

INTRODUCCIÓN

En la década pasada las intervenciones coronarias percutáneas (ICP) han aumentado un 58%, y se calcula que, en los Estados Unidos de América, se realizan anualmente 1.3 millones de procedimientos.¹ Las intervenciones están aumentando en complejidad anatómica y técnica requiriendo más tiempo de radioscopia y, por consiguiente, mayor exposición de los pacientes y el personal del laboratorio de cateterismos a las radiaciones que allí se generan².

La exposición ocupacional a esta radiación es importante para todos los miembros del personal del laboratorio por la posibilidad de ocasionar enfermedades malignas y otros daños a la salud.³

En mujeres, este riesgo cobra mayor importancia durante la edad fértil; la exposición a radiaciones fue considerada como motivo para cambiar la cardiología intervencionista por una especialidad con menos probabilidad de exposición por el 24% de un grupo de mujeres encuestadas.⁴ De acuerdo a la "American Association of Medical Colleges" el 49% de todos los estudiantes de medicina y el 44% que los residentes de medicina interna son mujeres.⁵ Sin embargo, solo el 18% de los "fellows" en cardiología y el 8.7% de los que se entrenan en cardiología intervencionista pertenecen a este género.⁴ La proporción de mujeres que elige la cardiología intervencionista como carrera es menor a la mitad de las que se entrenan en cirugía general, y son titulares de solo el 5.9% de los certificados en cardiología intervencionista.⁶ Aún cuando las mujeres no siguen una carrera en cardiología intervencionista la exposición a radiaciones puede ser un tema a considerar durante el entrenamiento.

Además de esto, enfermeras y técnicas radiólogas pueden tener cuestionamientos relacionados con el riesgo durante el embarazo. Para poder tomar decisiones es esencial que la mujer comprenda cual es el riesgo de la exposición a radiaciones ocupacionales para ella y para el feto. Entender la magnitud de este riesgo y los mecanismos para limitar la exposición es de vital importancia.

RIESGOS Y CUESTIONAMIENTOS RELACIONADOS CON EL FETO

La exposición del embrión o el feto a radiaciones puede producir en éstos dos tipos de efectos adversos: determinísticos y estocásticos. Los efectos determinísticos resultan del daño a un número de células para las cuales hay un umbral antes de que suceda cualquier efecto clínico. Los principales efectos determinísticos sobre el embrión o el feto incluyen retardo en el crecimiento intra-uterino, pérdida del embarazo, retardo mental, microcefalia, bajo cociente intelectual y malformaciones congénitas. Los efectos estocásticos ("random") resultan del daño celular para el cual no hay umbral aunque existe una probabilidad aumentada de daño a medida que aumenta la dosis de radiación. Los principales efectos estocásticos de la exposición del embrión a radiaciones son el riesgo de cáncer en la infancia y las enfermedades hereditarias en los descendientes.^{7,8} El desarrollo de estos efectos depende de la edad a la cual el embrión o el feto son expuestos y la cantidad de radiación recibida.

Los efectos biológicos de la radiación se producen a nivel del ácido desoxirribonucleico (ADN) con tres evoluciones principales: (1) las células dañadas son reparadas sin daño residual; (2) las células mueren; o (3) las células se reparan incorrectamente resultando en cambios biológicos que podrían llevar al desarrollo de cáncer y defectos genéticos en los hijos de padres expuestos a estas radiaciones ionizantes (9.19). Biomarcadores como las pruebas de aberraciones cromosómicas en linfocitos de sangre periférica demuestran que la elevada frecuencia de ruptura cromosómica es un fuerte predictor de riesgo de contraer cáncer en individuos sanos.^{11, 12}

Probabilidad de Nacimiento de Niños Sanos

El riesgo principal para el hijo de una trabajadora embarazada es la inducción de cáncer. Wagner y Hayman estimaron que la probabilidad de que un niño sufra de una malformación o cáncer, asumiendo la incidencia habitual de éste último, es de aproximadamente el 0.07% (Tabla 1).^{14,15} Siguiendo estimaciones conser-

TABLA 1. Probabilidad de nacimiento con malformaciones congénitas o de desarrollar cáncer en la infancia.

Dosis para el embrión por encima de la ambiental (mSv)	Probabilidad de nacimiento con malformaciones congénitas (%)	Probabilidad de padecer cáncer en la infancia (%)	Probabilidad de nacimiento con malformación congénita o de padecer cáncer en la infancia (%)
0	4	0.7	4.07
0.5	4.001	0.074	4.072
1	4.002	0.079	4.078
2.5	4.005	0.092	4.09
5	4.01	0.11	4.12
10	4.02	0.16	4.17

vadoras del NCRP (National Council on Radiation Protection & Measurements) tras la exposición a 0.5 mSv la probabilidad de nacimientos sin malformaciones o cáncer se reduce de 95.93% a 95.928%. Exposiciones por encima de 10 mSv podrían aumentar el riesgo en un 0.1%. Sin embargo, también es posible que no exista aumento del riesgo.

Exposición Actual del Feto a las Radiaciones

No existen datos disponibles que demuestren adecuadamente el nivel de exposición del feto en las mujeres que trabajan actualmente en laboratorios de cateterismo cardíaco. Sin embargo, para analizar el riesgo nosotros evaluamos los datos de la Mayo Clinic, en Rochester, MN en todas las mujeres independientemente de su profesión y en cualquier área clínica, utilizando un dosímetro para el embarazo. De las 68 mujeres en las que se compararon los dosímetros del cuello y de la cintura, 56 (82.4%), incluyendo una cardióloga intervencionista y una “fellow” de la especialidad, tenían niveles no detectables en el dispositivo colocado en la cintura debajo del delantal protector, (datos no publicados obtenidos de una comunicación personal de Glenn M. Sturchio, Ph.D.). De las 12 mujeres restantes que tenían niveles detectables 9 eran técnicas o enfermeras en medicina nuclear, 2 eran técnicas de radiología y otra trabajaba en anestesiología. El nivel de exposición aumentado podría ser explicado por el hecho de que los técnicos y enfermeros de medicina nuclear no utilizan rutinariamente delantales de protección.

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN

Límites de Dosis

Para entender estos límites de dosis uno debe comprender lo que significa dosis tisular (dosis absorbida), la que es expresada en Gray (Gy) y dosis efectiva, expresada en Sievert (Sv). Los sistemas radiológicos modernos informan habitualmente del producto kerma área

(KAP, Gy/cm²) acumulado durante el procedimiento. KAP es el producto entre el kerma en el aire (energía cinética liberada en la materia que es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas y liberadas en una materia dividida por la masa de la muestra) y el área del campo sobre el que incide la radiación total sobre el paciente. Con factores de conversión adecuados, los valores de KAP pueden ser utilizados para estimar el “producto dosis-área” (DAP, Gy.cm²) sobre la piel y la dosis efectiva que recibe el paciente. La dosis efectiva es un estimado de la dosis uniforme para todo el cuerpo que produciría el mismo nivel de riesgo de efectos adversos que resultaría de la irradiación parcial no uniforme del organismo, y es una dosis calculada.

En general, la dosis fetal de radiaciones es a menudo descrita como dosis tisular, aunque no es siempre uniforme. El National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) recomienda limitar la exposición del feto a las radiaciones ocupacionales a un valor tan bajo como sea razonablemente posible (ALARA) pero no exceder los 5 mSv (500 mrem) durante toda la gestación y 0.5 mSv por mes de embarazo (16). El riesgo de inducir abortos espontáneos, enfermedades malignas o malformaciones congénitas mayores en embriones o fetos expuestos a dosis de <50 mGy es insignificante comparado con el riesgo natural de aquellos sin exposición a radiaciones.¹⁷ Un comunicado del “American College of Obstetricians and Gynecologists” apoya la recomendación del NCRP y declara que la exposición de mujeres embarazadas a dosis de radiación <50 mGy (5 rad) no se ha asociado con una incremento en anomalías fetales o pérdidas del embarazo.¹⁸ Generalmente la irradiación fetal por debajo de 50 mSv (5 rem) es considerada insignificante.⁷ Esto está basado en estudios que demuestran que, en comparación con poblaciones expuestas durante el período gestacional a radiaciones ambientales (estimadas en menos de 1 mGy (0.1 rad), la exposición durante el embarazo a una dosis de radiación acumulada de

TABLA 2. Límites de Dosis Ocupacional Recomendados por el “National Council on Radiation Protection and Measurements” (NCRP) y la Comisión Internacional para la Protección Radiológica (CIPR)^{12,18,20}

	Región del Cuerpo	Limite de dosis ocupacional/año
Límites de dosis efectiva para la exposición ocupacional (NCRP)	Cuerpo entero	50 mSv
	Lente del ojo	150 mSv
	Piel, manos, pies y otros órganos	500 mSv
	Feto	Dosis efectiva máx/mes <0.5 mSv
Límites de dosis ocupacional (CIPR)	Cuerpo entero	20 mSv*
	Lente del ojo	150 mSv
	Piel, manos, pies y otros	500 mSv
	Feto	< 1 mSv (durante la gestación)

* promedio para cinco años, con máxima de 50 mSv por año.

menos de 50 mGy (5 rads) no afecta de evolución del mismo.¹⁸⁻²⁰ Sin embargo, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomienda un límite de exposición fetal a radiaciones ocupacionales menor a 1 mSv (100 mrem) (Tabla 2).^{13,21,22}

La dosis de exposición a radiaciones que ha sido asociada con riesgo para el niño es significativamente mayor que la de los límites recomendados. Una dosis "intra-uterina" mayor a 100 mSv conlleva un riesgo aumentado de malformaciones y de cáncer en la infancia.⁷ Otros estudios también mencionan la asociación de baja dosis de exposición a radiaciones con el desarrollo de cáncer en la infancia.²³⁻²⁵ El riesgo fetal de malformaciones aumenta por encima del promedio de la población expuesta a irradiación ambiental cuando se alcanzan dosis superiores a los 150 mGy.²⁶

El primer trimestre es el período de mayor riesgo.¹⁵ Poco se sabe acerca de la exposición durante los primeros 9 o 10 días, entre la concepción y la implantación del huevo. La exposición durante el día 18 al 20 luego de la concepción podría resultar en muerte y expulsión del huevo. El impacto de la exposición a la radiación se observa mejor entre los días 20 y 50, durante la fase de organogénesis. Dosis de alrededor de 1 a 2 Gy podrían resultar en serias alteraciones en el desarrollo del feto incluyendo anomalías del sistema nervioso, ojos y sistema óseo. La exposición luego del día 50 podría resultar en retardo en el crecimiento intrauterino, ya sea de todo el organismo o solo del cráneo y el cerebro.¹⁰ Desde que la dosis umbral para estos efectos determinísticos es muy superior a la que un cardiólogo intervencionista debería recibir debajo de un delantal de protección, la utilización de técnicas de cuidado habitual tendrían como resultado un riesgo insignificante para el feto.

Comparación de los niveles de exposición del feto a la radiación ocupacional con otras fuentes de radiación no ocupacional

La exposición a radiaciones está presente en todas partes y la irradiación ambiental durante el embarazo es típicamente de 0.75 a 1 mSv (0.075 a 0.1 rem).²⁷ La irradiación ambiental cósmica varía geográficamente. En Denver, Colorado, el promedio de irradiación cósmica ambiental es de 0.9 mSv por año, y en la región de la costa atlántica es de 0.23 mSv por año.^{28,29} El viaje por avión es otra fuente de irradiación, la que varía en relación al tiempo de vuelo, a la altitud y a la latitud. En diferentes estudios las dosis oscilan entre 0.003 y 0.0097 mSv/hora (0.3 a 0.97 mrem/hora).³⁰ El personal de aerolíneas con 600 a 800 horas de vuelo por año está expuesto a 2 a 5 mSv/año.³¹

Otra fuente potencial de exposición del feto a la radiación son las imágenes en medicina. La estimación de dosis fetal en estudios radiológicos comunes es de menos de 0.01 mGy para radiografías de las extremidades superiores e inferiores, pero aumenta a niveles tan elevados como 0.51 a 3.7 mGy para series radiológicas de cadera y fémur (Tabla 3).²⁶ La dosis fetal de un estudio de tomografía axial computada (TAC) de abdomen

TABLA 3. Irradiación Fetal para procedimientos médicos habituales^{6,24,31}

Procedimiento radiológico	Exposición fetal estimada (mGy)
Rx de Miembro Inferior o Superior	<0.01
Rx de Pelvis	0.04-2.38
Rx seriada de Cadera y Fémur	0.51-3.7
Rx de Abdomen	1-3
TC de Tórax	0.2
TC de Abdomen	4
TC de Abdomen y Pelvis	25

Rx= Radiografía TC= Tomografía Computada

y pelvis ha sido estimado con estudios de simulación en 7.3 a 14.3 mGy/100 miliamperes/segundo.³² La exposición radiológica para el feto en una TAC también varía en relación al campo radiológico y a la duración del estudio pero puede ser tan elevada como 1.52 a 1.68 mGy en el mes 0, y 2 a 4 mGy a los 3 meses para una TAC abdominal con protocolo para apéndice.³³

Monitoreo de la exposición a radiaciones durante el embarazo. Para cumplir adecuadamente con el NCRP y asegurar que la exposición del feto a la radiación ocupacional se mantenga en un valor inferior a 5mSv (500 mrem) durante todo el embarazo se recomienda el monitoreo mensual con un dispositivo colocado debajo del delantal de protección a la altura de la cintura (Tabla 5); de esta forma pueden ser detectadas exposiciones por debajo de los 0.01 mSv (1 mrem). La utilización de un dosímetro en igual situación antes del embarazo puede servir para evaluar el riesgo individual de esa mujer y los riesgos durante un futuro embarazo. Esto último permitiría a la mujer determinar si es necesario realizar cambios en su actividad durante la gestación. Sin embargo, parecería poco probable que una cardióloga intervencionista embarazada pueda recibir más que el máximo permitido de 1 mSv debajo del delantal, especialmente si la mujer utiliza además una pantalla de protección.^{34,35}

Tipo de procedimiento y manejo de la dosis de irradiación

Acceso Radial. La utilización rutinaria de la vía radial para angiografías y angioplastias coronarias ha ganado popularidad a causa de la posibilidad de reducir el sangrado y las complicaciones vasculares, y de mejorar la comodidad del paciente.^{36,37} Sin embargo, los procedimientos realizados por esta vía han estado históricamente asociados con una mayor exposición del operador a la radiación³⁸⁻⁴³ como ha sido sugerido por algunos estudios no aleatorizados.^{44,45} Más recientemente, un estudio aleatorizado demostró que, utilizando esta vía, hay un aumento en la irradiación del operador.⁴⁵ En comparación con la vía femoral, el acceso radial ha sido asociado con un incremento en el kerma-aire, utilizado como indicador de la dosis de irradiación de la piel; y

en el análisis multivariado, la vía radial se define como un fuerte predictor independiente de irradiación.⁴⁶ En un estudio aleatorizado más reciente, la duración del procedimiento fue mayor para la vía radial y la exposición fue ligeramente mayor [DAP media: 38.2 Gy_{cm}² vs 41.9 Gy_{cm}²].⁴¹ El incremento en la exposición ocurre no solo por la mayor duración del procedimiento sino como consecuencia de que el operador está parado más cerca del intensificador de imágenes durante el mismo. Es también difícil utilizar adecuadamente algunos dispositivos de protección cuando se está trabajando por vía radial.³⁹ Además, la curva de aprendizaje para los procedimientos radiales es bastante empinada, lo que puede traducirse en mayor tiempo de procedimiento y exposición a la radiación.⁴⁷⁻⁴⁹ Al utilizar la vía de acceso radial es de mayor importancia maximizar la distancia entre el operador y la fuente de radiación y utilizar adecuadamente los elementos de protección, para de esta forma disminuir la irradiación del operador.⁵⁰ Así, a causa de estos elementos durante la curva de aprendizaje, el embarazo no parece ser un momento apropiado para iniciar la utilización rutinaria de la vía radial.

Intervenciones Vasculares Periféricas. En comparación con las intervenciones coronarias realizadas por vía femoral, las intervenciones vasculares periféricas producen mayor exposición del operador a la radiación a causa de la mayor duración de los procedimientos, mayor dificultad en la utilización de pantallas de protección, y la ubicación del operador en una posición más cercana a la fuente de radiación. En la literatura médica se puede encontrar una considerable variabilidad en el grado de exposición durante cateterismos vasculares. En procedimientos periféricos el DAP varía de 6.7 a 163 Gy_{cm}², lo que puede ser comparado con 6.2 a 109 Gy_{cm}² para las angiografías coronarias.⁵¹ Aproximadamente el 90% del total de exposición para procedimientos periféricos viene de la inyección manual con angiografía de sustracción digital (ASD) y, por lo tanto, la utilización de una bomba de inyección que permita aumentar la distancia en la que se sitúa el operador podría ser útil para reducir esta exposición.⁵²

Otras fuentes potenciales de exposición en el laboratorio de cateterismos. Algunos laboratorios de cateterismo han incorporado sistemas de navegación magnética estereotáxica para ayudar a posicionar la guía en vasos tortuosos.^{53,54} La utilización de este sistema no elimina la necesidad de radiación y, adicionalmente, agrega exposición a un campo magnético. La exposición a campos magnéticos como los de la resonancia nuclear magnética (RNM) y los sistemas estereotáxicos es considerada más segura que la de la radiación. En la actualidad la FDA manifiesta que la seguridad de la RNM para el feto no ha sido establecida, sin embargo, los datos actualmente disponibles en humanos no han demostrado efectos adversos.⁵⁵⁻⁵⁷ La exposición ocupacional dentro de un laboratorio de cateterismos es, en alguna forma, diferente. La estereotaxia tiene un campo magnético más pequeño que la RNM pero la exposición crónica como la que

tendría un operario del sistema de salud no ha sido adecuadamente estudiada.

Medidas para reducir la exposición a radiaciones. Las principales medidas para reducir la irradiación del personal de mujeres embarazadas dentro del laboratorio de cateterismos son similares a los objetivos de seguridad para minimizar la irradiación de los pacientes.⁵⁸ El NCRP requiere que la exposición a la radiación ocupacional se mantenga en el menor nivel posible.²³

La educación formal y el entrenamiento en protección son esenciales para crear conciencia de los riesgos de la radiación entre cardiólogos intervencionistas.⁵⁸⁻⁶³ En países como el Reino Unido es obligatorio que todos los cardiólogos intervencionistas que trabajan en un laboratorio de cateterismos reciban entrenamiento adecuado y obtengan un certificado del “Ionizing Radiation Medical Exposure Regulations” (IRMER) (Regulaciones para la Exposición Médica a las Radiaciones Ionizantes) antes de utilizar el equipo radiológico. Estas guías y regulaciones se desarrollaron para proteger a los empleados en forma adecuada de la exposición a la radiación utilizada en medicina. Una política similar está desarrollándose actualmente en la mayoría (no en todos) de los hospitales en los Estados Unidos. La mayoría de la exposición ocupacional es por radiación dispersa. La utilización óptima de técnicas de seguridad radiológica debería realizarse independientemente del estado gestacional de la operadora (Tabla 4).^{64,65} Los principales factores de protección están bajo el control del operador del equipo de imágenes. El manejo

TABLA 4. Estrategias para disminuir la exposición a la radiación.

Para todos los operadores	
Colimar con cuidado, especialmente con corazones grandes	
Acortar lo más posible cada adquisición de cine.	
Mantener el intensificador de imágenes lo más cerca posible al tórax del paciente	
Minimizar el número de series con cine	
Minimizar las proyecciones que posean mayor dispersión de radiación (Ej. OAI Craneal y OAD Craneal)	
Hacer uso de la ley del cuadrado inverso: colocarse a la mayor distancia de el haz de rayos y del paciente	
Uso óptimo de las barreras de protección, incluyendo un delantal de plomo y escudos de plomo	
Una inspiración profunda permite una mejor calidad de imagen, reduciendo la dosis de radiación	
Para las operadoras embarazadas	
Utilizar delantales de protección plomado de doble grosor.	
Delantales de plomo específicamente diseñados o un babero de maternidad (como capa de plomo adicional).	

TABLA 5. Manejo de la seguridad radiológica en trabajadoras embarazadas

La ley federal prohíbe la discriminación de las trabajadoras embarazadas
El embarazo debe ser declarado al empleador para ayudar a garantizar la protección del feto. Legalmente, la dosis fetal se acumula sólo después de la declaración.
Asegúrese de que las prendas de protección utilizadas durante todo el embarazo proporcionen por lo menos 0,5 mm de protección o equivalente.
Además del dosímetro utilizado habitualmente en el cuello, uno adicional debe ser provisto y utilizado a nivel de la cintura, por debajo del delantal de protección para monitoreo mensual de la dosis fetal.

de estos factores junto con elementos de protección adecuados puede reducir la exposición a niveles de un 0.8% de lo que se recibiría sin protección. Los protectores plomados pueden atenuar hasta el 99% de la radiación indirecta y en algunos estudios han reducido la exposición total en un 50 a 75%.³⁵ Trabajar en posición Pósterio-anterior (PA) y Oblicua Anterior Derecha (OAD) produce para el operador situado a la derecha del paciente una irradiación menor que la Oblicua Anterior Izquierda (OAI).⁶⁷ El aumento en la distancia entre el operador y la fuente de rayos X es importante debido a la relación inversa de la dosis con el cuadrado de la distancia. Ha sido demostrado que el incremento de la distancia de 40 cm a 80 cm disminuye la radiación secundaria a alrededor de un cuarto de la dosis de origen.⁶⁸ De igual modo, la reducción en la cantidad de cuadros por segundo de filmación puede impactar significativamente resultando en una disminución del 40 a 60% en la exposición ocupacional.^{69,70} Sin embargo esto debe ser balanceado con la necesidad de obtener imágenes adecuadas de alta calidad. El tipo de equipamiento, como los sistemas con intensificador digital está también asociado con menor exposición radiológica de pacientes y operadores cuando se los compara con los sistemas convencionales.^{71, 72} Innovaciones futuras como intervenciones asistidas por sistemas robóticos pueden conducir a grandes reducciones en la exposición de los operadores.⁷³

Prendas plomadas o equivalentes son utilizadas por los operadores de rayos X y son de importancia vital para atenuar la irradiación en el laboratorio de cateterismos. En un estudio de 30 operadores el promedio de dosis anual proyectada bajo estas protecciones fue de 0.9 mSv, pero fue superior (1.3 mSv) para individuos con protecciones de 0.5 mm, e inferior (0.4 mSv) para quienes utilizaron protecciones de 1.0 mm. ($p=0.002$).⁷⁴ Un delantal de 0.25 mm de espesor de plomo atenúa el 66% de la radiación primaria a 75 kVp y el 55% a 100 kVp; un delantal de 0.50 mm atenúa el 88% de la radiación primaria a 75 kVp y el 75% a 100 kVp; finalmente un delantal de 1 mm atenúa el 99% de la

radiación primaria a 75 kVp y el 94% a 100 kVp.²⁸ Sin embargo, desde que la gran mayoría de la exposición a radiaciones del personal de la sala de cateterismos obedece a radiación secundaria la información más importante es que un delantal con espesor plomado de 0.25 mm absorbe aproximadamente el 96% de la misma y un delantal con 0.5 mm absorbe un 98%.⁷⁵ El NCRP estima que la conversión de la dosis efectiva recibida bajo el delantal puede ser calculada desde un dosímetro de cuello utilizando un factor de conversión de 1/5.6.⁷⁶ El paño frontal de las polleras plomadas ofrece 0.5 mm de protección en posición frontal y los lados son de 0.25 mm ofreciendo así una protección reducida para la exposición desde los ángulos. Es importante prestar especial atención al tipo de delantal y al espesor del material de protección. Además, se debe tener en cuenta que durante el embarazo una superposición inadecuada de los paños frontales del delantal puede resultar en protección menos efectiva. Las mujeres embarazadas pueden utilizar un delantal común y cambiar a uno de mayor tamaño a medida que sea necesario o utilizar delantales fabricados específicamente para esta situación que puedan acomodarse al aumento de tamaño abdominal. Otra técnica incluye utilizar un delantal adicional para tener doble cobertura sobre el abdomen. Esto es equivalente a tener un delantal más grueso. Sin embargo, el aumento de peso podría aumentar el riesgo de problemas músculo-esqueléticos dorsales que a veces se presentan durante el embarazo.

Es importante que, una vez que una cardióloga que trabaja en un laboratorio de cateterismos queda embarazada ella no solo debe cumplir con todas las medidas hasta aquí planteadas sino que debe informar al encargado institucional de seguridad radiológica para asegurarse de que ella está siendo adecuadamente monitorizada a través de todo su embarazo. Ella puede además desear utilizar un dosímetro de lectura directa con el objetivo de estar segura de que su exposición diaria es mínima.

Prácticas Habituales de Seguridad y Certidumbres en los Cardiólogos Intervencionistas, una encuesta de la SCAI

Se envió una encuesta a 9.364 miembros de SCAI y respondieron 380 cardiólogos. De aquellos que respondieron el 7% tenían entre 25 a 34 años, el 27% entre 35 y 44, el 36% entre 45 y 54, el 24% entre 55 y 64 y el 7% más de 65 años. El 12% eran mujeres. La exposición a radiaciones influyó la elección de la sub-especialidad dentro de la cardiología en el 6%, lo que es probablemente una sub-estimación pues esta encuesta se realizó entre cardiólogas que practican la cardiología intervencionista. El 66% informó que usa un dosímetro de cuello siempre o la mayoría del tiempo, el 8% nunca y el 16% ocasionalmente. De estos especialistas en intervencionismo endovascular el 18% comunicó que no usa dosímetro preocupados porque excederían el límite de radiación permitido, y el 6% comunicó haber tenido que parar de trabajar en

algún momento a causa de haber excedido este límite de radiación. El 94% utilizó equipo de protección, incluyendo un cuello para tiroides, el 46% lentes y el 20% protección en las piernas.

Esta encuesta demostró que el 65% de los que respondieron trabaja en lugares en los que el grupo médico o el hospital permitiría a la mujer embarazada continuar en el laboratorio de cateterismos durante el embarazo, mientras que el 35% lo hace en lugares en que no lo harían. De las mujeres que respondieron y tienen hijos solo el 35% permaneció en el laboratorio de cateterismos realizando procedimientos durante el embarazo. No está claro si esto fue elección personal o directiva de la institución. De las mujeres que realizaron procedimientos durante el embarazo el 19% usó doble delantal durante el mismo. El embarazo no fue declarado a la institución en el 8% de los casos.

Derechos Legales de la Embarazada que Trabaja en el Sistema de Salud

En los Estados Unidos el Acta de Discriminación del Embarazo (Pregnancy Discrimination Act), un agregado a la sección de discriminación del Acta por los Derechos Civiles (Civil Rights Act) de 1964, fue aprobada en 1978 y fue la primera ley que protegió a la mujer de la discriminación laboral basada en su estado de gestación o fertilidad.^{77,78} A causa del riesgo potencial de ciertas exposiciones ocupacionales, los empleadores continuaron con la práctica de excluir de estas actividades a las mujeres que podrían quedar embarazadas.⁷⁹ Un ejemplo es Johnson Controls, un fabricante de acumuladores eléctricos donde había exposición ocupacional al plomo. Como los procesos voluntarios no lograron evitar que las mujeres embarazadas trabajen en un área con riesgo potencial para el niño, el fabricante estableció una política de requerir confirmación médica de la ineptitud para concebir a cualquier mujer que trabaje en un puesto con exposición al plomo. En 1984 hubo una demanda de UAW vs. Johnson Controls por discriminación, la que llegaría a la Suprema Corte.⁷⁷ En 1991 la Corte dictaminó que todas las políticas de protección fetal violan el título VII y que todas las políticas de protección radiológica deben ser aplicadas a todos los empleados independientemente de los embarazos o de la posibilidad de tenerlos. A pesar de esto algunos hospitales han continuado con políticas que prohíben que las mujeres que declaran estar embarazadas trabajen en sitios con radiaciones. Esto desalienta a que las empleadas declaren el hecho de estar embarazadas lo que protege a la institución de cualquier responsabilidad relacionada a la exposición si el embarazo no es declarado.⁷⁸ Esto desalienta además el adecuado monitoreo de la exposición a radiaciones durante el embarazo. Actualmente las resoluciones de la corte prohíben este tipo de políticas.

En el año 2005 la Comisión para la Igualdad de Oportunidades (US Equal Opportunity Commission) demandó al sistema sanitario Catholic Healthcare West en California por evitar que una enfermera matriculada

y una técnica radióloga trabajaran cerca del equipo de fluoroscopia en la sala de cateterismos cuando estaban embarazadas. La Corte del Distrito Central de California dictaminó que esto era discriminatorio y el hospital mantiene ahora una política de tolerancia de acuerdo con las recomendaciones del NCRP, limitando la exposición del feto a la radiación ocupacional a menos de 5 mSv (500 mrem) para todo el embarazo.

En los diferentes países hay una gran disparidad en la actitud hacia la trabajadora de salud embarazada. Italia tiene una de las posiciones más estrictas; allí la ley nacional (DL 25/11/1996 número 645-DLgs 26/03/2001 número 151) requiere que la mujer que trabaja con radiaciones debe comunicar su embarazo al director del hospital o al jefe de su práctica y, a partir de allí, se le prohíbe absolutamente entrar a la zona expuesta durante todo el embarazo.

En España, en el año 2002, el Consejo de Seguridad Nuclear y la Sociedad Española de Física Médica crearon un documento de consenso sobre embarazo y práctica hospitalaria. Basados en la ley en la que el feto es considerado un miembro público, el medio que rodea a la mujer embarazada debe garantizar que el feto no recibirá más de 1 mSv a lo largo de todo el embarazo. Actualmente la ley establece que la dosis total de radiación abdominal debería estar por debajo de los 2 mSv y, si esto no se cumple, ninguna mujer embarazada debería trabajar más en ese lugar. A causa de la posibilidad de que esto ocurra en el laboratorio de cateterismos, algunas instituciones restringen el trabajo de las embarazadas. Sin embargo, es muy probable que la dosis total de radiación recibida sea menor a 2 mSv lo cual deja la facultad de autorizar o no el trabajo en el laboratorio de cateterismos a discreción de la Oficina de Protección Radiológica de cada institución. En Japón, basados en el Acta de Cuidados Médicos (Artículo 30-27), la dosis de radiación para la región abdominal de trabajadoras sanitarias embarazadas debe ser menor a los 2 mSv para todo el embarazo. Una compañía de monitoreo de exposición a radiaciones comunicó que la dosis promedio para médicas japonesas era 0.2 mSv por año, por lo que se supone que la ley da un marco de seguridad para las trabajadoras sanitarias embarazadas sin limitar su práctica médica. Sin embargo, desde que los cardiólogos intervencionistas tienen mayor exposición a radiaciones que otros médicos, es necesario realizar un estudio focalizado en mujeres que practican esta especialidad en Japón.

En el Reino Unido la legislación actual para las personas expuestas a la radiación ocupacional y miembros del público está contenida en el IRR99 (Ionizing Radiation Regulations 1999) y está basada en el ICRP 60 (International Commission on Radiological Protection). Las recomendaciones más recientes de la ICRP (ICRP 103) fueron aprobadas en marzo del año 2007. Una directiva de la Unión Europea está en proceso de elaboración y se espera una nueva legislación para el año 2015. En IRR99 el límite de dosis para el abdomen de una mujer con capacidad reproductiva es de

13 mSv en cualquier trimestre. Esto podría resultar en una dosis fetal muy elevada y, en la práctica, los trabajadores hospitalarios en relación con radiaciones no están diferenciados y no deben recibir más de tres décimos de cualquiera de los límites de dosis. Esto significa que la dosis de todo el cuerpo no debe exceder los 6 mSv en cualquier año calendario. Una vez que la mujer declara el embarazo el feto pasa a ser tratado como miembro de la población general y la dosis debe estar limitada a 1 mSv.

En Canadá se espera que la mayoría del personal de laboratorios de cateterismos continúe durante el embarazo trabajando en su área habitual, participando en tareas de guardia y asistiendo en emergencias. Si la trabajadora así lo desea se le facilitan controles de dosimetría con mayor frecuencia. A medida que el embarazo progresa puede hacerse el esfuerzo de asignar la trabajadora a tareas en la sala de controles. Para médicas embarazadas esta es una elección personal bastante variable, generalmente gobernada por necesidades salariales y cuestiones mecánicas o problemas de salud a medida que avanza el embarazo.

A través del mundo hay gran variabilidad en cuanto a las expectativas y derechos de las mujeres que trabajan en el laboratorio de cateterismos. El análisis de los riesgos para niños en gestación sugiere que, en la mayoría de las circunstancias, el riesgo para el feto debería ser excepcionalmente pequeño. Un cuidadoso monitoreo del riesgo individual y la adherencia a los protocolos de seguridad radiológica deberían estar siempre garantizados y formar parte de todas las recomendaciones nacionales e internacionales.

CONCLUSIÓN

Para poder tomar una decisión informada en relación a cual será su nivel de exposición a radiaciones ocupacionales durante el embarazo la mujer debe tener un claro conocimiento del riesgo que corre el feto. La exposición fetal a radiaciones para la mayoría de las mujeres que trabajan en el laboratorio de cateterismos es extremadamente baja y bastante menor que los límites recomendados por el Consejo Nacional para la Protección Radiológica (NCRP). Si desea embarazarse y tiene dudas acerca de su propia exposición puede utilizar un dosímetro debajo del delantal plomado para determinar su nivel de exposición habitual antes de quedar embarazada. La exposición a radiaciones ocupacionales durante el embarazo puede ser significativamente reducida mediante la correcta forma y espesor de los delantales plomados, la utilización de pantallas de protección y aumentando al máximo la

distancia entre el operador y la fuente de radiación. Así, basados en la evidencia disponible, los riesgos hereditarios o adquiridos para el feto de la médicas y demás mujeres embarazadas dentro del laboratorio de cateterismos son extremadamente bajos siempre que se utilicen correctamente todas las medidas de seguridad y se respeten los límites de dosis estipulados. Por lo tanto, la preocupación acerca de la exposición a radiaciones no debería ser obstáculo para la elección de una carrera en cardiología intervencionista y tampoco se debería limitar arbitrariamente la elección de las trabajadoras por razones basadas en el ambiente de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Elizabeth Schueler y Kenneth Fetterling, Mayo Clinic, Rochester, MN y a Rosemary Nicholson, Imperial College Healthcare NHS Trust, Londres, Reino Unido, por la revisión y el análisis técnico de este manuscrito.

SUMMARY

Concerns regarding radiation exposure and its effects during pregnancy are often quoted as an important barrier preventing many women from pursuing a career in Interventional Cardiology

Finding the true risk of radiation exposure from performing cardiac catheterization procedures can be challenging and guidelines for pregnancy exposure have been inadequate. The Women in Innovations group of Cardiologists with endorsement of the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions aim to provide guidance in this publication by describing the risk of radiation exposure to pregnant physicians and cardiac catheterization personnel, to educate on appropriate radiation monitoring and to encourage mechanisms to reduce radiation exposure. Current data do not suggest a significant increased risk to the fetus of pregnant women in the cardiac catheterization laboratory and thus do not justify precluding pregnant physicians from performing procedures in the cardiac catheterization laboratory. However, radiation exposure among pregnant physicians should be properly monitored and adequate radiation safety measures are still warranted.

Key words: radiation physics; diagnostic cardiac catheterization percutaneous coronary intervention

REFERENCIAS

- Lloyd-Jones D, Adams RJ, Brown TM, Carnethon M, Dai S, De Simone G, Ferguson TB, Ford E, Furie K, Gillespie C, et al.; On behalf of the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics-2010 update. A

Report From the American Heart Association. *Circulation* 2010;121:e1-e170.

- Bernardi G, Padovani R, Morocutti G, Vano E, Malisan MR, Rinuncini M, Spedicato L, Fioretti PM. Clinical and technical determinants of the complexity of percutaneous

- transluminal coronary angioplasty procedures: Analysis in relation to radiation exposure parameters. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000;51:1-9.
3. Klein LW, Miller DL, Baiter S, Laskey W, Haines D, Norbasha A, Mauro MA, Goldstein JA. Joint inter-society task force on occupational hazards in the interventional laboratory. Occupational health hazards in the interventional laboratory: Time for a safer environment. *Catheter Cardiovasc Int* 2009;73:432-438.
 4. Pappas A, Cummings J, Dorbala S, Douglas PS, Foster E, Limacher MC. Survey results: A decade of change in professional life in cardiology: A 2008 report of the ACC women in cardiology council. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:2215-2226.
 5. Association of American Medical Colleges. FACTS-total graduates by U.S. medical school and sex, 2002-2008. AAMC available at <http://www.aamc.org/data/facts/2008/schoolgrads0208.htm>.
 6. Association of American Medical Colleges. FACTS-residency applicants by specialty and sex, 2002-2008. AAMC available at <http://www.aamc.org/data/facts/2007/erasspecialtybysex2007bb.htm>.
 7. McCollough CH, Schueler BA, Atwell TD, Braun NN, Regner DM, Brown DL, LeRoy AJ. Radiation exposure and pregnancy: When should we be concerned? *Radiographics* 2007;27:909-917; discussion 917-018.
 8. Brent RL. Saving lives and changing family histories: Appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 2009;200:4-24.
 9. Andreassi MG. The biological effects of diagnostic cardiac imaging on chronically exposed physicians: The importance of being non-ionizing. *Cardiovasc Ultrasound* 2004;2:25.
 10. Sternberg J. Radiation and pregnancy. *Can Med Assoc J* 1973; 109:51-57.
 11. Hagmar L, Bonassi S, Stromberg U, Brogger A, Knudsen LE, Norppa H, Reuterwall C. Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer: A report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health (ESCH). *Cancer Res* 1998;58:4117-4121.
 12. Hagmar L, Stromberg U, Bonassi S, Hansteen IL, Knudsen LE, Lindholm C, Norppa H. Impact of types of lymphocyte chromosomal aberrations on human cancer risk: Results from Nordic and Italian cohorts. *Cancer Res* 2004;64:2258-2263.
 13. Kneale GW, Stewart AM. Mantel-Haenszel analysis of Oxford data. II. Independent effects of fetal irradiation subfactors. *J Natl Cancer Inst* 1976;57:1009-14.
 14. Valentin J. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007;37(2-4):1-332.
 15. Wagner LK, Hayman LA. Pregnancy and women radiologists. *Radiology* 1982;145:559-562.
 16. National Council on Radiation Protection and Measurements. Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP report no 116, MD, 1993.
 17. ACOG Committee on Obstetric Practice. Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy. ACOG Committee opinion no 299. *Obstet Gynecol* 2004;104:647-651.
 18. Practice ACoO. ACOG Committee Opinion. Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy. *Obstet Gynecol* 2004;104:647-651.
 19. Fink D, Glick S. Misinformation among physicians about dangers of fetal x-ray exposure. *Harefuah* 1993;124:717-719.
 20. Bentur Y. 2007. Ionizing and nonionizing radiation in pregnancy. Medication safety in pregnancy and breastfeeding. Philadelphia: MacGraw Hill. pp 221-248.
 21. Brent RL. The effects of embryonic and fetal exposure to x-ray, microwaves, and ultrasound. *Clin Perinatol* 1986;13:615-648.
 22. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation protection for medical and allied health personnel. NCRP report no 105, MD, 1989.
 23. National Council on Radiation Protection and Measurements. Implementation of the principle of as low as reasonably achievable (ALARA) for medical and dental personnel. NCRP report no 107, MD, 1990.
 24. Stewart A, Kneale GW. Radiation dose effects in relation to obstetric x-rays and childhood cancers. *Lancet* 1970;1:1185-1188.
 25. Kneale GW, Stewart AM. Mantel-Haenszel analysis of Oxford data. I. Independent effects of several birth factors including fetal irradiation. *J Natl Cancer Inst* 1976;56:879-883.
 26. Rathapalan S, Bentur Y, Koren G. Doctor, will that x-ray harm my unborn child? *CMAJ Can Med Assoc J* 2008;179:1293-1296.
 27. Jankowski CB. Radiation and pregnancy. Putting the risks in proportion. *Am J Nurs* 1986;86:260-265.
 28. Bushong SC. 2004. Radiologic science for technologists: Physicsbiology and protection. St. Louis: Mosby Publishing
 29. Barish RJ. In Reply: In flight radiation exposure during pregnancy. *Obstet Gynecol* 2004;104:630.
 30. Bottollier-Depois JF, Chau Q, Bouisset P, Kerbau G, Plawinski L, Labeon-Jacobs L. Assessing exposure to cosmic radiation during long-haul flights. *Radiat Res* 2000;153(5 Part 1):526-532.
 31. World Health Organization. Cosmic radiation and air travel. Information sheet. November 2005.
 32. Angel E, Wellnitz CV, Goodsitt MM, Yaghmai N, DeMarco JJ, Cagnon CH, Sayre JW, Cody DD, Stevens DM, Primak AN, et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology* 2008;249:220-227.
 33. Hurwitz LM, Yoshizumi T, Reiman RE, Goodman PC, Paulson EK, Frush DP, Toncheva G, Nguyen GLB. Radiation dose to the fetus from body MDCT during early gestation. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:871-876.
 34. Manchikanti L, Cash KA, Moss TL, Rivera J, Pampati V. Risk of whole body radiation exposure and protective measures in fluoroscopically guided interventional techniques: A prospective evaluation. *BMC Anesthesiol* 2003;3:1-7.
 35. Vano E, Gonzalez L, Fernandez JM, Alfonso F, Macaya C. Occupational radiation doses in interventional cardiology: A 15-year follow-up. *Brit J Radiol* 2006;79:383-388.
 36. Amoroso G, Laarman GJ, Kiemeneij F. Overview of the transradial approach in percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Med* 2007;8:230-237.
 37. Rao SV, Cohen MG, Kandzari DE, Bertrand OF, Gilchrist IC. The transradial approach to percutaneous coronary intervention. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:2187-2195.
 38. Brasselet C, Blanpain T, Tassan-Mangina S, Deschilde A, Duval S, Vitry F, Gaillot-Petit N, Clement JP, Metz D. Comparison of operator radiation exposure with optimized radiation protection devices during coronary angiograms and ad hoc percutaneous coronary interventions by radial and femoral routes. *Eur Heart J* 2008;29:63-70.
 39. Lange HW, von Boetticher H. Randomized comparison of operator radiation exposure during coronary angiography and intervention by radial or femoral approach. *Catheter Cardiovasc Interv* 2006;67:12-16.
 40. Larrazet F, Dibie A, Philippe F, Palau R, Klausz R, Laborde F. Factors influencing fluoroscopy time and dose-area product values during ad hoc one-vessel percutaneous coronary angioplasty. *Br J Radiol* 2003;76:473-477.
 41. Brueck M, Bandorski D, Kramer W, Wleczorek M, Holtgen R, Tillmanns H. A randomized comparison of transradial versus transfemoral approach for coronary angiography and angioplasty. *JACC Cardiovasc Interv* 2009;2:1047-1054.
 42. Yigit F, Sezgin AT, Erol T, Demircan S, Tekin G, Katircibasi T, Tekin A, Muderrisoglu H. An experience on radial versus femoral approach for diagnostic coronary angiography in Turkey. *Anadolu Kardiyol Derg* 2006;6:229-234.
 43. Agostoni P, Biondi-Zoccai GG, de Benedictis ML, Rigattieri S, Turri M, Anselmi M, Vasanelli C, Zardini P, Louvard Y, Hamon M. Radial versus femoral approach for percutaneous coronary diagnostic and interventional procedures; Systematic overview and meta-analysis of randomized trials. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:349-356.
 44. Geijer H, Persliden J. Radiation exposure and patient experience during percutaneous coronary intervention using radial and femoral artery access. *Eur Radiol* 2004;14:1674-1680.
 45. Lo TS, Buch AN, Hall IR, Hildick-Smith DJ, Nolan J. Percutaneous left and right heart catheterization in fully anticoagulated patients utilizing the radial artery and forearm vein: A twocenter experience. *J Intervent Cardiol* 2006;19:258-263.
 46. Mercuri M, Xie C, Levy M, Valettas N, Natarajan MK. Predictors of increased radiation dose during percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol* 2009;104:1241-1244.
 47. Sanmartin M. The learning curve for transradial procedures. *Indian Heart J* 2008;60:A14-A17.
 48. Louvard Y, Lefeuvre T, Morice MC. Radial approach: What about the learning curve? *Cathet Cardiovasc Diagn* 1997;42:467-469.
 49. Pristipino C, Pelliccia F, Granatelli A, Pasceri V, Roncella A, Speciale G, Hassan T, Richichi G. Comparison of access-related bleeding complications in women versus men undergoing percutaneous coronary catheterization using the radial versus femoral artery. *Am J Cardiol* 2007;99:1216-1221.
 50. Saito S. An alarm for radialists from its evangelist. *Catheter Cardiovasc Interv* 2006;67:17.
 51. Maedera M, Verdunb FR, Stauffer JC, Ammann P, Rickli H. Radiation exposure and radiation protection in interventional cardiology. *Kardiovaskularne Medizin* 2005;8:124-132.
 52. Hayashi N, Sakai T, Kitagawa M, Inagaki R, Yamamoto T, Fukushima T, Ishii Y. Radiation exposure to interventional radiologists during manual-injection digital subtraction angiography. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1998;21:240-243.
 53. Kiemeneij F, Patterson MS, Amoroso G, Laarman G, Slagboom T. Use of the Stereotaxis Niobe magnetic navigation system for percutaneous coronary intervention: Results from 350 consecutive patients. *Catheter Cardiovasc Interv* 2008;71:510-516.
 54. Atmakuri SR, Lev EI, Alviar C, Ibarra E, Raizner AE, Solomon SL, Kleiman NS. Initial experience with a magnetic navigation system for percutaneous coronary intervention in complex coronary artery lesions. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:515-521.
 55. Chen MM, Coakley FV, Kaimal A, Laros RK Jr. Guidelines for computed tomography and magnetic resonance imaging use during pregnancy and lactation. *Obstet Gynecol* 2008;112(2 Part 1):333-340.

56. Clements H, Duncan KR, Fielding K, Gowland PA, Johnson IR, Baker PN. Infants exposed to MRI in utero have a normal paediatric assessment at 9 months of age. *Br J Radiol* 2000;73:190-194.
57. Kok RD, de Vries MM, Heerschap A, van den Berg PP. Absence of harmful effects of magnetic resonance exposure at 1.5 T in utero during the third trimester of pregnancy: A follow-up study. *Magn Reson Imaging* 2004;22:851-854.
58. Balter S, Moses J. Managing patient dose in interventional cardiology. *Catheter Cardiovasc Interv* 2007;70:244-249.
59. Vano E, Gonzalez L, Canis M, Hernandez-Lezana A. Training in radiological protection for interventionalists. Initial Spanish experience. *Br J Radiol* 2003;76:217-219.
60. Kuon E, Glaser C, Dahm JB. Effective techniques for reduction of radiation dosage to patients undergoing invasive cardiac procedures. *Br J Radiol* 2003;76:406-413.
61. Chambers CE. Dosing radiation: Limiting the invisible toxicity. *Catheter Cardiovasc Interv* 2008;71:799.
62. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2000;30:7-67.
63. Vano E, Gonzalez L, Faulkner K, Padovani R, Malone JF. Training and accreditation in radiation protection for interventional radiology. *Radiat Prot Dosimetry* 2001;94:137-142.
64. Albridge HE, Chrisholm RJ, Dragatakis L, Roy L. Radiation safety in the cardiac catheterization laboratory. *Can J Cardiol* 1997;13:459-467.
65. Miller SW, Castronovo FP Jr. Radiation exposure and protection in cardiac catheterization laboratories. *Am J Cardiol* 1985;55:171-176.
66. Kuon E, Schmitt M, Dahm JB. Significant reduction of radiation exposure to operator and staff during cardiac interventions by analysis of radiation leakage and improved lead shielding. *Am J Cardiol* 2002;89:44-49.
67. Kuon E, Dahm JB, Empen K, Robinson DM, Reuter G, Wucherer M. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1420-1428.
68. Vano E. Radiation exposure to cardiologists: How it could be reduced. *Heart* 2003;89:1123-1124.
69. Steffenino G, Rossetti V, Ribichini F, Dellavalle A, Garbarino M, Cerati R, Norbiato A, Uslenghi E. Short communication: Staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed. *Br J Radiol* 1996;69:860-864.
70. Nickloff EL, Lu ZF, Dutta A, So J, Balter S, Moses J. Influence of flat-panel fluoroscopic equipment variables on cardiac radiation doses. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2007;30:169-176.
71. Suzuki S, Furui S, Kobayashi I, Yamauchi T, Kohtake H, Takeshita K, Takada K, Yamagishi M. Radiation dose to patients and radiologists during transcatheter arterial embolization: Comparison of a digital flat-panel system and conventional unit. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185:855-859.
72. Suzuki S, Furui S, Yamaguchi I, Yamagishi M, Abe T, Kobayashi I, Haruyama T. Entrance surface dose during three-dimensional imaging with a flat-panel detector angiography system. *J Vasc Interv Radiol* 2008;19:1361-1365.
73. Chen SJ, Hansgen AR, Carroll JD. The future cardiac catheterization laboratory. *Cardiol Clin* 2009;27:541-548.
74. Marx MV, Niklason L, Mauger EA. Occupational radiation exposure to interventional radiologists: A prospective study. *J Vasc Interv Radiol* 1992;3:597-606.
75. Johnson LW, Moore RJ, Balter S. Review of radiation safety in the cardiac catheterization laboratory. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1992;25:186-194.
76. National Council on Radiation Protection and Measurements. Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure low-let radiation. NCRP report no 122, MD, 1995.
77. Feinberg JS, Kelley CR. Pregnant workers. A physician's guide to assessing safe employment. *West J Med* 1998;168:86-92.
78. Hood J. The pregnant health care worker-An evidence-based approach to job assignment and reassignment. *AAOHN J* 2008; 56:329-333.
79. Morello-Frosch RA. The politics of reproductive hazards in the workplace: Class, gender, and the history of occupational lead exposure. *Int J Health Serv* 1997;27:501-521.