

RIESGOS DE LA RADIACIÓN IMAGINOLÓGICA EN NIÑOS

DONALD P. FRUSH, MD, FACR, FAAP (1)

1. Donald P. Frush, M.D. FACR, FAAP Professor of Radiology and Pediatrics Chief, Division of Pediatrics Radiology Faculty, Medical Physics Program Duke University Medical Center.

Email: donald.frush@duke.edu

Palabras clave : dosis de radiación / niños, resonancia magnética, radiación ionizante tomografía computada.

INTRODUCCIÓN

La imagenología médica tiene un valor y función extremadamente importantes en el cuidado del niño enfermo o dañado. Esta incluye el diagnóstico de emergencia que abarca aquellas condiciones que amenazan la vida, así como también el apoyo en el manejo de los pacientes, a la manera de un adecuado triage que promueva el uso eficiente y juicioso de los recursos médicos. Por ejemplo, la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (MR) han sido consideradas como uno de los avances médicos más relevantes de los últimos 30 años, según una encuesta realizada a médicos (1). Aunque gran parte del material de este artículo analizará los riesgos específicos de la radiación ionizante relacionados con las imágenes médicas, no se debe perder de vista que, cuando se utilizan apropiadamente, los beneficios de las imágenes médicas superan con creces los riesgos reales y potenciales.

Gran parte de las imágenes médicas depende del uso de Rayos X, un tipo de radiación ionizante, utilizado para la formación de las imágenes. Las modalidades generales que usan Rayos X son la radiografía, la fluoroscopia (incluida la angiografía), la tomografía computarizada (CT, en inglés) y la imagenología nuclear (también conocida como medicina nuclear). Otras modalidades que no utilizan radiación ionizante y que se usan comúnmente en radiología son la ecografía y la resonancia magnética. La radiación, en dosis relativamente altas, tiene efectos biológicos conocidos. Estos efectos incluyen la inducción de cáncer. Casi sin excepción, las imágenes médicas diagnósticas utilizan niveles bajos de radiación, y los tipos de efectos biológicos y riesgos potenciales de cáncer pueden ser diferentes (como se analizará más abajo). El tema de los riesgos de la

radiación en las imágenes médicas es también oportuno, especialmente en los Estados Unidos donde ha existido un aumento de la atención del público principalmente a través de los medios de comunicación, reportando ahora sobre las dosis de radiación de las imágenes médicas y sus efectos biológicos. Estos reportes incluyen la pérdida del cabello provocada por imágenes de perfusión (un tipo de examen de tomografía computarizada) (2), dermatitis por radiación provocada por tomografía computarizada en un niño (3), dosis relativamente altas de radiación en radiografías para evaluación dental (4), y dosis excesivas de radiación por el inapropiado uso de la radiografía (5). Debido a que los efectos relacionados con la radiación, especialmente el cáncer, pueden no ser evidentes por años, incluso décadas, la preocupación puede ser de largo plazo. He recibido consultas de padres, incluso años después de la evaluación de imágenes, que se muestran preocupados acerca de lo que han escuchado sobre los riesgos del cáncer y la radiología en los medios. Recientemente se publicó en Lancet la primera investigación científica relacionando tomografía computarizada en niños con cáncer (6).

Considerados juntos, la importancia de las imágenes médicas que utilizan radiación ionizante, el uso continuo y en aumento tanto en niños como en adultos y la preocupación persistente y frecuentemente generalizada por la posibilidad a largo plazo de sufrir cáncer relacionado a radiación ionizante en los niveles de la radiología diagnóstica, estos elementos necesitan la comprensión razonable de la relación riesgo – beneficio de las imágenes médicas para diagnóstico. Este conocimiento básico es necesario para todos los médicos, no sólo para aquellos con experiencia en imágenes (como por ejemplo, los radiólogos). Estos médicos, tales como pediatras o médicos de urgencia, potencialmente estarán involucrados en discusiones con colegas sobre los riesgos y beneficios en el manejo de un paciente, así como también en conversaciones con pacientes sobre potenciales riesgos y beneficios.

Este tema de los riesgos de la radiación en imágenes médicas se puede aplicar en todas las edades. Sin embargo, es especialmente importante en los niños. Los niños son relativamente más vulnerables a la radiación que los adultos. Esto es en parte debido al hecho de que tienen una mayor expectativa de vida durante la cual se pueden manifestar un cáncer potencialmente producido por radiación, el que puede ser para toda la vida. Además, el cuidado de niños puede ser más complicado que el de los adultos. Para aquellos médicos o personal de la salud que no están familiarizados con el espectro de las enfermedades pediátricas y manifestaciones de anomalías, el umbral para requerir de evaluación imaginológica puede ser más bajo. Para los expertos en imaginología, la falta de familiaridad con técnicas especiales frecuentemente usadas para maximizar la calidad y minimizar la radiación puede tener como resultado estudios que contengan dosis de radiación excesiva para los niños. Para todo el personal de salud, existe ansiedad especialmente cuando se manejan niños gravemente enfermos o heridos lo que puede afectar la elección frente a las estrategias de imágenes (ejemplo, umbrales más bajos de indicación de exámenes) (7). Por estas razones, el siguiente material presenta un resumen de la información sobre los riesgos de radiación en las imágenes médicas.

RECURSOS ADICIONALES EN LA LITERATURA

La siguiente lista se entrega en este punto para hacer que los que están interesados, sepan que existen excelentes recursos de información adicional para la discusión que viene a continuación. Para las siguientes secciones generales, el lector es referido a referencias seleccionadas (nótese que habrá traslape de este material y esta división en categorías es un poco arbitraria): biología de radiación: Hall y Brenner (8); justificación para las imágenes médicas: Hendee y colaboradores (9); Revisión general de tomografía computada y radiación: Hricak y colaboradores (10); Dosis de radiación en exámenes de imágenes médicas diagnósticas en adultos: Mettler y colaboradores (11); Dosis de radiación en exámenes de niños: Fahey y colaboradores (12); Revisión actualizada sobre los riesgos de cáncer de las imágenes diagnósticas en adultos, niños, y en estudios experimentales con animales: Linet (13); Controversias en estimación del riesgo en imágenes médicas: Hendee, O'Connor (14); Estrategias para reducir las dosis de las imágenes médicas que utilizan radiación ionizante en niños: Frush (15), Nieselstein (16); Material educativo (incluyendo material específico para padres y personal de la salud no relacionados con la imaginología); Sitio web de Image Gently (www.imagegently.org) para niños y para adultos, Image Wisely (www.imagewisely.org); Evaluación basada en la evidencia de los riesgos y beneficios de las imágenes médicas en niños usando radiación ionizante: Frush, Applegate (17).

BIOLOGÍA DE LA RADIACIÓN

Los efectos biológicos de la radiación se derivan principalmente del daño al ADN. La partícula de Rayos X, un fotón, libera energía cuando interactúa con un electrón. El electrón puede actuar ya sea directamente sobre el ADN (efecto o acción directa) o puede interactuar sobre una

molécula de agua teniendo como resultado un radical libre, que a su vez, puede dañar el ADN (acción o efecto indirecto). El efecto indirecto es el efecto más dominante, consiste en aproximadamente 2/3 de las interacciones del fotón. El ADN puede verse dañado a través de roturas en una cadena simple o en la cadena doble. Las roturas de la cadena simple generalmente se reparan bien con mínimos efectos biológicos. En cambio, las roturas en las dos cadenas de ADN (las cuales están muy próximas) son más problemáticas de reparar y tienen una función subyacente que puede producir muerte celular o alteración en la función celular que eventualmente puede desarrollar un cáncer. Estas reparaciones inapropiadas que resultan en aberraciones estables pueden iniciar uno de los múltiples pasos de la carcinogénesis inducida por radiación. Cabe destacar que hay algunas sustancias químicas que sirven como radioprotectoras, que han sido revisadas primariamente en el contexto de la radioterapia oncológica (18). A pesar de que no son todavía aplicables al común de la radiología diagnóstica, estos agentes estabilizadores de ADN representan un modelo de radioprotección a nivel celular.

La radiación produce dos efectos biológicos: efectos el determinístico y efectos estocásticos. Prácticamente para todas las imágenes diagnósticas (tomografía computarizada, medicina nuclear, radiografía, y fluoroscopia), las dosis de radiación se encuentran en el nivel de los efectos estocásticos. Los efectos estocásticos son generalmente disrupciones que resultan en cáncer o anormalidades heredables. Para imágenes diagnósticas la discusión está limitada casi exclusivamente a su efecto potencial para inducir cáncer; efectos heredables (por ejemplo, alteraciones en gametos) no han sido demostrados con los niveles de radiación diagnósticas en humanos. Para los efectos estocásticos, el riesgo se incrementa con la dosis, pero la severidad de este efecto (por ejemplo, la severidad del cáncer) no se incrementa. Además, no existe límite para este riesgo (véase la siguiente discusión en torno a modelos de riesgos de radiación basados en las dosis).

El otro efecto biológico es determinístico. Los efectos determinísticos incluyen cataratas, dermatitis (quemaduras en la piel), y pérdida de pelo (caída del cabello). Con los efectos determinístico, la cantidad de radiación determina la gravedad del efecto. Por ejemplo a mayor cantidad de radiación habrá mayor caída del cabello. Con los efectos determinísticos, existe un límite. Por debajo de este límite la injuria no se produce. Los efectos determinísticos pueden verse en procedimientos intervencionales prolongados y ciertamente, con las dosis aportadas por la radioterapia oncológica. Los efectos determinísticos salvo raras excepciones que incluyen errores técnicos, no se producen durante los exámenes diagnósticos.

DOSIS DE RADIACIÓN

Una breve revisión de las unidades de radiación será muy útil para analizar el material que sigue. Primero, la radiación puede ser medida como exposición; sin embargo esto no es útil en determinar riesgo ya que nada dice con respecto a cuánta radiación reciben realmente los órganos en riesgo. El riesgo del paciente individual para hacer un

cáncer en un órgano específico puede ser determinado si se conoce la absorción de la radiación, o dosis absorbida, medida en Gray (Gy). Obviamente, esto no puede ser determinado durante los exámenes médicos rutinarios para un paciente individual pero existen estimaciones de dosis para diferentes órganos. El impacto biológico en el tejido (o dosis equivalente, medida en Sieverts, Sv) puede variar dependiendo del tipo de radiación entregada. Para imágenes diagnósticas utilizando Rayos X, y el factor de corrección es cercano a 1.0 de modo que la dosis equivalente (Sv) se considera igual a la dosis absorbida en Gy (en las imágenes diagnósticas la medida es mili Gy, o mGy puesto que esta es la escala de dosis utilizada). La unidad final de absorción de radiación es la dosis efectiva (en Sv, o mSv en el rango de imaginología diagnóstica) que es comúnmente utilizada como mediada en la discusiones sobre dosis en las imágenes diagnósticas.

La dosis efectiva corresponde a la suma de las dosis de los órganos expuestos (en mSv) multiplicadas por un factor de corrección relacionado con la radiosensibilidad del órgano expuesto.

La dosis efectiva es una unidad de dosis muy general. Es similar a referirse al promedio anual de lluvia caída en un país por año. Este promedio de lluvia caída incluye variaciones regionales y de las estaciones durante el año en una sola cifra, pero no hay manera de obtener de este promedio, por ejemplo, información específica sobre la lluvia caída durante los meses de verano. La dosis efectiva (derivada de experimentos y modelos de dosis en los órganos, no permite en la práctica medir dosis en el interior de un órgano durante la realización de un examen de imágenes) representa un equivalente de la dosis de todo el cuerpo (como el promedio de lluvia anual) de lo serían exposiciones regionales.

Por ejemplo, una TC del cerebro puede resultar en una dosis efectiva de 2.0 mSv. Una TC de pelvis puede resultar en una dosis efectiva de 4.0 mSv. Esto significa que la exposición total del cuerpo de una TC de pelvis es equivalente al doble de una TC cerebral. Sin embargo, es fácil ver que cualquier riesgo potencial de la TC cerebral sobre el cristalino, por ejemplo, va a ser mucho mayor que el de la TC de pelvis. Aunque la dosis efectiva continúa siendo la medida más utilizada en las discusiones sobre dosis de radiación ionizante en imágenes en el ámbito clínico, aún sigue siendo una medida problemática y a menudo mal interpretada (19-21).

Las dosis para las distintas modalidades de imaginología pueden variar ampliamente, con un factor mayor de cien. En general, la radiografía de extremidades como el tobillo, la muñeca, o el codo, proporcionan dosis muy bajas, en cambio la tomografía computarizada y los estudios de imaginología nuclear tienden a proporcionar dosis relativamente más altas. Nuevamente, estas son dosis efectivas, o equivalentes a cuerpo completo, lo que permite que las numerosas modalidades de imágenes sean comparadas respecto de los riesgos en la población general pero no respecto a riesgos en el paciente individual. Las dosis dependerán de diversos factores técnicos utilizados para diferentes estudios imaginológicos. En particular, las dosis de fluoroscopia y angiografía pueden variar

dependiendo de la indicación del examen, o de los hallazgos durante el procedimiento. Un estudio radiológico contrastado del tubo digestivo alto seguido por otra serie en el intestino delgado en general tendrá una dosis fluoroscópica mayor que la utilizada en una uretrocistografía en niños. Las dosis para estudios de medicina nuclear pueden ser bastante bajas o relativamente altas (11, 12). Las dosis de un solo examen de TC pueden ser tan bajas con valores menores a 1.0 mSv hasta valores de 10-20 mSv (11, 13, 22).

UTILIZACIÓN DE LAS IMÁGENES: MODELOS DE USO

En general, se efectúan cerca de 4 mil millones de evaluaciones de imaginología diagnóstica que utilizan radiación ionizante en el mundo (23). Dada la actual población mundial, esto significa que se efectúa más de un examen por individuo en el mundo año por medio. Obviamente, no todos se hacen exámenes, y varias poblaciones de pacientes tendrán un número significativo de exámenes al año. Si uno observa el uso de imaginología médica en Estados Unidos, se ve que ha aumentado sustancialmente en los últimos 30 años (24). Anteriormente, la dosis de radiación anual per cápita era alrededor de 3,5 mSv, de la cual 85% provenía de radiación ambiental (por ejemplo, el gas radón, radiación cósmica, radioisótopos que ocurren en forma natural). Antes de 1980, se estimaba que una dosis efectiva de 0,53 mSv (cerca del 15% del total provenía de las imágenes médicas. Actualmente corresponde a 3.0 mSv (23), un aumento cercano al 600%. Actualmente, en los Estados Unidos, el 48% de toda la radiación de la población proviene de las imágenes médicas. Cerca de la mitad de este porcentaje proviene de la TC, y la gran mayoría de radiación médica proviene de la combinación de TC y de la medicina nuclear. De hecho, la TC da cuenta hoy en Estados Unidos de cerca del 25% de la exposición por radiación per cápita anual. Esto se debe principalmente al aumento de las imágenes médicas más que al aumento de la dosis por procedimiento. Las razones para este aumento en el uso de imágenes son complejas, pero como se observó anteriormente, la TC ha proporcionado una herramienta cada vez más valiosa en múltiples escenarios, incluyendo la evaluación de trauma, especialmente el daño cerebral, en la evaluación de la enfermedad cardiovascular, incluyendo tromboembolia, y otras anomalías cardiovasculares (tales como enfermedades cardíacas infantiles adquiridas o congénitas), y en la evaluación clínica del dolor abdominal agudo, como apendicitis.

Actualmente, en los Estados Unidos, se realizan cerca de 80 millones de exámenes de TC al año (25) lo que equivale a aproximadamente a una TC anual cada cuatro individuos. En Estados Unidos el uso de las imágenes médicas también es frecuente en los niños. Por ejemplo, Dorfman y colaboradores destacaron que luego de un período de tres años en una población estadounidense integrada por más de 350.000 niños dentro de una red de salud, casi el 43% se sometió al menos a un procedimiento de imaginología diagnóstica usando radiación ionizante, y cerca del 8% se hizo al menos 1 examen de TC (26). Larson demostró el aumento en cinco veces del número de exámenes de TC, de 330.000 a más de 1,65 millones entre 1995 y 2008 (27).

Aunque estos datos indican que el uso de imaginología médica en niños ha aumentado significativamente en las últimas décadas, otros datos indican que al menos el uso de TC en niños ha disminuido durante los últimos años, (28, 29), hecho que requiere mayor investigación para determinar si se trata de una tendencia sostenida.

ESTIMACIONES DE RIESGO DE CÁNCER CAUSADAS POR RADIACIÓN IONIZANTE EN IMAGINOLOGÍA MÉDICA

En general, las estimaciones de riesgo producidas por las imágenes médicas tanto en adultos como en niños provienen de cuatro fuentes que consisten en los estudios en poblaciones expuestas a las bombas atómicas (Fundación Investigadora de Efectos Radiológicos – RERF, por su sigla en inglés), exposiciones ocupacionales, exposiciones médicas, y exposiciones ambientales, tales como el accidente de Chernobyl. Un excelente análisis de la RERF se puede encontrar en el artículo escrito por Linet (13). Los numerosos reportes que han salido de estos artículos han conformado la fuente más citada para determinar riesgos, el Comité para los Efectos Biológicos de Radiación Ionizante (BEIR, por su sigla en inglés) de la Academia Nacional de Ciencias. El informe más reciente es el BEIR VII. Aunque este último es la base para muchas estimaciones de riesgo, incluyendo las imágenes médicas, el informe tiene algunos problemas. Tal como lo informó Hendee y colaboradores, "...muchos artículos que utilizan el informe BEIR VII para el pronóstico de la incidencia de cáncer y las muertes a partir de estudios médicos, no son capaces de reconocer las limitaciones del BEIR VII y aceptan las estimaciones del riesgo como un hecho científico más que como una opinión de consenso de un comité" (14). Más que una discusión detallada de las limitaciones del Informe BEIR VII, probablemente es más importante entender de una buena vez que las estimaciones del riesgo de cáncer, en los niveles de radiación proporcionados por las imágenes médicas, siguen siendo especulativos. También estimamos la dosis proporcionada por la imaginología (recuérdese la discusión sobre dosis efectiva mencionada arriba), de modo que hay muchas estimaciones involucradas en la determinación del riesgo. Sabemos que en dosis efectivas mayores que 100 mSv, hay riesgo significativo de cáncer. Menos que eso, y dentro del rango de exámenes imaginológicos médicos, hay debate (10, 14, 30).

El modelo más ampliamente aceptado que muestra riesgo de inducción de cáncer relacionado con la dosis (estimaciones) es un modelo lineal, no de umbral (LNT) (31, 32). Básicamente sabemos que a niveles altos de radiación, es alto riesgo de cáncer (sobre una dosis efectiva de 100 mSv). Este modelo asume que el riesgo es sólo cero cuando no hay dosis de radiación. Empezando en el punto cero, se dibuja una línea hacia puntos más altos, generalmente sobre 100 mSv. Este no es el único modelo y ha habido un cierto respaldo de la literatura a otros modelos tales como los basados en hormesis, donde hay un beneficio (por ejemplo, funciones protectoras tales como la estabilidad/repación mejorada del ADN) a dosis o niveles bajos, con riesgos que se ven sólo en dosis o niveles más altos (33). Como regla, la comunidad médica y científica acepta el modelo lineal sin umbral como un modelo "conservador"; es

decir, asumiendo que este modelo constituye una postura relativamente segura en comparación con asumir que niveles bajos de radiación no tienen efectos biológicos.

No hay diferencia entre cáncer inducido por radiación y los mismos tipos de cáncer ocurridos naturalmente. Por ejemplo, la leucemia se produce en un mínimo de 2-5 años, hasta 20 años luego de la exposición a la radiación; los tumores sólidos se desarrollan en un mínimo de 10 años, y los riesgos permanecen por un largo período (13).

Los riesgos de radiación dependerán de la edad, género, y otros factores, incluyendo la susceptibilidad genética, así como si la exposición es prolongada o aguda. Aunque algunas personas destacan que existe un riesgo significativo de desarrollar cáncer con dosis menores a 100 mSv (30), otros expertos, resumidos recientemente por Hendee y colaboradores (14) a través de 2 sociedades de profesionales médicos declaran tener desconfianza de dichas proyecciones. La Asociación Estadounidense de Físicos en Medicina (AAPM, por su sigla en inglés) declara que "los riesgos de las imágenes médicas en pacientes con dosis menores a 50 mSv en el caso de procedimientos únicos, o menores a 100 mSv para procedimientos por períodos cortos son demasiado bajas para ser detectadas y pueden no existir". La Sociedad Física de Salud (*Health Physics Society*)¹ emitió una declaración médica indicando que "*Health Physics Society* no recomienda estimaciones cuantitativas de riesgos de salud con dosis individuales bajo de [50mSv] en un año, o una dosis durante la vida de [100 mSv] por sobre la recibida de las fuentes naturales. Para dosis menores a [50-100 mSv], los riesgos de efectos en salud son o muy pequeños para ser observados o no existen".

Los riesgos proyectados de cáncer a partir de las imágenes médicas incluyen las declaraciones de Brenner y Hall en el *New England Journal of Medicine* que dicen que entre 1% y 2% de todos los cánceres de los Estados Unidos podrían ser causados solamente por la TC (34). Además, en una investigación publicada en los Archives of Internal Medicine en 2009, Berrington y colegas destacaron que, con el uso actual de la TC en los Estados Unidos, se podrían producir cerca de 15.000 cánceres fatales causados por solo un examen de TC (35).

En el 2009, se publicó en *Cancer* un excelente artículo de lo que se sabe sobre las imágenes médicas y riesgos de cáncer, publicados por Linet y colaboradores. En este artículo, los autores destacaron que "... estudios epidemiológicos han... vinculado Rayos X diagnósticos con aumento de cáncer en pacientes, incluyendo pequeños incrementos de leucemia pediátrica en los hijos(as) de madres sometidas a Rayos X durante el embarazo, y mayores riesgos de cáncer de mama en mujeres con tuberculosis que habían sido monitoreadas con fluoroscopia, y en mujeres con escoliosis que habían sido evaluadas con sesiones repetidas de Rayos X" (13). De este modo, se produjo una detallada discusión sobre estas investigaciones, ampliamente citadas por décadas. Además, los autores analizaron los riesgos de cáncer asociados con la radiación externa procedente de fuentes diferentes

a los procedimientos radiológicos diagnósticos (destacando estudios epidemiológicos claves), resumieron estudios epidemiológicos de riesgos de cáncer asociados con procedimientos de radiología diagnóstica incluyendo Rayos X en embarazadas como riesgo de cáncer pediátrico, Rayos X en la infancia y adolescencia con el riesgo de cáncer pediátrico y durante la vida, Rayos X en adultos y riesgos de cáncer, y estudios con animales. En el caso de riesgos de cáncer causados por Rayos X en niños y adolescentes durante la infancia o durante la vida los autores concluyeron que los estudios han producido "resultados ambivalentes" que se especula son debidos a limitaciones metodológicas, incluyendo tamaños de muestras pequeños, así como un corto seguimiento.

Más recientemente, un estudio realizado en niños en el Reino Unido que se sometieron a exámenes de TC publicado en Lancet por Pearce y colegas, fue el primero en reportar una relación entre los exámenes de TC y cáncer. En esta investigación, hubo una importante relación de ambos con leucemia y cáncer cerebral. Por ejemplo, un examen de TC cerebral realizado en la primera década de vida fue proyectado como la causa de aumento de cáncer cerebral por cada 10.000 escáneres. Debido a que esta es la primera asociación publicada, aceptar ahora que hay una vinculación probada a partir de una sola investigación es imprudente y en contra las normas científicas. Actualmente se están efectuando investigaciones en poblaciones de pacientes más extensas en diferentes países (6).

ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LAS DOSIS.

Un análisis exhaustivo de estrategias está fuera del alcance de este artículo, pero puede encontrarse en diversas publicaciones recientes (15, 16, 36, 37). Las estrategias están destinadas a aspectos importantes sobre la protección radiológica: justificación y optimización. La justificación significa que el examen está indicado. Cuando un examen está indicado, el

examen debe optimizarse, y se deben utilizar varias técnicas y parámetros conscientes de la dosis. En el caso de los niños, éstos incluyen ajustes apropiados para la edad, minimizar el número de proyecciones y el tiempo de fluoroscopia, dosis apropiadas de radionúclidos, y minimizar los exámenes multifase de TC. Nuevas técnicas, incluyendo las estrategias para la reducción significativa del ruido posiblemente proporcionarán más oportunidades de reducir la dosis en exámenes de TC.

¿QUÉ SE NECESITA AÚN?

Todos los profesionales de la salud deben seguir trabajando unidos para asegurar datos basados en evidencia adecuados para la utilización de las imágenes. Los materiales educativos son extremadamente valiosos y proporcionan información sobre el uso apropiado, aprovechando las oportunidades de reducción de dosis. Mayores avances técnicos de las modalidades de imágenes que utilicen radiación ionizante también generarán una mejor protección radiológica de los pacientes. El consentimiento de los riesgos de radiación por parte de los médicos también ha sido tema de discusión (38). El informe, monitoreo, y registro de dosis están aumentando la responsabilidad de la comunidad radiológica (39) y requiere un voto de consenso de todos los involucrados.

CONCLUSIONES

Las imágenes médicas son una herramienta invaluable en el cuidado de los niños. Aunque hay efectos biológicos conocidos por radiación médica en dosis altas, los riesgos a niveles casi exclusivamente utilizados en diagnóstico especialmente en niños, son especulativos. El personal de la salud, con una opinión informada y fundamentada entendimiento lo que sabemos y lo que no sabemos, pueden tener con sus pares mejores discusiones así como también con sus pacientes y familias, para mejorar el cuidado del paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fuchs VR, Sox HC. Physicians' views of the relative importance of thirty medical innovations Health Affairs, 20, no.5 (2001):30-42
2. http://www.nytimes.com/2011/03/06/health/06radiation.html?_r=1 (last accessed 7-3-12)
3. <http://www.nytimes.com/2009/10/16/us/16radiation.html> (last accessed 7-3-12)
4. <http://www.nytimes.com/2010/11/23/us/23scan.html?r=1&pagewanted=allNY> (last accessed 7-3-12)
5. <http://www.nytimes.com/2011/02/28/health/28radiation.html?pagewanted=all> (last accessed 7-3-12)
6. Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. The Lancet, Early Online Publication, 7 June 2012
7. Frush DP, Frush KS. In a new kind of light: patient safety in pediatric radiology. Clin Ped Emerg Med 7:255-260, 2006.
8. Hall EJ. Radiation biology for pediatric radiologists. Pediatr Radiol 2009; 39(1):S57-S64.
9. Hendee WR, Becker GJ, Borgstede JP, et al. Addressing overutilization in medical imaging. Radiology 257: 240-245, 2010
10. Hricak H, Brenner DJ, Adelstein SJ, et al. Managing radiation use in medical

imaging: a multifaceted challenge. *Radiology* 258:889-905, 2011

11. Mettler FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog; *Radiology*. 2008; 248(1): 254-63.
12. Fahey FH, Treves ST, Adelstein SJ. Minimizing and communicating radiation risk in pediatric nuclear medicine. *J Nucl Med* 2011; 52:1240-51
13. Linet M.S. et al., 2012, Cancer risks associated with external radiation from diagnostic imaging procedures, *CA: A Journal for Cancer Clinicians*, 62(2): 75-100
14. Hendee WR, O'Conner MK. Radiation risks of medical imaging: separating fact from fancy. *Radiology* 2012; 264: 312-321
15. Nievelstein RAJ, van Dam I, van der Molen A. Multidetector CT in children: current concepts and dose reduction strategies. *Pediatr Radiol* 40:1324-1344, 2010
16. Frush DP. Chapter 26: MDCT in Children: Scan Techniques and Contrast Issues. *MDCT from Protocols to Practice*, Kalra MK, Saini S, Rubin GD, eds, 333-354, 2008
17. Frush DP. Evidence-based Imaging: Improving the Quality of Imaging in Patient Care. *Radiation Risk from Medical Imaging: A Special Need to Focus on Children*. In: Medina L, Blackmore C, Applegate K, eds. Springer, New York, NY, 27-41, 2011.
18. Brink JA, Boice JD. Science to practice: can antioxidant supplements protect against the possible harmful effects of ionizing radiation from medical imaging? *Radiology* 2012; 264: 1-2
19. Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *British Journal of Radiology* 80:639-647, 2007
20. McCollough CH, Christner JA, Kofler JM. How effective is effective dose as a predictor of radiation risk? *AJR Am J Roentgenol* 194:890-896, 2010
21. Durand. A rational approach to the clinical use of cumulative effective dose estimates. *Am J Roentgenol* 197(1):160-2, 2011.
22. Brody AS, Frush DP, Huda W, Brent RL, American Academy of Pediatrics Section on Radiology. Radiation risk to children from computed tomography. *Pediatrics* 120(3):677-82, 2007.
23. http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_GA_Report_corr2.pdf (last accessed 7-4-12)
24. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. NCRP Report No. 160, 2009
25. http://www.imvinfo.com/user/documents/content_documents/def_dis/2012_06_05_04_54_16_458_IMV_2012_CT_Press_Release.pdf (last accessed 7-3-12)
26. Dorfman AL, Faze RL, Einstein AJ et al (2011) Use of medical imaging procedures with ionizing radiation in children: a population-based study. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 165(5):458-464.
27. Larson DB, Johnson LW, Schnell BM, et al. Rising use of CT in child visits to the emergency department in the United States, 1995-2008. *Radiology*. 2011; 258:164-73
28. Townsend BA, Callahan MJ, Zurakowski D, Taylor GA. Has pediatric CT at Children's hospitals reached its peak? *AJR* 194:1194-1196, 2010
29. Menoch MJA, Hirsh , Khan NS, Simon HK Sturm JJ. Trends in computed tomography utilization in the pediatric emergency department. *Pediatrics* 2012: e690-e697. <http://pediatrics.aappublications.org/content/early/2012/02/08/peds.2011-2548>
30. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003;25:100(24):13761-13766.
31. Little MP, Wakeford R, Tawn EJ, Bouffler SD, Gonzalez AB. Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: Why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology* 251:6-12, 2009
32. Tubiana M, Feinendegen LE, Yang C, Kaminski JM. The linear no-threshold relationship is inconsistent with radiation biologic and experimental data. *Radiology* 251:13-22, 2009
33. Scott BR, Sanders CL, Mitchel REJ, Boreham DR. CT scans may reduce rather than increase the risk of cancer. *Journal of American Physicians and Surgeons* 2008; 13: 8-11
34. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 357:2277-2284, 2007
35. Berrington de Gonzalez A, Mahesh M, Kim KP, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern* 2009; 169:2071-2077
36. Singh S, Kalra M, Moore M, et al. Dose reduction and compliance with pediatric CT protocols adapted to patient size, clinical indication, and number of prior studies. *Radiology* 2009; 252(1):200-206.
37. Strauss KJ, Goske MJ, Kaste SC, et al. Image Gently: Ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR* 194:868-873, 2010
38. Nievelstein JA, Frush DP. Should we consent patients for radiation? In press *AJR* 2012
39. Frush DP. Our responsibility for medical radiation dose determinations. *J Vasc Interv Radiol* 23(4):451-2, 2012.

El autor declara no tener conflictos de interés, con relación a este artículo.