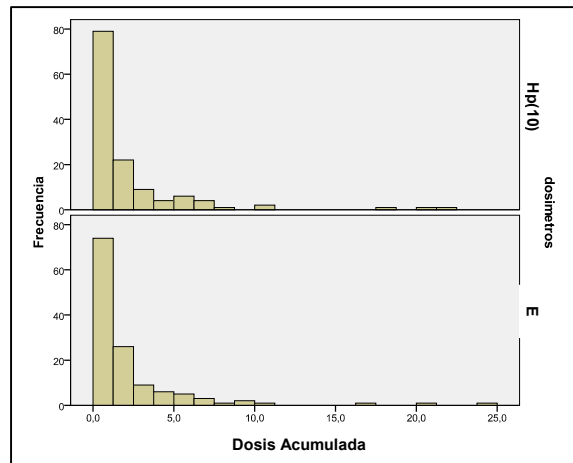


Figura 1. Histograma de los conjuntos de datos

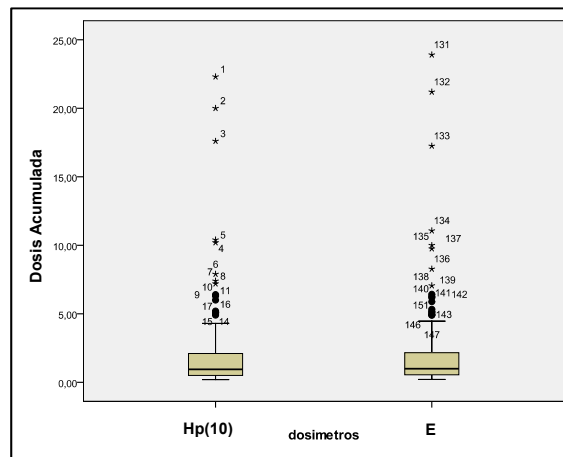


Figura 2. Diagrama de Cajas

Recomendaciones:

Si bien las variaciones de dosis Institucionales no fueron importantes, si se puede apreciar que en el caso de aquellos médicos que se desempeñan en más de una Institución, sus valores de dosis acumuladas individuales pueden sufrir variaciones de importancia, cuando se compara la dosis efectiva total frente al mayor valor de Hp(10) de cuerpo entero de las Instituciones donde se desempeña.

La otra recomendación que cobra enorme importancia, a la hora de implementar la evaluación de la E por el método de los dos dosímetros, es el de verificar mensualmente la no presencia de valores de dosis invertidos correspondientes al incorrecto uso de ambos dosímetros. En nuestro caso el nivel de disparo de investigación, de posibilidad de inversión de uso, es cuando la dosis mensual del Hp(10),u supera en 0,3 mSv la del Hp(10),o., nivel que origina una consulta personalizada para registrar el valor correcto.

Finalmente, teniendo en cuenta que se está en presencia del grupo crítico de los profesionales ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes, resulta imperioso el recambio mensual del material sensible, a la hora de implementar el segundo dosímetro, así como también la verificación rutinaria de la no inversión de la zona de uso de ambos dosímetros.

5. REFERENCIAS

1. IAEA Safety Standards Series. *“Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards”*, (2014).
2. Radiation Protection N° 160, European Commission, *“Technical recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation”*, (2009).
3. H. Järvinen et al, *“Overview of double dosimetry procedures for the determination of the Effective Dose to interventional radiology operators”*.
4. P. Clerinx, N. Buls, J. de Mey, *“Double Dosimetry algorithm for workers in interventional radiology”*.
5. René Michel and Sandy Perle, *“Application of Occupational Dose Estimates in Diagnostic Radiology with Multiple Dosimeters”*, RSO Magazine, **Vol 6, No. 1**, (2001)
6. IAEA Safety Standards Series. *“Assessment of Occupational Exposure due to External Source of Radiation”*, (1999).
7. NCRP Report No. 122, National Council on Radiation Protection and Measurements, *“Use of Personal Monitors to Estimate Effective Dose Equivalent to Workers for External Exposure to Low-LET Radiation”*, Bethesda, Maryland, (1995).
8. Radiation Protection N° 73, European Commission, *“Technical recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation”*, (1994).
9. ICRU Report 51. *“Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry”*, (1993).