



Facultad de Medicina



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

HOSPITAL JUÁREZ DE MÉXICO

OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS
DE INTERVENCIONISMO EN PACIENTES ADULTOS EN EL HOSPITAL JUÁREZ DE
MÉXICO.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICO ESPECIALISTA

EN IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA

PRESENTA

DR. JORGE E. AGUILAR ALBAVERA

DIRECTORES DE TESIS

DR. GUSTAVO ADOLFO CASIÁN CASTELLANOS

DR. ENRIQUE GAONA

DR. AGUSTIN RODRIGUEZ BLAS

MÉXICO DF. ENERO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DR. CARLOS VIVEROS CONTRERAS
TITULAR DE UNIDAD DE ENSEÑANZA

DR. GUSTAVO ADOLFO CASIÁN CASTELLANOS
DIRECTOR DE TESIS
PROFESOR TITULAR Y JEFE DEL SERVICIO DE RADIOLOGIA E IMAGEN

DR. ENRIQUE GAONA
DIRECTOR DE TESIS

DR. AGUSTIN RODRIGUEZ BLAS
DIRECTOR DE TESIS Y MEDICO ADSCRITO AL AREA DE INTERVENCIONISMO.

DR. JORGE E. AGUILAR ALBAVERA

TESISTA

Nº DE REGISTRO DE PROTOCOLO

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. MARCO TEORICO.....	6
II.1. Radiolesiones e inducción de cáncer.....	8
II.2 La protección radiológica.	12
II.3. Concepto de dosis efectiva.....	14
II.4. Equipo de radiografía con arco en C.....	17
II.5. Justificación de las prácticas radiológicas en intervencionismo.....	23
II.6. Cuantificación y control de las exposiciones	25
II.7. Niveles de referencia en diagnostico con fluoroscopio.....	26
II.8. Protección ocupacional Control de las exposiciones y límites de dosis	29
II.9. Optimización de la protección en la sala de intervencionismo.....	31
III. JUSTIFICACIÓN.....	35
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	35
V. OBJETIVOS.....	36
VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
VII. HIPÓTESIS.....	37
VIII. MATERIAL Y MÉTODOS.....	37
IX. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	38
X. RECURSOS.....	38
XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
XII. PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN CON DOSIS REDUCIDAS.....	49
XIII. CONCLUSIONES.....	42
XIV. REFERENCIAS.....	44

I. INTRODUCCIÓN

En 1980 Stanley Baum, en su editorial para *The New England Journal of Medicine*, señaló que el radiólogo cazador de sombras estaba llegando a su fin, vislumbrando no que fuera a desaparecer sino que, además del aspecto diagnóstico, se iniciaba el terapéutico. Así lo enfatiza Christos Athanasoulis, en el mismo número y en el siguiente con artículos acerca de las aplicaciones de la terapéutica angiográfica. En 1984 Monnier, en su manual de radiodiagnóstico, escribió de una manera muy clara que: "La radiología intervencionista o terapéutica puede definirse como la utilización de todas estas técnicas permitiendo una identificación muy precisa de los órganos para puncionarlos (estudio radiológico o drenaje de un quiste o de un absceso), para dilatar o desobstruir una arteria (angioplastia endoluminal), drenar vías biliares o urinarias, obturar pedículos arteriales de un tumor, de una malformación vascular o en el origen de un sangrado (embolización arterial terapéutica)." Sus afirmaciones siguen vigentes 27 años después.

Hace poco más de 50 años la única opción posible para realizar una angiografía era introducir una aguja rígida de gran calibre a través de la espalda del paciente, puncionar directamente la arteria aorta e inyectar contraste en ella. En 1953, el radiólogo sueco I. Seldinger, ideó un sistema mucho menos traumático, consistente en introducir un catéter a través de la arteria femoral y controlar sus movimientos en una pantalla de Rx. Unos 10 años más tarde otro radiólogo, Judkins, realizó la primera dilatación vascular percutánea y se inició una nueva era en la historia de la Radiología: los radiólogos podíamos no sólo diagnosticar, sino también tratar enfermedades; así nació la rama de la Radiología llamada "Vascular e Intervencionista" (RVI).

Han pasado poco más de 30 años desde las primeras angioplastias con balón realizadas por Grüntzig en 1974, pero en este corto período de tiempo los progresos en RVI han sido enormes. En la actualidad los radiólogos podemos acceder mediante una aguja, una guía y un catéter a los lugares más recónditos del mapa vascular del organismo, e incluso a los territorios no vasculares, como son las vías biliares o urinarias, el tubo digestivo, el aparato reproductor femenino o el aparato lagrimal. Todo ello ha contribuido a que la RVI constituya actualmente uno de los principales avances de la Medicina de los últimos tiempos, al permitir tratar con métodos mínimamente invasivos enfermedades cuya única alternativa terapéutica hasta hace pocos años era la cirugía abierta. La realidad es que actualmente estamos tratando pacientes procedentes de la mayoría de especialidades médicas y quirúrgicas.

Como es lógico, el progresivo incremento en la complejidad y diversidad de los procedimientos intervencionistas ha exigido una "súper-especialización" de los radiólogos dedicados a este campo y que tengamos una dedicación prácticamente exclusiva a él en la práctica diaria. Asimismo, el radiólogo vascular-intervencionista se ha visto en la necesidad, al pasar de un campo predominantemente diagnóstico a uno eminentemente terapéutico, de adquirir hábitos de trabajo diferentes en cuanto a la relación con el paciente, debiendo llevar a cabo una actividad clínica "extra-radiológica" de control pre y post-procedimiento similar a la de un cirujano.

El desarrollo de estas unidades de terapéutica por RVI en el seno de Servicios de Diagnóstico por la imagen ha tenido, como es lógico en todo proceso de cambio, sus fases de conflicto, llegando incluso a plantearse en algunos foros si este tipo de actividad debía seguir ligado a la Radiología o independizarse de ella y pasar a depender de áreas quirúrgicas. Algunas actitudes, tal vez excesivamente beligerantes y extremistas por una y otra parte, propiciaron en un pasado

no muy lejano situaciones de enfrentamiento entre profesionales que en definitiva practicaban una misma especialidad médica, aunque se dedicaban a dos ámbitos diferentes de ella: el diagnóstico y el terapéutico. Triste situación ésta, que por desgracia nos consta que sigue manteniéndose en algunos Servicios, pero que creo firmemente que está llamada a desaparecer. Los responsables de los Servicios de Radiodiagnóstico han tenido siempre la tendencia a dar prioridad a las áreas diagnósticas en los planes de necesidades, y es hasta cierto punto comprensible que en las fases iniciales de la RVI haya sido así, no obstante hoy por hoy esto se hace del todo injustificable. La importancia de la RVI en la práctica hospitalaria diaria es lo suficientemente relevante como para ser mucho más tenida en cuenta dentro de los propios Servicios de Radiodiagnóstico. No cabe duda de que estas modificaciones pueden contribuir en gran manera a un mayor grado de trabajo en equipo entre los profesionales del diagnóstico y de la terapéutica por imagen. Tal vez debería considerarse incluso una ampliación en la denominación de los Servicios de Radiodiagnóstico que resultara asimismo más integradora, y que incluyera el término "terapéutica" asociado al de "diagnóstico". Nos quedará luego la tarea de buscar fórmulas para establecer dentro de cada Servicio, y según las peculiaridades del mismo, el grado de implicación del RVI en la diversas áreas órgano-sistema, pero no nos quepa la menor duda de que todos los esfuerzos encaminados a conseguir una mayor cohesión y fuerza de la especialidad en todas y cada una de sus múltiples vertientes, se traducirán en una mayor consecución de nuestros intereses profesionales y una mejora de nuestro prestigio ante el resto de especialidades. La integración nos hará más fuertes como colectivo profesional, mientras que los enfrentamientos internos no harán sino debilitarnos frente a posibles actitudes beligerantes e intentos de intrusismo de otras especialidades que, como todos

conocemos, se están sufriendo en diversos campos de nuestra especialidad, entre los que figura la RVI.

II. MARCO TEÓRICO

La fluoroscopia es el método de obtención de imágenes de rayos X en tiempo real, lo que es especialmente útil para guiar una gran variedad de exámenes diagnósticos e intervenciones. La fluoroscopia muestra el movimiento gracias a una serie continua de imágenes obtenidas a una frecuencia máxima de 25 a 30 cuadros completos por segundo. Esto es similar a la manera de transmitir imágenes de televisión o de vídeo convencionales.

Si bien la exposición de los rayos X necesaria para producir una imagen fluoroscópica es baja (en comparación con la de una radiografía), los niveles de exposición de los pacientes pueden ser altos por la duración de las series de imágenes que habitualmente se toman en las exploraciones de fluoroscopia. Por lo tanto, el tiempo total de fluoroscopia es uno de los factores más importantes de la exposición del paciente en esta técnica.

Dado que, generalmente, el haz de rayos X se desplaza por diferentes zonas del cuerpo durante un estudio, hay dos aspectos muy diferentes a considerar. Uno de éstos es la zona más expuesta por el haz, en la cual estará la piel y los órganos correspondientes que reciben la máxima dosis absorbida. El otro es la energía total de la radiación impartida al cuerpo del paciente, que está relacionada con el producto de kerma por área (KAP o PKA), que es una magnitud fácil de medir.

La dosis absorbida en una parte específica de la piel y en otros tejidos es de interés en fluoroscopia por dos razones: una es la necesidad de reducir al mínimo la dosis a los órganos

sensibles, tales como las gónadas y la mama, colocando cuidadosamente el haz de rayos X y utilizando blindajes cuando sea apropiado. La segunda es la posibilidad de que el haz incida sobre una determinada zona de la piel durante un tiempo muy prolongado, lo cual puede causar radiolesiones en casos de exposición muy elevada.

Por otro lado, la energía total de la radiación impartida al cuerpo del paciente durante un examen está estrechamente relacionada con la dosis efectiva y con el riesgo de cáncer radioinducido por la radiación.

En fluoroscopia, como en todo tipo de imágenes de rayos X, la exposición mínima necesaria para formar una imagen depende de la información específica que se necesita ver en dicha imagen. Una característica importante de un sistema de fluoroscopia es la sensibilidad, es decir, la cantidad de exposición que se necesita para producir imágenes. El uso de tubos intensificadores y, más modernamente, de receptores digitales de panel plano, permite optimizar el equilibrio entre la exposición de los pacientes y la calidad de imagen a fin de no exponerlos innecesariamente a la radiación. Se desaconseja utilizar sistemas de fluoroscopia con pantalla fluorescente sin intensificador debido a la excesiva exposición del paciente.

La Radiología Intervencionista, que se basa en la realización de procedimientos mínimamente invasivos guiados por imágenes, está cobrando cada vez más importancia en el diagnóstico de enfermedades y se está convirtiendo en una excelente alternativa al tratamiento quirúrgico de muchas condiciones médicas.

Acá encontrará una lista de los principales procedimientos que se pueden realizar con Radiología Intervencionista:

- Angiografía
- Drenaje y colocación de stent biliar
- Acceso venoso central
- Quimioembolización
- Embolización
- Cateterización de la trompa de Falopio
- Tubo de gastrostomía
- Mantenimiento del acceso de hemodiálisis
- Telangiectasia hemorrágica hereditaria (THH)
- Biopsia con aguja
- Ablación por radiofrecuencia
- Stents
- Shunt transyugular intrahepático portosistémico (TIPS)
- Embolización de la arteria uterina
- Embolización de mioma uterino
- Vertebroplastia
- Y otros procedimientos

Las técnicas de Radiología Intervencionista (guiadas fluoroscópicamente) están siendo usadas por un creciente número de clínicos no adecuadamente entrenados en seguridad radiológica ni en radiobiología

Los pacientes están sufriendo daños en la piel inducidos por la radiación, debidos a dosis de radiación innecesariamente altas

Los pacientes más jóvenes podrían enfrentarse a un mayor riesgo de cáncer en el futuro.

Aunque la fluoroscopia convencional es la modalidad de imagen más utilizada para el control de la punción, presenta dos inconvenientes principales: a) la irradiación del paciente durante el seguimiento de la trayectoria de la aguja y la verificación de la correcta distribución del material de contraste, y b) la exposición del radiólogo que realiza el procedimiento, ya que se encuentra dentro de la sala. En la bibliografía hay pocos trabajos publicados acerca de la irradiación que reciben los pacientes sometidos a punción hepática con procedimientos radioguiados. La optimización de los estudios radiológicos es un fin que debemos perseguir en todo momento y que se encuentra dentro de las recomendaciones de la Comisión Internacional sobre Protección Radiológica (ICRP)15.

Los pacientes y médicos de radiología intervencionista se encuentran en alto riesgo de lesión ocular inducida por la radiación y se debe considerar la protección ocular para evitar cataratas [1]. En 2004, Haskal y Worgul [2] encontraron cataratas en cinco de 59 (8%) en médicos radiólogos intervencionistas examinados, y un adicional de 22 sujetos (37%) tuvieron pequeña opacidades paracentral de tipo puntiforme, una señal temprana de cataratas.

Por otra parte, en 2009, Ainsbury et al. [3] señaló que algunos estudios indican que el umbral para el desarrollo de cataratas inducidas por la radiación es menor que lo estimado previamente. Por consiguiente, la protección radiológica y evaluación de dosis son importante para el personal de radiología intervencionista.

Los estudios de la dosis de radiación ocupacional en radiología intervencionista se han centrado principalmente en el médico. Existe limitación de datos sobre la exposición de otro personal

médico (como las enfermeras y los técnicos de radiología). Además, aunque la radiología intervencionista actualmente los médicos usan de dos monitores de radiaciones , uno debajo del delantal de plomo a nivel de la cintura y uno fuera de la protección de plomo en el cuello, la mayoría de las enfermeras de radiología intervencionistas utilizan un solo dosímetro bajo el delantal.

II.1. Radiolesiones e inducción de cáncer

Los Rayos X pueden impactar directamente sobre el núcleo celular induciendo mutaciones sobre el ADN a través de un mecanismo de ionización y excitación del mismo por efecto directo e indirecto sobre el núcleo a través de la liberación de radicales libres. A partir de aquí existen tres posibilidades: - que esa mutación se repare sin secuelas - que la célula se muera (efecto determinista que puede dar lugar a radiolesión) - o que la célula sobreviva mutada por una reparación defectuosa (efecto estocástico, potencialmente cancerígeno).

Por lo tanto, los Rayos X producen dos tipos de efectos deletéreos: - deterministas o radiolesiones (tales como eritema, depilación, úlcera de piel, cataratas o esterilidad) - estocásticos o probabilistas (principalmente cancerígenos). Los efectos deterministas tienen un umbral de dosis de radiación, por debajo del cual no tienen lugar, por encima del cual su severidad aumenta con la dosis de radiación, por ejemplo las radiolesiones de piel o del cristalino. Para cada tipo de radiolesión existe un umbral de dosis diferente como se ve en la lista de efectos incluida más abajo (Tabla 1). Las células más radiosensibles son aquellas que se encuentran en el sustrato basal de la epidermis. Trabajos de campo realizados en Congresos y Jornadas Latinoamericanas han evidenciado que tanto los cardiólogos intervencionistas como el personal de sala ocupacionalmente expuesto poseen opacidades subcapsulares posteriores (lesiones radioinducidas características del cristalino).⁴ Los efectos estocásticos o probabilistas son aquellos cuya probabilidad aumenta con la dosis pero no su severidad, por ejemplo la inducción de cáncer, efectos genéticos o algunos de los efectos sobre el

embrión/feto descendientes de padre o madre que han trabajado o recibido Rayos X. A efectos prácticos de protección radiológica, se asume que no existe un umbral para los efectos estocásticos. Las células son más radiosensibles cuanto mayor es la tasa mitótica o cuánto más indiferenciadas son.

TABLA 1. Efectos deterministas. Dosis umbrales según órgano y/o tejido afectado

	Radiolesiones	Dosis Acumuladas (Gy)	
		Hombres	Mujeres
	Eritema 1 a 24h luego de una irradiación	3-5	
	Alopecia Reversible	5	
	Irreversible	20	
Piel	Pigmentación (reversible) Aparece 8 días post-irradiación		
	Descamación seca o húmeda	=20	
	Efectos tardíos Telangectasia, fibrosis dérmica		
	Cuagulación de las proteínas	>2	
	Efectos:	2-10	
Cristalino	Opacidades detectables	exposiciones anuales > 0.10 Sv/año	
	Cataratas	exposiciones anuales > 0.15 Sv/año	
	Esterilidad Permanente	3.50-6.00	2.50-6.00
Gónadas	Esterilidad Temporal	0.15	0.60

II.3 La Protección Radiológica:

Para alcanzar el objetivo primordial de que la dosis y en consecuencia el detrimento, sea el mínimo razonablemente alcanzable, se estudia y aplica la protección radiológica, la cual se enfoca en:

1. La asignación de responsabilidades.
2. La instalación de blindajes; ubicación y distribución de las salas; la colocación de los equipos y las trayectorias a recorrer.
3. Los equipos: diseño, fabricación, verificación de parámetros al momento de la instalación y controles periódicos, mantenimiento periódico, calibraciones y control de calidad.
4. La operación: utilización adecuada de los equipos (manuales de uso, personal capacitado para la práctica, empleo de accesorios de protección tanto para el paciente como para el personal ocupacionalmente expuesto), la dosimetría personal y clínica, y manual de procedimientos para trabajo seguro.

Niveles de referencia diagnósticos (NRD)(5)

La noción de NRD fue introducida por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)(6) e incluida en la Directiva EURATOM 97/43. En el año 2001 el Comité 3 del ICRP se abocó a la preparación de un documento específico sobre este tema. Se trata de un concepto

de aplicación específica en el ámbito de las exposiciones médicas referido a niveles de dosis en radiodiagnóstico determinados en base a mediciones y/o cálculos (o niveles de actividad administrada en medicina nuclear obtenidos mediante encuestas) correspondientes a exámenes "tipo" realizados en pacientes o fantomas de características "estándar", en un dado país o región.

Los NRD son indicadores de la calidad de equipos y procedimientos, no se aplican a casos individuales, no constituyen límites ni son "dosis óptimas". Su valor numérico no surge de un valor promedio, sino que se establece mediante un método estadístico tomando en consideración el percentil 75 de la distribución de dosis medidas (o de las actividades administradas). Esto significa que en un 25% de los casos las dosis (o actividades) se sitúan por encima del NRD(7). Identificando y eliminando las causas, la curva Gaussiana se desplazará hacia la izquierda con la consecuente disminución del valor de NRD. Aquí reside el rasgo "dinámico" del concepto de NRD: partir del conocimiento de una realidad local para intentar modificarla tendiendo a la reducción progresiva de las dosis hasta alcanzar un valor óptimo. No debe olvidarse que la noción de NRD es indisociable de la de "calidad informativa de la imagen". Es asimismo un concepto evolutivo que deberá actualizarse acorde al desarrollo de la tecnología disponible en cada país y/o región.

II.4 Concepto de dosis efectiva

En 1975 la Comisión Internacional sobre Protección a la Radiación (ICRP) propuso una cantidad teórica para evaluar la probabilidad del detrimento de la salud debido a dosis bajas de radiación

ionizante, conocida inicialmente como dosis equivalente, y posteriormente (1990) como dosis efectiva(8). Esta cantidad considera el riesgo-salud de un paciente estándar, quien no está expuesto uniformemente a la radiación ionizante y cae en una situación en la que debería estar expuesto uniformemente a un campo de radiación. Esta metodología es la usada para vigilar al personal ocupacionalmente expuesto (POE) a las radiaciones ionizantes en nuestro país. La estimación de la dosis efectiva se realiza sobre los datos basados en el detrimento de la salud, establecida para una población promedio sobre todas las edades y ambos géneros(9).

¿Cómo determinar la dosis efectiva?

Una manera de estimar la dosis efectiva en radiología, es tener un conocimiento previo de las cantidades operacionales medibles, definidas a lo largo del tiempo en cada área radiológica. Estas cantidades son muy útiles inicialmente para optimizar los procedimientos en cada modalidad. Además, estas cantidades son representativas de la dosis entregada al paciente y pueden usarse (en principio) para estimar la dosis efectiva mediante factores de conversión específicos a través de la ecuación(8):

$$E_n = DLP \times E_{DLP} \quad (iii)$$

donde DLP, el producto dosis-longitud es la cantidad operacional y EDLP, el factor de conversión.

El producto dosis-longitud, DLP (mGy.cm), representa la dosis de radiación integrada para un TC. A partir del DLP, puede calcularse la dosis efectiva para regiones típicas del cuerpo aplicando

un factor de conversión (mSv.cm/mGy) que depende de factores ponderados de riesgo para el órgano.

En la tabla V se muestran los niveles de referencia de dosis efectiva en exámenes radiológicos, de angiografía y TC, propuestos por el Colegio Americano de Radiología (ACR)(10).

Tabla V. Niveles de referencia diagnósticos (E), propuestos por el ACR.	
Examen	E (mSv)
Radiografía torácica posteroanterior	0,05
TC craneal	2 - 4
TC torácica	5 - 7
TC abdomen y pelvis	8 - 11
Angiografía coronaria	3 - 6
Radiación natural de fondo anual	2,5 - 3,6

El descriptor BERT

El descriptor período equivalente de radiación natural de fondo, BERT (Background Equivalent Radiation Time) por sus siglas en inglés, fue propuesto por primera vez y promovido por el Dr. John Cameron de la Universidad de Wisconsin-Madison en Estados Unidos. Debido a la naturaleza compleja de las múltiples mediciones científicas de los niveles de radiación, este descriptor fue considerado para el público en general incorporando términos que pueden ser entendidos fácilmente, sin complicadas unidades científicas, terminología y/o conceptos .

Este descriptor se compara con la radiación natural de fondo a la que cada día está expuesta toda la población, de las sustancias radiactivas naturales del aire, del suelo y del entorno o medio que lo rodea. La radiación natural de fondo incluye una componente importante que está relacionada con el gas radón. Aunque la cantidad de radiación varía con la altitud y la localización, la radiación natural de fondo anual es aproximadamente 3 mSv. Sin embargo, hay

considerables variaciones de radiación natural de fondo entre países, así como dentro de cada país. Por ejemplo, en el Reino Unido la media de la radiación natural de fondo es de 2,2 mSv por año. Por lo tanto, la cantidad de radiación recibida de un procedimiento radiológico puede expresarse en términos de un cierto número de días, meses o años de radiación natural de fondo. Este es el fin que persigue el descriptor BERT.

II.5 EQUIPO DE RADIOGRAFIA CON ARCO EN C

Hablando específicamente de especialidades médicas como ortopedia, cirugía y cuidado crítico (UCC) y de emergencia (UE), donde las imágenes son esenciales, tanto en el diagnóstico como en la terapéutica, la necesidad de unidades móviles para su obtención se hace indispensable.

Estas unidades móviles, que permiten la toma de imágenes radiológicas y fluoroscópicas (F), se conocen como "arcos en C", debido a su forma característica. Se utilizan para obtener IR/F portátiles sin desplazar al paciente al departamento de radiología, aun si este se encuentra en su cama de hospitalización o en la mesa de cirugía durante un procedimiento.

El equipo suele permitir la obtención de imágenes seriadas en tiempo real, facilitar el rápido diagnóstico y, en caso de pacientes con patologías quirúrgicas, disminuir el tiempo que permanecen bajo anestesia general.

Los arcos en C móviles se utilizan en múltiples procedimientos quirúrgicos mínimamente invasivos y de intervención, realizados en cardiología, urología, neurología y ortopedia, como reparación de aneurismas cerebrales, implantación de marcapasos cardíaco, reemplazo de cadera, reducción de fracturas y localización de cuerpos extraños, entre muchos otros procedimientos, tanto diagnósticos como terapéuticos, lo que nos da una idea de la gran

utilidad y la importancia de su diseño (tamaño adecuado, facilidad de uso, seguridad para paciente y personal operador).

El equipo consiste en dos unidades móviles. Una que soporta el arco en C y la consola de control, y un carro que sostiene los monitores e instrumentos de procesamiento de imágenes y grabación.

Los arcos en C sin carro para el monitor son ideales para la toma de IR/F rápidas en UCI/unidades de atención coronaria, UE, urología, endoscopia, sala de operaciones, manejo del dolor y patologías del habla, donde hay menos espacio, mientras que las unidades con un carro monitor se utilizan de preferencia en procedimientos quirúrgicos ortopédico, laparoscópico o vascular.

El arco en C es un tubo curvo y liviano, con un sistema de toma de rayos X en un extremo y un intensificador de imágenes en el otro. Se diseña de manera que pueda realizar variaciones isocéntricas y movimientos lineales y de rotación, que permitan su adecuado posicionamiento ante el paciente, mientras permanece quieto.

Sistemas de control de frenado de una sola palanca en la rueda trasera permiten un posicionamiento preciso en cualquier parte del área del quirófano.

Los movimientos del arco en C deben estar equipados con contrapeso en todas las posiciones, lo cual lo hace estable incluso cuando se liberan los seguros, y permite cambios de proyección rápidos y sin esfuerzo durante los exámenes intraoperativos.

La rotación orbital de 45° hacia adelante y la extensión vertical de 20 cm permiten al arco adaptarse a los ángulos extremos de posicionamiento requeridos en muchos procedimientos. Estos movimientos, más fáciles y con un esfuerzo mínimo, se logran por medio de controles específicamente diseñados, incluidos en el arco en C.

El sistema de rayos X funciona de la misma manera que una máquina de rayos X convencional, en donde un filamento espiral de tungsteno (cátodo) y un ánodo (sitio diana) crean una corriente giratoria de electrones de alto voltaje, que finalmente llega al punto de foco y produce los rayos X. Utiliza también filtros de aluminio colocados en la vía del haz de luz, para absorber los rayos menos penetrantes (suaves). Los rayos X más penetrantes (fuertes) pasan a través de los filtros y toman forma por medio de colimadores. Se han integrado generadores de alta frecuencia, para disminuir de manera significativa la dosis de radiación administrada al paciente. Esta es una herramienta esencial y constituye una de las mayores ventajas en la implementación de las unidades móviles en radiología.

Otros elementos que permiten optimizar la calidad de la imagen de cada zona del cuerpo, utilizando la mínima dosis posible de radiación, incluyen: la capacidad de rotación de imagen digital sin radiación; programas para cálculo y administración de dosis específicas, según la localización anatómica deseada --para hueso/extremidad, pelvis/columna y corazón/tórax, y programas de imagen metal y diámetro grande del paciente--; fluoroscopia pulsada, con la posibilidad de mantener la última imagen captada en el monitor sin necesidad de tener activa la emisión de rayos; cálculo de dosis acumulada del paciente y la posibilidad de toma de buenas IR/F con la mitad de la dosis necesaria.

La consola de control consiste en una pantalla (*touch-screen*) de fácil manejo, permite al operador ajustar y modificar los parámetros que determinan la intensidad y la energía de los rayos X y, por lo tanto, la exposición y la calidad de la imagen.

Los sistemas de control de pantalla al tacto, y la automatización, proporcionan una interfaz de operador intuitiva para el usuario, que le permite concentrarse en el posicionamiento, mientras el sistema de control de IR/F determina los parámetros de formación de imágenes.

Algunos sistemas cuentan con monitores planos de LCD, de alta resolución y gran calidad de imagen, y un sistema digital que permite una amplia gama de contrastes, de especial importancia en el área de cirugía cardiovascular, donde el rápido movimiento del objeto visualizado demanda claridad y rapidez en la obtención de la imagen. Estos monitores pueden tener un ángulo de visión de 170°, posicionarse fácilmente de cualquiera de los dos lados del arco en C y rotar de manera independiente. El sistema de manejo de datos en la pantalla expone de manera sencilla la información, guiando al operador de una manera lógica a través de cada procedimiento.

Una vez que se han adquirido, las IR/F pueden guardarse en disco duro, memoria USB y disco DVD, para el registro práctico y digitalmente portátil de los datos de imagen del paciente. Los arcos en C móviles pueden ofrecer conectividad de red Dicom 3.0 completa, para el envío de imágenes de lista de trabajo, impresión y almacenado a la red hospitalaria. A su vez, los controles del arco en C permiten la conexión fácil a la infraestructura de red PACS/HIS/RIS del hospital.

Existen modernos arcos en C que permiten mejor maniobrabilidad por tener un diseño más compacto, son los miniarcos en C. Cuentan con una calidad de IR/F similar a los instrumentos de mayor tamaño, un campo de visión más limitado y una mecánica virtual que permite una distancia variable de intensificación de imagen/objeto.

Los arcos en C suelen tener la capacidad de almacenar IR/F en formato digital para múltiples propósitos: docentes, investigativos y médico-legales. Pueden tener la posibilidad de adaptación de un software de funciones de postprocesamiento, que permite transferirlas a otro lugar para una evaluación y procesamiento adicionales, como manipulación de las IR/F obtenidas para aumentar su resolución e interpretar los resultados de manera más exacta, en

cualquier momento que sea necesario, sin requerir la presencia del paciente y su radiación innecesaria.

Los arcos en C se pueden integrar a la cirugía guiada por imagen, en la que la IR/F se vuelve un mapa de la anatomía del paciente, que se correlaciona con la posición en tiempo real del instrumento quirúrgico. De esta manera, el cirujano sigue los movimientos del instrumento sin requerir de tomas continuas de IR/F del paciente. Esta tecnología tiene su mayor impacto en neurocirugía, columna vertebral y cirugía ortopédica. Con las reconstrucciones multiplanares (MPR), secciones ortogonales (sagital, axial, frontal) y entrega de volumen, el arco en C permite visualizar rutas complejas de acceso y sitios intraoperatorios.

Es esencial en esta área la conectividad garantizada en el arco en C y su comprobada compatibilidad con diversos sistemas CAS. La cirugía CAS y los sistemas de arco en C pueden escogerse de manera independiente, para obtener el mayor beneficio para los requerimientos locales.

La obtención de IR/F tridimensionales (3-D) es posible con algunos de los últimos modelos de arcos en C. Contar con una imagen en 3-D permite reducir una de las mayores limitantes de las IR/F en dos dimensiones, y es la imposibilidad de cálculo del espesor de fondo de las estructuras visualizadas. Las imágenes 3-D son especialmente útiles en la fijación de fracturas óseas guiadas por fluoroscopia, en donde se requiere determinar la posición exacta del material de osteosíntesis. Una característica importante de los arcos en C es la posibilidad de toma de IR/F por tiempo casi ilimitado, muy útil en procedimientos vasculares, cardíacos, electrofisiológicos y endoscópicos, que demandan visualización constante del área intervenida.

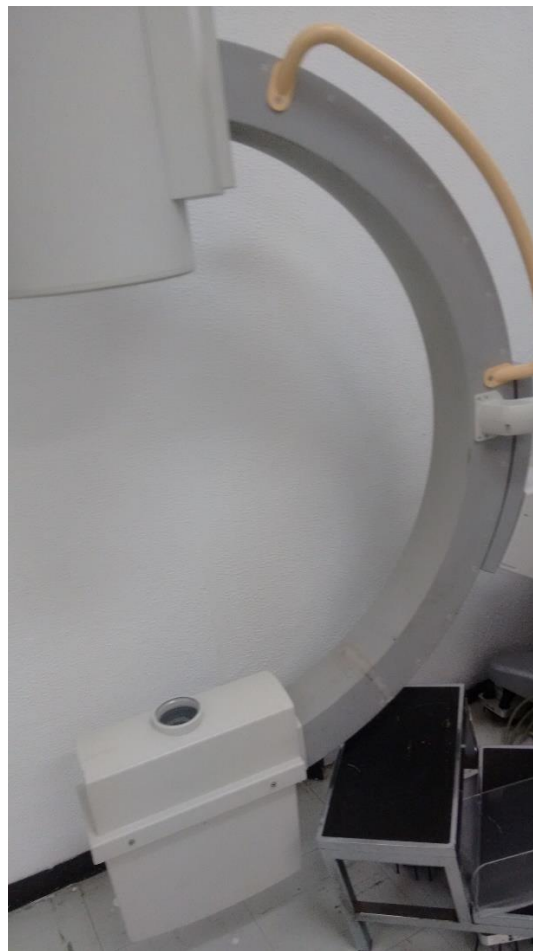
Debido a la alta producción de calor por la unidad durante la utilización del fluoroscopio, algunos arcos en C cuentan con un sistema de enfriamiento integrado, que consiste en un

intercambiador de calor que se ubica en el extremo inferior del brazo y que se comunica con un radiador de calor de alta capacidad, ubicado en la base del arco en C. La temperatura de la unidad es monitoreada por un calculador de calor, que automáticamente ajusta el generador de poder para prevenir el calentamiento extremo de la unidad y extender al máximo el tiempo de fluoroscopia. Como los arcos en C permiten la obtención de IR/F en casi cualquier lugar de una institución, se deben realizar los mejores esfuerzos por reducir la exposición radiológica de todo el personal. Los operadores deben utilizar protectores plomados y, en lo posible, la toma de IR/F se debe realizar en lugares donde la exposición de otros sea limitada. Se cuenta con pantallas portátiles, que sirven como barrera ante la radiación que se escape fuera del objetivo, y pueden localizarse según la necesidad del personal. El nivel de radiación del operador debe ser monitoreado, de acuerdo con las regulaciones locales (o nacionales), y debe incluir el uso de dosímetros permanentemente.

Además de las barreras físicas utilizadas para disminuir la radiación, la técnica de toma de imágenes es esencial en el campo de la prevención. El adecuado posicionamiento del paciente y de la unidad móvil son claves para evitar la emisión de rayos en direcciones no deseadas e ineficientes. El mantenimiento técnico de la unidad debe ser realizado, de manera regular y constante, por personal entrenado en el funcionamiento del equipo. El arco en C debe mantenerse adecuadamente balanceado y alineado, para evitar su caída hacia el lado de mayor peso. Así mismo, debe protegerse ante colisiones repetidas, derivadas de su constante movilización por la institución, y ante el contacto con líquidos corporales del paciente, que pueden causar el daño irreparable de la unidad.

Una unidad móvil sin el adecuado mantenimiento puede liberar radiación inadvertidamente, a niveles más altos de los permitidos por estándares de seguridad, lo cual causa graves

complicaciones en el personal susceptible (mujeres embarazadas, niños) y lesiones a largo plazo en los operadores (infertilidad, alteración gonadal, disfunción tiroidea, entre otros).



11.5 Justificación de las prácticas radiológicas en intervencionismo.

Una manera de justificar las prácticas radiológicas es tener en cuenta que siempre son mayores los beneficios que los riesgos involucrados, cuando los procedimientos se aplican dentro de las normas de la buena práctica médica.

Por lo tanto, el uso de guías para solicitud de exámenes por imágenes debe ser necesario y casi obligatorio, para que los médicos se sirvan de directrices y tengan una decisión clara al enviar a

los pacientes a los servicios de diagnóstico por imagen. Estas guías serán muy útiles sobre todo, para los Médicos que recién ingresan a un hospital o centro de salud.

La Guía Europea PR118⁽¹¹⁾ (Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen, 2000) trata 280 problemas clínicos, descritos en cuatro columnas: en la primera se presenta la situación clínica que requiere exploración; en la segunda se apuntan algunas posibles técnicas de diagnóstico por imagen (y el nivel de exposición a la radiación que conllevan); en la tercera se da la recomendación (y el grado de las pruebas que la respaldan) sobre si la exploración es la adecuada o no, y en la cuarta se ofrecen comentarios explicativos.

Programa de Protección Radiológica del Paciente (PRP)

El programa de Protección Radiológica del Paciente (PRP) tiene como objetivo tomar todas las medidas necesarias para proteger al paciente, para conservar los beneficios disminuyendo los riesgos⁽¹²⁾.

A partir del primer Congreso de PRP que tuvo lugar en Málaga-España en el año 2001, algunos países, como por ejemplo Argentina (Autoridad Reguladora Nuclear, 2004), comenzaron a elaborar su propio PRP. El programa argentino de PRP es conducido por una Comisión Conjunta de Sociedades Profesionales vinculadas al uso de radiaciones ionizantes en medicina y tiene seis objetivos básicos⁽¹²⁾:

1. *Justificabilidad*: es importante que el público sepa que los estudios radiológicos implican un riesgo que sólo se justifica si el examen tiene una indicación médica.
2. *Optimización de la práctica*: una vez que los estudios estén justificados se intenta que los mismos se realicen en condiciones óptimas para que las dosis sean tan bajas como sea posibles.

3. *Prevención de accidentes (riesgos potenciales)*: en radioterapia pueden producirse fallas que ocasionen que el paciente reciba una dosis mayor o menor que la necesaria, y ambos casos deben evitarse. Estos accidentes en general son originados por errores humanos.

4. *Capacitación y entrenamiento*: el equipo médico debe contar con una calificación adecuada.

5. *Difusión de los criterios de PRP*: a fin de hacer una difusión adecuada de los criterios de PRP en todo el país.

6. *Estructura de control y supervisión*: con el fin de establecer un sistema de control que estimule las buenas prácticas y corrija las desviaciones.

II.6 Cuantificación y control de las exposiciones

Importancia de controlar las exposiciones.

La formación básica en protección radiológica de cualquier especialista intervencionista debería incluir el conocimiento de los factores que influyen en las dosis a los pacientes y a los profesionales que realizan los procedimientos. Los profesionales deben ser capaces de reconocer si los valores de dosis son elevados o “normales”. Si disponen de estos conocimientos tendrán la posibilidad de reducir las dosis de radiación cuando sean elevadas. Durante la intervención se debe dar prioridad al objetivo clínico del procedimiento pero en la planificación previa de los procedimientos, y en el análisis de resultados deben tenerse en cuenta las dosis de radiación que reciben los pacientes y los profesionales. Para los profesionales, existen límites anuales de dosis recomendados internacionalmente y adaptados a las normas nacionales en todos los países. La única forma de constatar que se cumplen estos principios de protección radiológica es midiendo, documentando y evaluando las dosis de radiación que se están recibiendo. Sólo así se puede estar seguro de que no se sobrepasan los límites de dosis y de que

la protección está bien optimizada. La cuantificación de las dosis es, por lo tanto, un instrumento esencial de la protección radiológica.

II.7 Niveles de referencia en diagnóstico con fluoroscopio.

Para los pacientes no se aplican los límites de dosis. De los tres principios básicos de la protección radiológica (justificación, optimización y limitación), el tercero no es aplicable a los pacientes ya que se supone que el beneficio derivado de las dosis de radiación que puedan recibir, siempre se verá compensado por el beneficio médico de la irradiación. Los médicos adquieren una gran responsabilidad dado que tienen que decidir si el beneficio para el paciente compensa el riesgo radiológico y para ello deben conocer las dosis de radiación que imparten a los pacientes. Aunque, como ya se ha indicado anteriormente, no existan límites de dosis para los pacientes, la ICRP recomienda que se apliquen “niveles de referencia” (NDR) que son valores indicativos de lo que se logra con buena práctica. Los valores medios a un grupo de pacientes no debería superar los NDR en condiciones normales de trabajo. Es muy importante recordar que los NDR no se aplican a pacientes individuales ya que las características de cada paciente y del tratamiento o diagnóstico concretos pueden significar variaciones individuales importantes, y puede ser necesario superar los NDR en un paciente particular.¹³ En los procedimientos guiados por fluoroscopia se ha cuestionado durante algunos años la procedencia de aplicar los NDR por los diferentes grados de complejidad que pueden tener los procedimientos. Sin embargo, en cardiología, se ha demostrado su viabilidad, y diferentes estudios realizados en la Unión Europea por Neofotistou en 2003 y por Balter en 2008 han concluido la conveniencia de recomendar los siguientes niveles de referencia aproximados.^{14,15} (Tabla 2) Es de destacar que los equipos modernos indican niveles de dosis recibidas por el paciente durante el procedimiento que deberían ser volcados en el informe del

mismo. Aunque hay muchos factores que influyen en la relación entre las dosis a los pacientes y las dosis a los profesionales, en muchos de éstos, si se reducen las dosis a los pacientes, se reducirán proporcionalmente las dosis a los profesionales (si se mantienen el resto de factores constantes. En la tabla 3 adaptada de Vañó y col. (2006) ofrece un ejemplo de factores típicos

TABLA 2. Niveles de referencia. Recomendaciones según la práctica utilizada.

de

Fuente	Procedimiento	NDR (Gy.cm²)
Europa (2003)	Angiografía coronaria	57
Europa (2003)	ACTP	94
Estudio OIEA (2008)	Angiografía coronaria	50
Estudio OIEA (2008)	Terapéutico	125

aumento de las dosis a los pacientes y a los profesionales al modificar el modo de operación o al realizar los procedimientos a pacientes de mayor espesor.¹⁶

TABLA 3. Factores modificables que influyen en la exposición a la radiación ionizante en pacientes y profesionales.

Causas	Aumento en la dosis a la entrada del paciente	Aumento en la dosis a los profesionales
Cambio del modo de baja tasa de dosis en fluoroscopia a modo de alta tasa (para un paciente de 20 cm de espesor)	× 3.0	× 2.6
Cambio del campo de visión del intensificador de imagen de 23 al de 17 cm (para un paciente de 20 cm de espesor)	× 1.4	× 1.0
Cambio de espesor atravesado por la radiación (de un paciente de 16 cm a otro de 28 cm de espesor)	× 6.0	× 4.2
Cambio del régimen de fluoroscopia de baja tasa de dosis a cine (para un paciente de 20 cm de espesor)	× 10.0	× 8.3

Optimización de la protección de los pacientes Para obtener la imagen radiológica, algunos fotones de rayos X interactúan con los tejidos y son absorbidos o dispersados mientras que otros atraviesan completamente al paciente. La imagen se produce gracias a que el haz de rayos

X interactúa de manera diferente según cada tipo de tejido. El haz entrante al paciente es de una intensidad del orden de 100 veces mayor que el haz saliente por lo que la imagen se crea con el 1% remanente del haz de Rayos X. Por lo tanto, los tejidos a la entrada del haz (generalmente el dorso del paciente) reciben una dosis más alta, con un mayor riesgo de daño. Las proyecciones con ángulos muy oblicuos hacen aumentar la dosis a la piel, elevando el riesgo para la misma (el haz de rayos X debe atravesar mayor espesor de tejido). La fluoroscopia pulsada irradia menos que la continua y la filmación irradia del orden de 10 veces más, en promedio, que la radioscopia. La utilización de rejillas antidifusoras en los equipos mejora el contraste y por tanto la calidad de las imágenes aunque aumentan la dosis de radiación a los pacientes. Además, debemos recordar que los equipos modernos tipo “panel digital plano” tienen la capacidad de irradiar menos a los pacientes que los equipos con “intensificador de imagen” pero sólo si se usan en forma adecuada, es decir cumpliendo con el resto de las recomendaciones. De estos enunciados podemos sacar las siguientes recomendaciones para proteger al paciente:

1. Trabajar con la mesa en la posición lo más alta posible para aumentar la distancia entre el paciente y la fuente de Rayos X (en los casos en los que no sea imprescindible situar el corazón en el isocentro) como se observa en la Tabla 1. Se define como isocentro al punto sobre el que giran los arcos en C. En cualquier angulación del arco, el haz de rayos X “pasa por el isocentro”.

Si se modifica la altura de la mesa y el corazón no se sitúa en el isocentro, al cambiar la angulación del haz de rayos X, se debe mover la mesa (“panning”) para seguir viendo las arterias que se estaban visualizando con la angulación previa. Se estará entonces obligado

en ese caso a hacer un poco de “panning” con lo que se pierde tiempo y se debe usar más fluoroscopia.

2. Evitar al máximo las proyecciones oblicuas o axiales extremas porque aumentan considerablemente la dosis en piel. No trabajar en una sola proyección. Cuanto más rotemos el arco, la zona de piel sobre la que incide el haz de Rayos X es más amplia y se acumula menos la radiación en una zona de la piel. Esta consideración es tanto más importante cuanto más se prolongue la intervención y más radiación haya que utilizar. Esta medida es más efectiva si al mismo tiempo se colima el haz tanto como lo permita la zona a visualizar, como se explica en el punto siguiente.

3. Usar siempre la colimación ya que cuanto menor es la zona de incidencia menor es el volumen de tejido irradiado y la probabilidad de efecto estocástico es menor. La colimación evitará además el solape de irradiaciones en la piel en proyecciones con angulaciones próximas. Se recomiendan los equipos con “colimación virtual” que son los que permiten su aplicación así como la de los filtros, sin necesidad de activar la fluoroscopia.

4. El mismo concepto es válido para los filtros en cuña, generalmente hechos en cobre o tantalio, que pueden disminuir la dosis en la piel hasta 70% y mejorar sustancialmente la calidad de las imágenes.

5. En niños y en mujeres embarazadas que son sometidos a procedimientos invasivos, se deben extremar los criterios de protección.

II.7 Protección ocupacional Control de las exposiciones y límites de dosis

Es preciso cuantificar las dosis con el fin de cerciorarse de que la protección está bien optimizada y que en cualquier caso no se sobrepasan los límites, los que para exposición

ocupacional, establecidos por la ICRP (ICRP, 2007) y **las Normas Básicas Internacionales de Seguridad son los siguientes:**¹⁷

- Dosis efectiva de 100 mSv en cinco años, lo que implica una dosis efectiva de 20 mSv por año, y se especifica que no se deben exceder los 50 mSv en cualquier año.
- Dosis equivalente de 150 mSv por año en cristalino (actualmente se recomienda hasta 20 mSv/año).
- Dosis equivalente de 500 mSv por año en la piel.

Adicionalmente se establecen límites para las mujeres embarazadas y para los trabajadores entre 16 y 18 años. La Organización Mundial de la Salud, en una de sus publicaciones (específica para radiología intervencionista) (OMS, 2000) ha propuesto los siguientes “niveles de acción” que supondrían iniciar una investigación para averiguar las causas de los valores anómalos de dosis ocupacionales:¹⁸

Cuerpo entero (dosis efectiva) 0.5 mSv/mes

Cristalino 5 mSv/mes

Manos y extremidades 15 mSv/mes

Las dosis ocupacionales se miden habitualmente con dosímetros ocupacionales (de termoluminiscencia, de película fotográfica, de estimulación óptica, etc), aunque en algunas ocasiones pueden ser de gran utilidad los dosímetros electrónicos de lectura directa, que pueden informar en “tiempo real” sobre la dosis de radiación (dosis acumulada o tasa de dosis) que reciben los profesionales durante los procedimientos. La ICRP (ICRP, 2000) recomienda el uso de dos dosímetros personales, uno sobre el delantal plomado y el segundo debajo del delantal plomado. De esta forma se puede estimar mejor la dosis efectiva que recibe el profesional y la dosis que pudieran recibir en el cristalino (con el dosímetro externo).¹⁷

II.8 Optimización de la protección en la sala de intervencionismo.

Las tres reglas de oro de la protección de los profesionales y del público son válidas en la cardiología intervencionista. Estas son: reducir el tiempo o la “cantidad de radiación”, aumentar la distancia y poner blindaje.

1. Reducir el tiempo y/o la cantidad de radiación se logra utilizando moderadamente la fluoroscopia, las tasas de dosis altas, utilizando fluoroscopia pulsada, moderando el número de filmaciones y el número de imágenes por toma, los filtros, la colimación, etc.

2. Aumentar la distancia y “dar un paso atrás” cuando la intervención no requiera mantenerse totalmente arrimados al paciente, por ejemplo durante la filmación.

3. En cuanto al blindaje, está suficientemente comprobada la utilidad de la protección no sólo de los delantales plomados (la dosis es sólo del 5% de la que recibiríamos si no los usáramos) sino también de los lentes y otros aditamentos como los protectores de tiroides, las “hombreras” o las “pantorrilleras”, pero además las mamparas o vidrios plomados que deben colocarse entre el paciente y el operador así como las barreras o “polleras plomadas” entre la fuente y el operador deben considerarse como elementos imprescindibles para la práctica diaria. Los guantes plomados (que permitan mantener el tacto suficiente) sólo consiguen atenuar la radiación entre un 40-50%, siendo además de elevado costo y suponen la disminución de la habilidad y sensibilidad de las manos. Su desecho debe ser controlado para evitar la contaminación del medio ambiente. Es preciso tener siempre en cuenta que la fuente de mayor radiación dispersa es el propio paciente y no el haz directo de rayos X. A mayor espesor de paciente y tamaño del haz la radiación dispersada o “reflejada” por el mismo se incrementa, y ésta es la que afecta a los profesionales expuestos (cuando se duplica el espesor del tórax del paciente se puede multiplicar la radiación dispersa por 5). La intensidad de la

radiación procedente de una fuente puntual decrece con el inverso del cuadrado de la distancia a medida de la fuente (ley del inverso del cuadrado de la distancia o también llamada de “un paso atrás”). Aunque la zona irradiada del paciente no es un “punto” sino un volumen relativamente grande, si el operador se aparta un poco del paciente se produce una reducción drástica de dosis, tal como se ejemplifica en el siguiente mapa de isodosis dentro de una sala de cateterismos:

Véase que en la Fig. 5 que en un alejamiento de la primera a la segunda isodosis, o a la tercera, la dosis se reduce drásticamente (de 8 a 4 o a 2 unidades relativas).

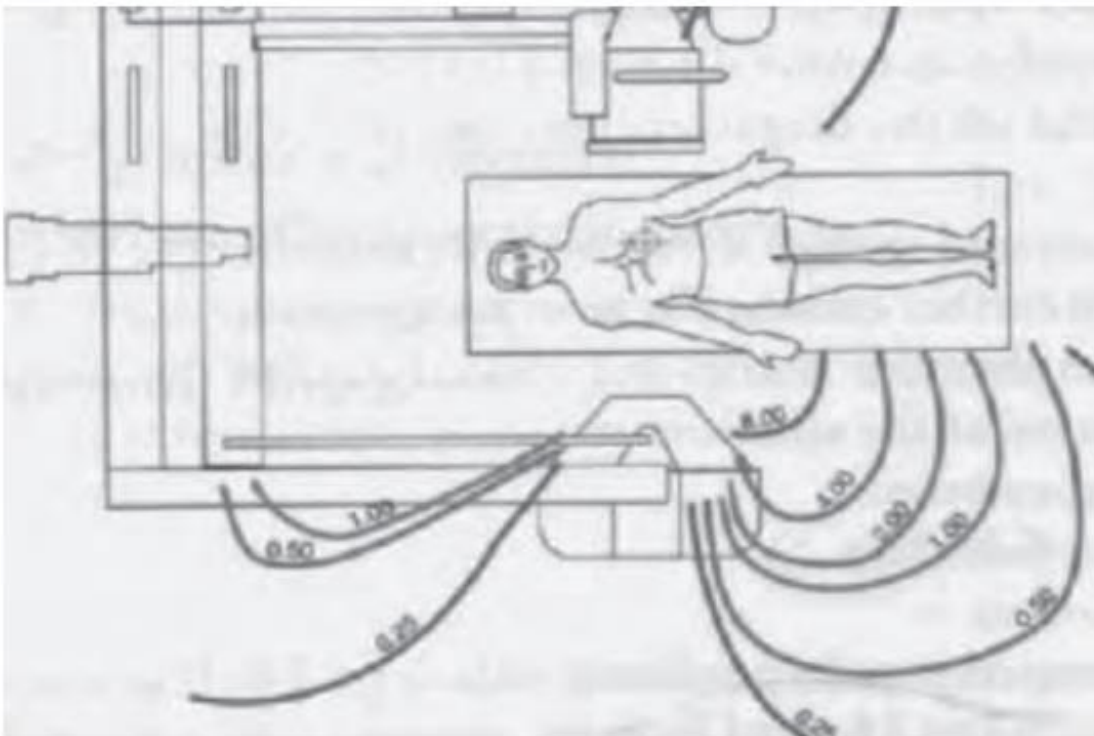
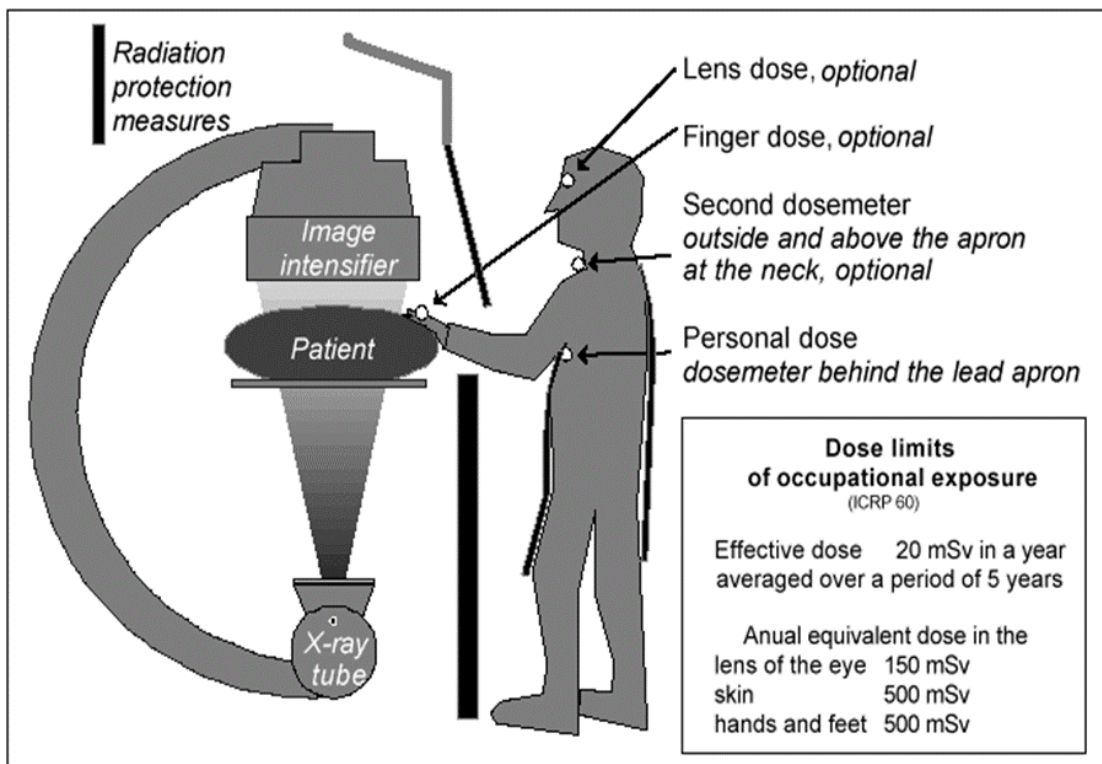


Figura 5. Ley del inverso del cuadrado de la distancia ("un paso atrás")

Hay que tener en cuenta además el acceso vascular que se realiza al paciente ya que hay evidencia que con el acceso radial el primer operador puede recibir hasta el doble de dosis al cristalino cuando se compara con el acceso femoral.¹⁹ Por lo expuesto, existen 10

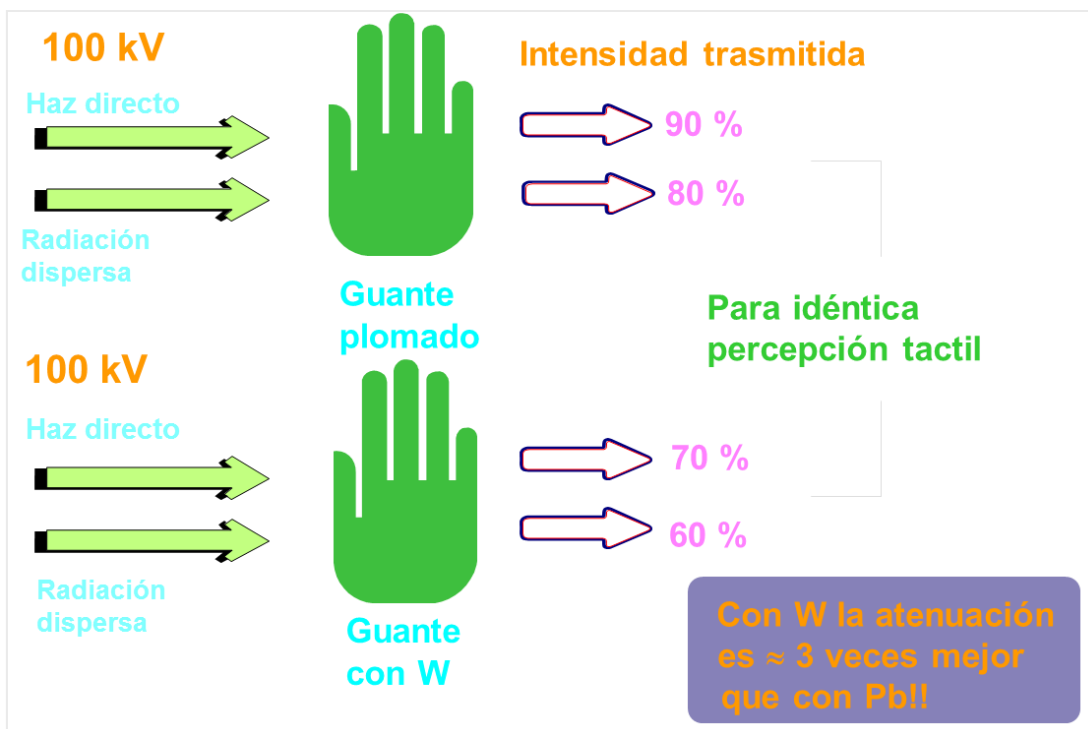
recomendaciones principales para proteger a los cardiólogos y demás profesionales ocupacionalmente expuestos:

1. Trabajar en colaboración con otros profesionales, tales como el Físico Médico, expertos en protección radiológica en aplicaciones médicas en medicina y cumpliendo las condiciones establecidas por la autoridad reguladora de radiaciones ionizantes de su país. 2. Usar dosímetros personales, preferentemente en número de dos: uno sobre el delantal plomado y otro por debajo. Observar sus dosis mensuales y en caso de duda consultar con el responsable de la protección en su hospital. La dosimetría electrónica adicional puede ayudar a optimizar los procedimientos.



3. Usar siempre delantales plomados, de preferencia de 2 piezas y cruzados al frente (para que en la parte frontal la protección sea equivalente a 0,5 mm de Pb), lo que permite que el peso del mismo se distribuya 70% en la cadera y sólo el 30% en los hombros. Si su personal usa

delantal frontal de una sola pieza cerci6rese de que nunca le den la espalda al tubo (pr6ctica muy frecuente). No olvidar usar lentes plomados (equivalentes a 0,5 mm de Pb), protector de tiroides y, de ser posible, "hombreira" izquierda y "pantorrilleras".



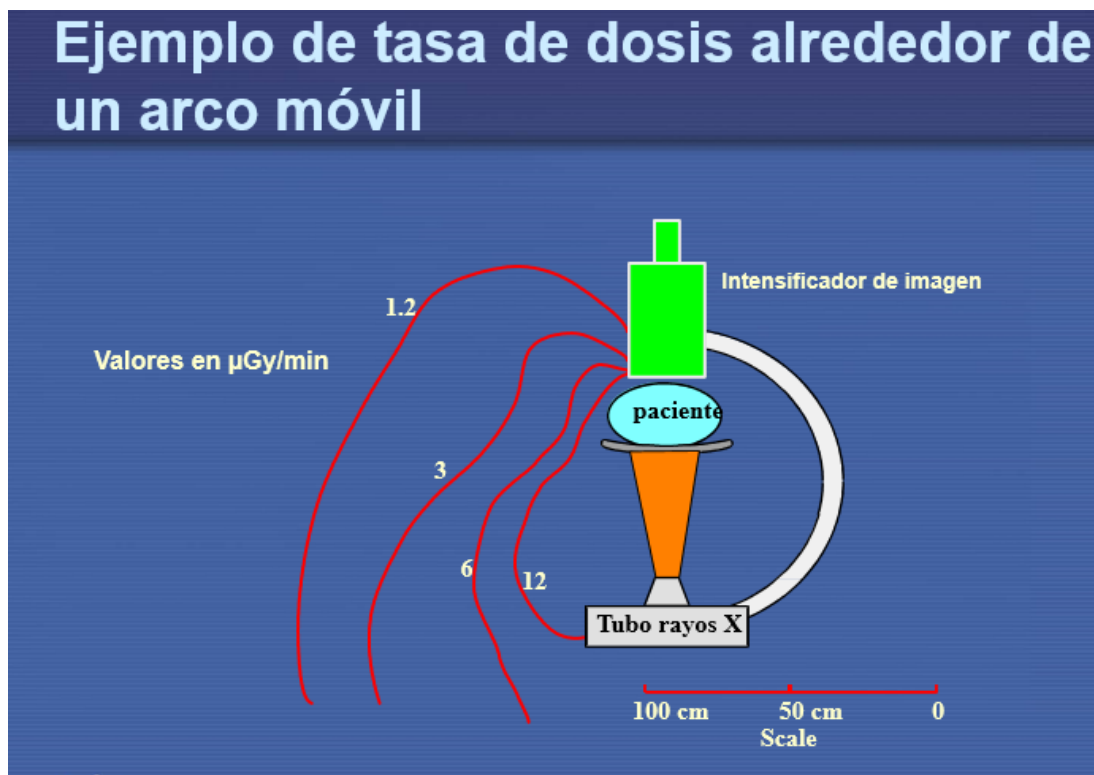
4. Fomentar el uso de equipos que incorporen elementos de disminuci6n de dosis a los pacientes (fluoroscopia pulsada, filtros de cobre o similar en el haz, colimaci6n virtual, etc). La tecnologa digital de panel plano posee importantes beneficios sobre disminuci6n de dosis si se siguen correctamente las indicaciones.

5. Trabajar con la mesa lo m6s alta posible (si no resulta imprescindible trabajar con el coraz6n en el isocentro) y usar el intensificador de im6genes o panel digital plano lo m6s cercano posible al t6rax del paciente.

6. Nunca colocar sus manos en el campo de irradiaci6n.

7. Siempre colimar y colocar los filtros en cu6a, trabajar con fluoroscopia pulsada y filmar el m6nimo posible. Use im6genes congeladas como referencia.

8. No olvide trabajar con vidrio protector entre usted y el paciente y colocar la pollera plomada entre usted y el tubo.
9. Evitar las proyecciones oblicuas o axiales extremas lo más posible.
10. Dar “un paso atrás” en el momento de la “filmación”.



III. JUSTIFICACION

Los intervencionistas están viendo limitada su práctica o sufriendo daños, y están exponiendo a su personal a dosis altas.

Las dosis ocupacionales pueden reducirse reduciendo dosis innecesaria la paciente, con uso correcto y aprovisionamiento de equipamiento (incluyendo el uso de dispositivos de blindaje).

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo a la revisión bibliográfica tenemos un problema mundial que son las dosis efectivas a la población en general por procedimientos radiológicos, específicamente el problema mayor

es la no optimización en dosis y calidad de imagen en exploraciones en las salas de intervencionismo donde el paciente es expuesto a dosis altas aumentando los riesgos de los efectos estocásticos de la radiación como sufrir de cáncer en los años posteriores a la exploración con rayos X y también padecer efectos deterministas.

V. OBJETIVOS

1. Revisión actualizada de la literatura sobre las dosis, efectos biológicos y calidad de imagen en fluroscopia.
2. Seleccionar una muestra de 20 pacientes adultos programados para procedimiento intervencionista.
3. Registrar las dosis de radiación absorbida (DLP), usando el sistema de control automático de exposición del tomógrafo.
4. Optimizar las dosis (DLP) mediante técnicas manuales de reducción de la corriente del tubo de rayos X (mA, mAs) manteniendo la calidad de imagen diagnóstica.
5. Proponer un protocolo de exploración con dosis reducidas en procedimientos de tomografía computada de tórax en mujeres adultas.
6. Redactar la tesis y escribir un artículo para publicación en revista especializada.

VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Prueba estadística

Chi cuadrada, prueba exacta de Fisher, intervalos de confianza, distribuciones de frecuencias normalizadas

Tipo de estudio

Exploratorio, Descriptivo, prospectivo, observacional.

VII. HIPÓTESIS

La reducción de la corriente del tubo de rayos x en los procedimientos de intervencionismo con arco en C sin disminuir la calidad diagnóstica de las imágenes dará como resultado la reducción de la dosis efectiva en los pacientes sobre la medición de los mGy/min.

Tamaño de la muestra

- Pacientes en criterios de inclusión en el periodo junio a diciembre del 2014 en el Hospital Juárez de México.

Criterios de inclusión

- Pacientes que sean programadas para biopsia hepática por vía percutánea.
- Que tengan una edad de entre 18 a 50 años

Criterios de exclusión

- Pacientes hemodinámicamente inestables
- Pacientes menores de 18 años o mayores de 50

VIII. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en la sala de intervencionismo en el área de radiología del Hospital Juárez de México con un arco en C de la marca Philips y un arco en C de la marca Ziehm con intensificador. Los criterios de inclusión fueron pacientes programadas para toma de biopsia hepática percutánea con una edad de entre 18 a 50 años. Los criterios de exclusión fueron pacientes hemodinámicamente inestables y pacientes menores de 18 años o mayores de 65. Se realiza un muestreo retrospectivo 30 pacientes a quienes se les había realizado de toma de biopsia hepática percutánea los meses de mayo a diciembre de 2014 usando el protocolo

automático establecido fabrica, se obtuvo una base de datos de las dosis recibidas y parámetros radiológicos como mGy y mGym² a estos datos de referencia se les denominó “Antes”. Posteriormente se selecciona 30 pacientes para la parte prospectiva del estudio, a los pacientes incluidos en el protocolo, se les realizó una primera disparo para colocar los marcadores anatómicos sobre el reborde costal derecho, posteriormente se procede a explorar a los pacientes en modo manual (seleccionando los mA), realizando un solo disparo reduciendo inicialmente los mA en un 10% en los primeros 15 pacientes, posteriormente un 15% en los siguientes 15 pacientes. Posterior a ello se continúa realizando el examen en valores preestablecidos por el fabricante.

IX. DEFINICIÓN DE VARIABLES

DLP (Producto dosis-longitud)	Se obtiene directamente del equipo de TC	Cuantitativa	mGy cm
Calidad de la imagen	Lo valorara el radiólogo de turno	Cualitativa	Diagnóstica No diagnóstica

X. RECURSOS

HUMANOS

Pacientes que acepten participar en el estudio, investigador responsable, físico, Jefe del Servicio de Radiología, técnicos y radiólogos.

FÍSICOS Y MATERIALES

Hospital Juárez de México, sala de intervencionismo, Equipo de arco en C marca Philips y marca Ziehm, hoja de recolección de datos, estación de trabajo del área de intervencionismo y estaciones de trabajo del área de radiología.

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1 donde se muestra los resultados obtenidos de las dosis a pacientes en sala de intervencionismo usando los parámetros establecidos por el fabricante y posterior en la reducción de las dosis modificando los mAs y reducir a la dosis efectiva, para tratar de mantener la calidad diagnóstica, obteniendo de manera automática la dosis efectiva (mGys).

Paciente	mGys (antes)	mGys(despues)	mGysm2 (despues)	reduccion de dosis %
1	6.8	7.3	1.4	6
2	5.7	6.1	1.09	5
3	5.9	6.3	1.16	6
4	4.66	5.07	0.088	8
5	1.68	1.75	0.0305	4
6	4.7	5.01	0.087	6
7	5.2	5.53	0.096	7
8	7.88	8.3	1.53	5
9	7.3	7.77	0.135	5
10	6	6.3	1.16	4
11	10.9	11.6	0.177	6
12	10.4	11.2	0.113	7
13	6.97	7.5	0.14	8
14	7.9	8.4	0.15	5
15	6.9	7.6	0.138	9
16	3.6	4.1	0.735	12
17	9.03	10.5	0.183	14
18	7.06	8.3	0.14	15
19	4.28	4.8	0.8	11
20	9.7	10.8	0.189	10
21	7.4	8.6	0.16	14
22	7.14	8.5	0.155	16
23	7.23	8.39	0.145	14
24	7.06	8.6	0.16	18
25	2.87	3.51	0.0609	18
26	13.86	16.3	1.93	15
27	4.83	4.96	0.80086	12
28	2.92	3.29	0.047	11
29	3.74	4.21	0.069	11
30	6.46	7.6	0.113	15

En la figura 1 se muestra las curvas de comportamiento de los mGys antes (línea azul) y después (línea naranja) de la reducción de la dosis. Las dosis de referencia (DRLs) de la National Radiology Protection Board se resume en la tabla 2.

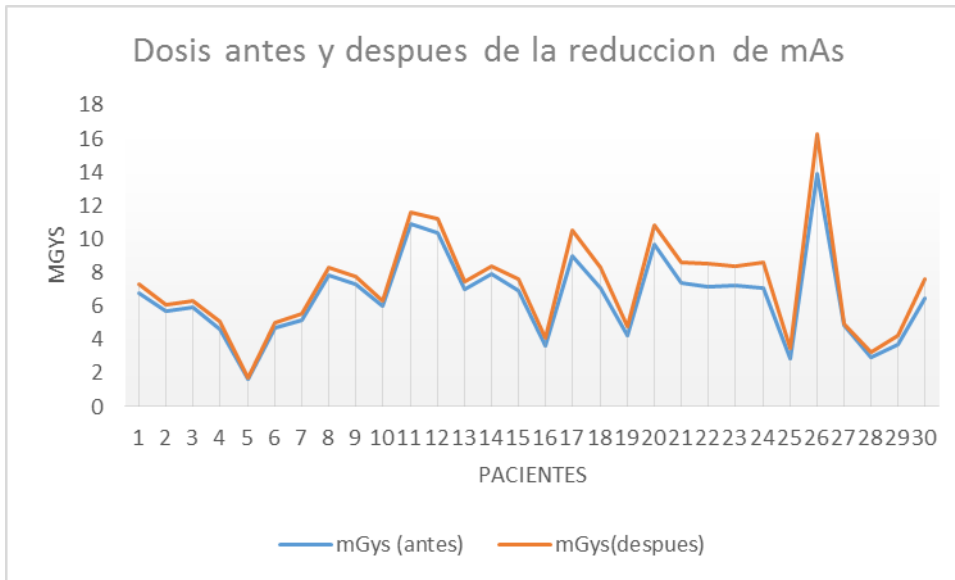


Figura1. Ilustra las dosis antes y después de la reducción de los mAs.

Tabla 2.	
Valores orientativos de kerma-área en aire para procedimientos intervencionistas	
Fluoroscopia-examen completo	Producto kerma-área (Gy.cm ²)
Espina lumbar	15
Enema de bario	60
Urografía intravenosa	40
Abdomen	8
Pelvis	5

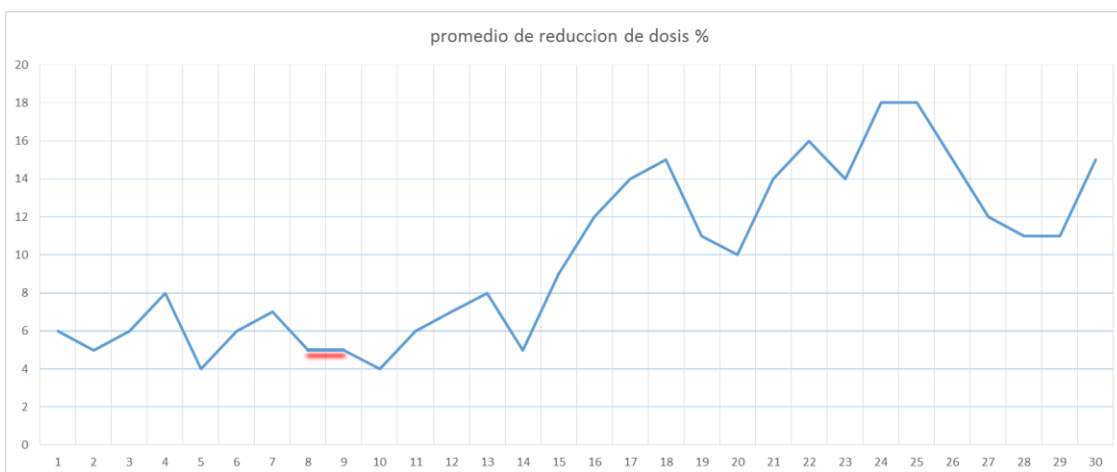


Tabla 2. Muestra el promedio de la reducción de dosis en porcentaje.

DOSIS Y CALIDAD DE IMAGEN.

Se ilustran algunas imágenes clínicas generadas en la optimización de las dosis en la sala de intervencionismo en procedimientos de biopsia percutánea, tomadas con arco en C.

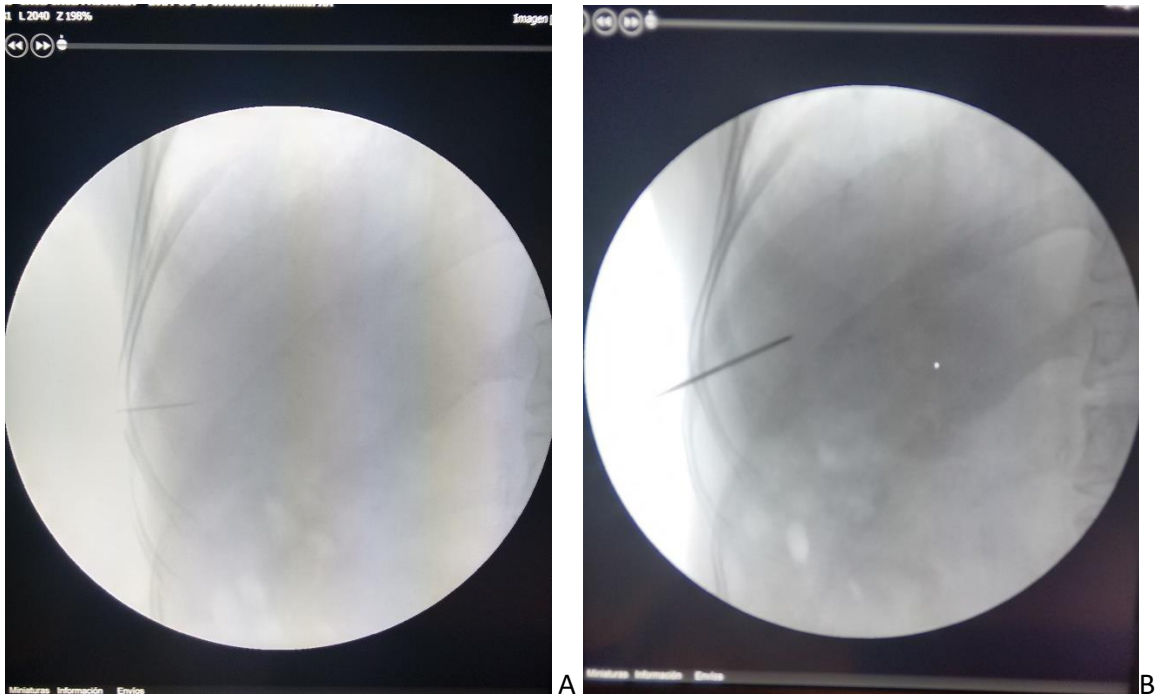


Figura2. Paciente numero 11 programada para biopsia percutánea, apreciando la imagen A con una dosis de 10.9 mGys y la imagen B con una dosis de 11.6 mGys, con una reducción del 6% de la dosis. Nótese la falta de contraste en los tejidos y hacia la aguja percutánea en la imagen A.

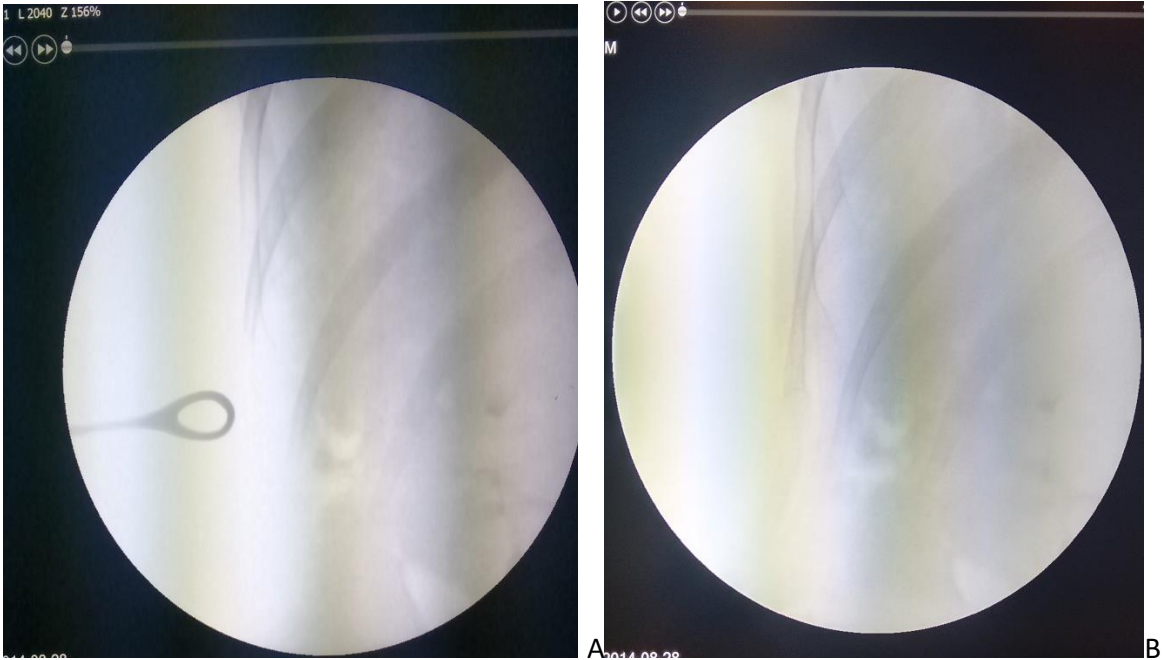


Figura3. Paciente numero 20 programada para biopsia percutánea, apreciando la imagen A con una dosis de 10.8 mGys y la imagen B con una dosis de 9.7 mGys, con una reducción del 10% de la dosis. Nótese la falta de contraste en los tejidos y hacia la pinza de anillos en la imagen A.

XII.CONCLUSIONES

El control manual en los aparatos de fluoroscopia beneficia de gran manera a la reducción de la dosis de exposición al paciente y por consiguiente al personal médico que se encuentra en su entorno, sin embargo este control impacta de manera negativa en la calidad de la imagen de manera significativa, por lo cual se deben implementar mejoras los sistemas de blindaje y reducción de tiempos de exposición a la radiación.

Los beneficios de la radiología intervencionista son muy grandes y van en aumento, tanto en número de pacientes como en tipo y complejidad de las intervenciones que, a su vez, abren nuevos horizontes y traen nuevos beneficios. Esto hace que la práctica haya llegado a situarse

entre las que más exposición a la radiación ionizante produce, tanto a los pacientes como a los profesionales. A nivel individual, estas exposiciones en circunstancias desfavorables y en ausencia de protección han alcanzado los umbrales de las radiolesiones tanto en el caso de los pacientes (principalmente en piel) como de los intervencionistas (en cristalino y en zonas no protegidas, tales como depilación de las manos o piernas). Los objetivos de la protección radiológica son el evitar las radiolesiones y reducir los riesgos de inducción de cáncer a niveles aceptablemente bajos. Para alcanzar estos objetivos, se cuenta con tres principios: justificación, optimización, y límites de dosis. Estos tres principios se aplican a los profesionales y al público, pero los límites de dosis no son aplicables a los pacientes, para quienes basta con que la intervención esté justificada y la protección se haya optimizado. Estos principios aplicados a la cardiología intervencionista, conducen a unas cuantas recomendaciones que si se aplican cuidadosamente evitan las radiolesiones severas en el caso de los pacientes, y todas las radiolesiones en el caso de los profesionales. Así mismo reducen la probabilidad de efectos cancerígenos a niveles muy bajos. Esto último es especialmente importante en el caso de niños y jóvenes y en el caso de profesionales. Hay una serie de medidas de protección que reducen las dosis de pacientes y de profesionales, tales son el uso prudente de las tasas de dosis altas y de las proyecciones muy oblicuas, y el uso de fluoroscopia pulsada, de la colimación y de los filtros en cuña. Hay otras medidas tales como el uso de mamparas blindadas o el “dar un paso atrás” durante la “filmación” que reducen las exposiciones a los profesionales pero no la de los pacientes. Otras medidas son las de cambiar la proyección del haz, que protegen la piel del paciente frente a las radiolesiones pero protegen al profesional. Pero a grandes rasgos, gran parte de las medidas para proteger a los pacientes redundan en protección a los profesionales. El conocimiento de cómo protegerse y proteger a los pacientes es crucial. Por ello, la formación

continuada y el intercambio de información son la herramienta fundamental para los cardiólogos.

REFERENCIAS.

1. Vano E, Gonzalez L, Fernández JM, et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. *Radiology* 2008; 248:945–953
2. Haskal ZJ, Worgul BV. Interventional radiology carries occupational risk for cataracts. *RSNA News* 2004; 14:5–6
3. Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res* 2009; 172:1–9
4. Eliseo Vaño, Norman J Kleiman, Ariel Durán, Madan M Rehani, Dario Echeverri, Mariana Cabrera. Radiation Cataract Risk in Interventional Cardiology Personnel. *Radiation Research* 2010,174, 490-495
5. Gisone PA, Pérez M del R. La protección radiológica del paciente: marco conceptual, nuevas recomendaciones a nivel internacional. Primera Reunión sobre Protección Radiológica del Paciente. Buenos Aires, Argentina, 10 diciembre 2004.
6. ICRP. 1996 Radiological Protection and Safety in Medicine *Annals of the ICRP*. ICRP Publication No. 73, Vol. 26/2.
7. Beauvais-March H, Valero M, Biau A, Bourguignon M. Niveaux de reference diagnostiques: spécificités de la demarche francaise en radiologie. *Radioprotection* 2003; 38(2): 187-200.
8. Verdum F, Bochud F, Gudinchet F, Aroua A, Schnyder P, Meuli R. Quality Initiatives, Radiation Risk. *Radio-Graphics* 2008; 28: 1807-1816.
9. ICRP. 1977 Recommendations of the Internat

10. American College Radiology (ACR). Committee on Quality Assurance in Tomography. Medical Physicist's Section. In Computed Tomography Quality Control Manual 1999. (ACR, Washington, D.C) 1999.
11. Guía Europea PR118. Guía de indicaciones para la correcta solicitud de prueba de diagnóstico por imagen, 2000. <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/fismed/pr118>
12. Buzzi A, Touzet R. Protección Radiológica del Paciente. Rev Argent Radiol 2010; 74(3): 283-284.
13. Eliseo Vaño, Norman J Kleiman, Ariel Durán, Madan M Rehani, Dario Echeverri, Mariana Cabrera. Radiation Cataract Risk in Interventional Cardiology Personnel. Radiation Research 2010,174, 490-495.
14. Neofotistou V, Vano E, Padovani R, Kotre J, Dowling A, Toivonen M, Kottou S, Tsapaki V, Willis S, Bernardi G, Faulkner K. Preliminary reference levels in interventional cardiology. Eur Radiol 2003;13(10):2259-63.
15. Balter S, Miller DL, Vano E, Ortiz Lopez P, Bernardi G, Coteló E, Faulkner K, Nowotny R, Padovani R, Ramirez A. A pilot study exploring the possibility of establishing guidance levels in x-ray directed interventional procedures. Med Phys. 2008 Feb;35(2):673-80.
16. Vañó E, González L, Fernández JM, Prieto C, Guibelalde E. Influence of patient thickness and operation modes on occupational and patient radiation doses in interventional cardiology. Radiat Prot Dosimetry. 2006;118(3):325-30.
17. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1-332.
18. Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology. WHO 2000, Geneva.

19. Larrazet F, Dibia A, Philippe F, et al. Factors influencing fluoroscopy time and dose-area product values during ad hoc one vessel percutaneous coronary angioplasty. *The British Journal of Radiology* 2003;76:473-77.