

Radioprotección en el diagnóstico por imágenes pediátrico. Conceptos, dosis, uso y no abuso...

Dr. Luis F. Gentile*

INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de los rayos X por W. C. Roentgen en 1895, hay publicaciones sobre radiología en niños.

En 1896, en América (New Hampshire) y en 1897 en Graz (Austria) se fundaron los primeros servicios de radiología pediátrica.

En 1910 se editó el primer texto de radiología pediátrica y fue en 1945 cuando el libro "Pediatric X-Ray Diagnosis" de John Caffey le dio un gran impulso a la especialidad.¹

En los años 50 en Sudamérica, Soto en Uruguay, Doberti en Chile, Bardi y Calisti en Buenos Aires impulsaron el diagnóstico radiológico en pediatría. En Europa Sauvegrain y Lassrich resaltaron lo mismo en sus países. En los últimos años, Kirpatrick, Swischuk y Kirks han sido los más renombrados.

Sobre el tronco básico de la radiología se han incorporado nuevos métodos de diagnóstico por imágenes que utilizan o no radiaciones; tal es así que algunos países del primer mundo conservan tradicionalmente el término radiología a pesar de incorporarse nuevos métodos de imágenes.²

"El niño no es un adulto pequeño" es un aforismo aplicable al diagnóstico por imágenes pediátrico. El especialista pediátrico debe seleccionar el método adecuado para obtener imágenes diagnósticas con el menor riesgo por el uso de radiaciones.

De todos los libros de texto de radiología o imágenes pediátricas unos pocos se han dedicado a los efectos de la radiación ionizante. Es nuestro propósito comunicar algunos conceptos actuales en radiaciones ionizantes y las dosis absorbidas por el niño en los distintos estudios.³

Los distintos métodos ocupan los siguientes porcentajes de utilización:

Radiología convencional y contrastada (sin o con digitalización)	75%
Ecografía	12%
Tomografía, resonancia magnética y medicina nuclear	12%
Otros métodos por imágenes	1%

Otro dato interesante es que, de acuerdo con la dosis, la tomografía computada ocupa poco más del 40% del total.

Debe siempre enfatizarse que los métodos por imágenes y su aplicación deben decidirse por una genuina optimización y justificación. Debe priorizarse el sentido común para discernir si el beneficio es mayor que su riesgo.

DEFINICIONES

El rem es la unidad de dosis para radiación básica y dosis genéticamente importante; la unidad del sistema internacional de medidas (SI) de equivalencia de dosis es el Sievert (Sv= 100 rem). El Sievert se utiliza como medición de las dosis permisibles por el personal que trabaja en radiaciones. En la actualidad, la dosis permitida por año para este grupo es de 20 milisievert por año para todo el cuerpo, sin sobrepasar los 100 milisievert en 5 años y permitiendo en forma excepcional y transitoria, 50 milisievert por año. En nuestro país hay leyes y reglamentaciones que legislan esta situación.

El promedio de dosis de radiación anual estimado para un individuo en EE.UU. es 0,18 rem. De esta dosis, 0,10 rem (55%) se origina en fuentes naturales (cósmica, terrestres y biológica interna) y se denomina natural o básica. La exposición a la radiación natural excede la posibilidad esencialmente del control individual, aunque hay diferencias de exposición con la altura (aumento de la radiación cósmica a gran altura) y localidad geográfica (componentes radiactivos de

* Servicio de diagnóstico por imágenes.
Hospital de Niños
"Dr. Ricardo Gutiérrez".

la corteza terrestre). Se asume que no existe una dosis umbral para los efectos carcinógenos y genéticos de la radiación y se elaboró la hipótesis que plantea que la radiación natural ocasiona 1,3% de cánceres y 1,0 a 6,0% de anomalías genéticas.⁴

Dosis de radiación en niños

Una radiación mínima y diagnóstica debe cumplir con el enunciado del Comité Internacional de Radiaciones y su difundido enunciado: "Usar tan baja radiación como sea posible de acuerdo con las posibilidades prácticas".

Los efectos acumulados de la radiación y el potencial nocivo es mayor en niños que en adultos debido a:

1. La expectativa de vida de los niños.
2. La frecuencia de algunos procedimientos radiológicos.
3. La radiosensibilidad de las células en rápida división.

De todos modos, la dosis de radiación en niños es menor que en los adultos porque aquellos tienen menor tamaño, pero los técnicos en radiología tienen la responsabilidad de mantener la dosis lo más razonablemente baja posible, en particular para órganos vitales, que pueden mostrar mayor radiosensibilidad que los correspondientes en adultos.

Para limitar la exposición del niño a la radiación es indispensable que el técnico y médico radiólogos estén entrenados en radiología pediátrica. (Para reducir al mínimo la repetición de estudios radiográficos, debe colocarse al niño en posición e inmovilizarlo apropiadamente, tomar el mínimo de placas y elegir factores de exposición adecuados).

Protección gonadal

Para limitar los efectos genéticos se debe usar protección gonadal cuando testículos u ovarios se encuentran en el haz directo de rayos X o cerca de los límites de la región colimada (puede estimarse hasta los 5 cm del rayo central). En general, es más fácil proteger los testículos porque están fuera de la cavidad del cuerpo. Un protector de plomo en contacto con los testículos reduce la exposición a la radiación casi un 95%.⁵ La protección a los ovarios, más complicada por la variabilidad en la ubicación de los mismos, puede reducir la exposición hasta un 50%.⁵

Los testículos pueden protegerse en casi todos los estudios de abdomen y pelvis cuando no se evalúa la uretra. Los ovarios se pueden proteger para exámenes de caderas, pero no cuando es necesario visualizar la pelvis o parte baja del abdomen, por ejemplo, la estructura ósea sacrococcígea.⁵

Delantales protectores

Pequeños delantales protectores de tela plomada (a veces llamados mini-delantales o semidelantales) se fabrican en gran variedad de tamaños para adaptar a pacientes de todas las edades.

Estos delantales tienen por objeto absorber la radiación dispersa y ayudar a proteger las gónadas, en particular cuando éstas quedan cerca del área examinada.

Protectores de glándulas mamarias

Estudios efectuados a fines de los años 70 en japoneses sobrevivientes de la bomba atómica, en mujeres con tuberculosis frecuentemente examinadas fluoroscópicamente y mujeres irradiadas por mastitis posparto determinaron que la edad de exposición es la principal influencia en el desarrollo del cáncer mamario. Estos estudios suministraron fuerte evidencia de inducción de cáncer en mujeres expuestas a las edades de 10 a 19, 20 a 29 y 30 a 39 años. Aquellas de 10 a 19 años de edad presentaron mayor riesgo. Estos datos restan importancia a influencias hormonales sobre el riesgo de cáncer mamario radiógeno y sugieren que el tejido proliferante durante el crecimiento mamario o de embarazo puede ser particularmente sensible a radiación ionizante.

Protección del cristalino

Siempre que sea posible, la radiografía de cráneo debe tomarse en posición posteroanterior en lugar de anteroposterior para reducir la exposición del cristalino a la radiación. Con niños, esto no es muy práctico, por que ellos sienten menos temor a un procedimiento cuando pueden ver lo que sucede a su alrededor.

Exposición y dosis

La dosis mide la cantidad de energía transferida (descargada) al tejido por masa de tejido en un sitio específico del cuerpo del paciente como resultado de la dispersión o de la absorción de un rayo X. Esta energía transferida no afecta los tejidos del paciente. Si la energía descargada o depositada (dosis) es suficiente, ocurre daño radiobiológico.

La dosis a tejidos de poca profundidad es significativamente más alta que la suministrada a tejidos situados en planos más profundos debido a que los primeros detienen (absorben) los rayos X. Esto es especialmente cierto en las radiografías convencionales ya que en las tomografías computadas la radiación suele ser homogénea en todo el plano del corte (*Tabla 1*).

Atención

La radioscopia con circuito cerrado de T.V.: 2,75 Rads por minuto de dosis en piel y 200 mrad por cada exposición radiográfica.

Esto es comparable a la dosis absorbida con 1.000 RX de tórax del recién nacido.

Dosis gonadal

La dosis gonadal sin protección varía desde indetectable hasta valores significativos. Éstos dependen de la exposición en la superficie de la piel y de la proximidad de las gónadas al haz primario de rayos X. Si las gónadas están a escasos 10 cm del borde del haz primario, la dosis gonadal será tan pequeña como 1 a 2% de la dosis de entrada.

Estos valores pueden reducirse, en casi todos los casos, mediante protección adecuada.

Se consideran insignificantes las dosis gonadales por radiografías menores que la dosis diaria de radiación procedente de la radiación de fondo ambiental. A nivel del mar, la dosis diaria a las gónadas masculinas procedente de la radiación de fondo es de 0,25 mrad. Debido a la atenuación que ocurre en los tejidos suprayacentes, la dosis diaria correspondiente a las gónadas femeninas es un poco menor. Por lo tanto, la dosis gonadal relacionada con cualquier examen de las extremidades y de cráneo es claramente insignificante. Se calcula que las dosis gonadales que acom-

pañan a estos exámenes son todas menores a 0,001 mrad-unas 250 veces menores que el nivel establecido de 0,25 mrad. Puesto que las dosis gonadales relacionadas con estudios de tórax son > 0,001, estos exámenes generan dosis gonadales insignificantes.⁶

Las dosis gonadales que acompañan a estudios de abdomen, columna y pelvis son significativas y debe usarse la protección gonadal. En todos estos exámenes las gónadas femeninas quedan dentro del haz primario de rayos X. Como consecuencia, se producen dosis gonadales femeninas aproximadamente iguales a la dosis de la línea media enumerada en la columna para varones. La dosis gonadal se determina por la proximidad de las gónadas al haz primario. En los estudios de columna y abdomen, la dosis gonadal masculina es menor que la dosis de la línea media. Para el examen anteroposterior de la cadera, las gónadas masculinas quedan en el haz primario de rayos X entre los planos de entrada y de la línea media; por consiguiente, la dosis gonadal es mayor que la dosis de la línea media.

Para ciertas exploraciones (caderas, pelvis y series gastrointestinales altas), los niños reciben dosis gonadales sustancialmente más altas que las niñas. Para otras exploraciones (columna lumbar y enema baritada), la dosis gonadal es mucho más alta en las niñas.⁷ (Tabla 2).

TABLA 1. Exposición y dosis típicas de radiación (Modificado de Godderidge)

		Dosis (mrad)		
		Piel	Línea media	V/M† Gónadas
Edad del paciente		± 15%	± 30%	± 30%
<i>Adulto</i>		7,3	2,2	0,000/0,035
<i>Tórax A-P</i>	10-15 años	7,5	2,3	-
	6-10 años	6,1	2,2	-
	3-6 años	4,8	2,1	0,000/0,034
	1-3 años	4,0	1,8	0,000/0,008
	3-12 meses	4,6	2,2	-
	Recién nacido	3,6	2,1	0,012/0,047
25-30 cm				
<i>Adulto</i>		63	15	16/18
<i>Abdomen</i>	10-15 años	51	15	-
	6-10 años	32	11	-
	3-6 años	24	10	3,1/8,9
	1-3 años	20	8,6	2,2/7,4
	3-12 meses	14	6,4	-
	Recién nacido	8,2	4,5	1,2/4,8

Obtención de imágenes radiológicas y dosis de radiación en los niños

La dosis cutánea es más alta, relacionada con una exploración radiográfica y sus cifras asociadas pueden parecer alarmantemente altas a quienes no están familiarizados con su uso. Finalmente, tales dosis son de poca preocupación porque la piel es muy resistente a los efectos carcinógenos de la radiación en dosis menores de 100 rads.

Las imágenes radioscópica y radiográfica de igual calidad diagnóstica requieren menos exposición radiográfica en los niños que en los adultos, por que los cuerpos pequeños (menos grosor) producen menos atenuación del haz de rayos X.⁸

La dosis a un órgano puede variar considerablemente, según la superficie a través de la de la cual el haz de rayos X entra en el cuerpo. La dosis a órganos cerca de la piel es relativamente mayor, si están adyacentes a la superficie de entrada del haz. Por ejemplo, la dosis suministrada a la glándula tiroidea cuando se expone en proyección posteroanterior (entrada posterior del haz) es 85% menor que la de la proyección anteroposterior (entrada anterior del haz). De manera semejante, la dosis mamaria se reduce 95% cuando se usa la proyección posteroanterior.

Exploraciones específicas

Algunas técnicas y exploraciones específicas en la radiología diagnóstica tienen características de exposición a la radiación, protección y preocupación que justifican un análisis separado.

Cistouretrografía miccional

Aunque la dosis gonadal requerida para la cistouretrografía miccional (CUGM) en general es

aceptable, las exploraciones prolongadas, en especial en niñas, pueden producir dosis superiores a 1,0 rad. Además, las exploraciones de seguimiento en los niños con reflujo, podrían ocasionar alta acumulación de dosis gonadales. En esta situación, los protectores gonadales o testiculares no alteran la imagen diagnóstica.⁹⁻¹¹

Angiocardiografía

La dosis gonadal en general es baja, 0,194 rads en promedio en las series informadas, pero exploraciones prolongadas pueden liberar dosis gonadales por encima de 5 rads, particularmente cuando es difícil encontrar la inserción del catéter femoral. Las dosis tiroideas informadas son de 0,260 a 7,7 rads en casos promedio. Las dosis de médula ósea para niños no han sido valoradas.

Los niños que requieren numerosas cateterizaciones pueden acumular dosis de tiroides y médula en la clase de dosis intermedia y dosis gonadales de más de 1,0 rad. Así pues, usualmente se requiere protección tiroidea y gonadal.

Tomografía computada

Las dosis de superficie y profundidad son mayores para la TC cerebral que para la TC corporal. La dosis absorbida es algo mayor con aparatos exploradores de tercera y cuarta generación que con los de segunda. La dosis de radiación dispersa durante la TC son mayores para niños que para adultos, por las cortas distancias por bordes de "campo" a órganos sensibles (tiroides, gónadas). Para la TC craneana, las dosis promedio en superficie para varios aparatos van de 1,5 a 6 rads (promedio 3,7 rads). Aun en mediciones actuales con equipos de alta resolución y llamados helicoidales

TABLA 2. Medición de dosis gonadales medias (rad) en hombres y mujeres por grupo de edad

Exploración	Hombres			Mujeres		
	0-15 (años)	16-45 (años)	> 45 (años)	0-15 (años)	16-45 (años)	> 45 (años)
Columna lumbar	0,042	0,064	0,052	0,194	0,390	0,384
Fem.alto, cad.	0,162	0,613	1,050	0,016	0,096	0,103
Pelvis	0,146	0,294	0,762	0,033	0,116	0,221
UE	0,060	0,357	0,457	0,164	0,311	0,402
Cistografía	0,253	1,800	1,800	0,429	1,400	1,400
Abdomen	0,066	0,158	0,167	0,051	0,079	0,085
Enema baritada	0,138	0,250	0,357	0,454	1,430	1,660
SIG alto	0,120	0,270	0,320	0,017	0,154	0,501

(Adaptado del cuadro 2 en Wall BF, Rae S, Darby SC, et al. A reappraisal of the genetic consequences of diagnostic radiology in Great Britain. Br J Radio 54:719-730, 1981).

Dosis semejantes para niños y adultos han sido informados por Aspin y Webster and Cerril.

por su recorrido del tubo, la dosis promedio en cada estudio es de 5 a 7 rads.

Tomografía computarizada (TC) abdominal

En términos de dosis de superficie, centro corporal y médula, los cortes tomográficos por debajo del diafragma y las crestas ilíacas, liberan más radiación que la radiografía abdominal de rutina, menos que la angiografía abdominal y casi la misma de los estudios baritados y a la urografía. Las gónadas, al quedar fuera del haz primario, reciben una dosis menor de la TC abdominal, que con exploraciones con medios de contraste que exponen las gónadas al haz primario (enema baritada, urografía y CUGM). Sin embargo, la TC pélvica, produce una dosis ovárica mayor que esos estudios por la radiación directa al ovario.

Tomografía computada (TC) torácica

La dosis de radiación dispersa a la tiroides durante la TC torácica es 0,200 rads.

Tomografía computada (TC) cerebral

La TC craneana libera niveles mayores de todas las dosis importantes (superficial, profunda, medular media, tiroidea y gonadal) que la radiografía simple del cráneo, pero menos que la angiografía cerebral típica. En los niños, la dosis tiroidea diseminada puede ser tan alta como 0,3 rads para un estudio completo de TC craneana (con contraste y sin él); estas dosis en adultos se encuentran entre 0,1 y 0,12 rads.¹²⁻¹⁴

Medicina nuclear

Las ventajas principales de los estudios de medicina nuclear radican en la obtención de informes funcionales o fisiológicos sin maniobras "invasivas". El antiguo papel de la medicina nuclear para definir la anatomía interna se suplanta con mucho por la ultrasonografía y la TC. En general, las exploraciones gammagráficas son complementarias, pero no competitivas con otras modalidades de obtención de imágenes.

Los efectos potenciales de la radiación por exploraciones de medicina nuclear no se conocen con certeza, pero generalmente se consideran de magnitud significativamente menor que las asociadas con las exploraciones radiográficas. Las diversas dosis orgánicas son comparables o mayores que las dosis de muchas exploraciones radiográficas. Sin embargo, las dosis promedio de exploraciones con radioisótopos son mucho menores que las de exploraciones radiográficas.

Obtención de imágenes radiológicas con reducción de la dosis

La reducción de la dosis de radiación es una meta primaria en radiología pediátrica. Tanto el radiólogo como el técnico, pueden contribuir de manera importante para alcanzarla. El uso de técnicas de "dosis baja" ahorra sustanciales dosis.

El especialista en imágenes y la reducción de la dosis

El especialista en imágenes es, en última instancia, responsable del uso prudente de la radiación en la obtención de imágenes en niños. Cada exploración radiológica puede adaptarse para obtener la información necesaria, con la dosis más baja posible de radiación para el paciente. Muchas maniobras que ahorran dosis no tienen relación con disminución de la calidad de la imagen; pocas exploraciones (fluoroscopia sin parrilla y placas colimadas) ocasionan solamente una disminución leve y aceptable.

Una manera obvia e importante de evitar radiación innecesaria es evitar las exploraciones injustificadas. Si la exploración que se solicita no parece adecuada, se consultará al médico referente antes del estudio. Los beneficios potenciales de esta comunicación incluyen la cancelación de los estudios no justificados y su sustitución por exploraciones más apropiadas o con menos radiación, así como descubrir errores simples de programación. Una buena relación con los colegas clínicos permite desalentar efectivamente exploraciones que ofrecen baja información diagnóstica. Posponer estudios de bajo rendimiento podría ser benéfico, porque el "problema" del paciente se podría resolver en el tiempo ganado y en los costos económicos y de radiación.

No es razonable establecer lineamientos rígidos sobre cuáles son (o no) las indicaciones de las diferentes exploraciones radiológicas.

El técnico y la reducción de la dosis

Los técnicos con interés o entrenamiento especial en radiología pediátrica son esenciales para los departamentos de radiología, en donde el volumen pediátrico no justifica un técnico pediátrico de tiempo completo. Técnicos generales interesados pueden visitar centros pediátricos por períodos de "minientrenamiento", de tres a cuatro semanas. Los beneficios de este esfuerzo fácilmente justifican el costo.

La inmovilización es esencial cuando se exploran niños incapaces de cooperar.

Si el testículo está dentro de los 10 centímetros

del límite del haz primario, vale la pena la protección, porque así se hace una importante reducción de la dosis gonadal.^{15,16}

CONCLUSIONES

La radiación de dosis baja en la esfera diagnóstica impone dos riesgos a largo plazo en enfermos pediátricos: carcinogénesis y daños genéticos a los descendientes. Los niños son más susceptibles a los efectos carcinógenos de la radiación que los adultos. Esta susceptibilidad aumentada se elimina en forma parcial o completa con las dosis menores utilizadas para los pacientes pediátricos. Los tumores más importantes relacionados con la radiación son leucemia, carcinomas tiroideos y de mamas; así pues, al considerar los riesgos y la protección de las radiaciones, las regiones importantes para considerar son la médula activa, el cuello y pared anterior del tórax en las mujeres. Por daños genéticos las gónadas definen la importancia de su protección.

De manera sorprendente, los riesgos carcinógenos potenciales de muchas exploraciones diagnósticas no son más altos en niños que en adultos; además, las radiografías de los adultos en edad reproductiva, contribuyen considerablemente más al daño genético que la radiología pediátrica.

Hay que continuar con los esfuerzos para disminuir, tanto como sea posible, la radiación en los niños. Es posible que muchas maniobras contribuyan a esto. Por ejemplo, las exploraciones diagnósticas de bajo rendimiento se deberían excluir. Lo ideal sería obtener la información sin usar radiación ionizante, por ejemplo, mediante ecografía abdominal o cerebral; ecocardiografía o resonancia magnética, cuando se debe decidir qué método utilizar.

Agradecimiento

Al ingeniero Guillermo González López de la Secretaría de Salud del GCBA por la revisión del manuscrito. ■

BIBLIOGRAFÍA

1. Conway BJ, Duff JE, Fewell TR, et al. A patient equivalent attenuation phantom for estimating patient exposures from automatic exposure controlled x ray examinations of the abdomen and lumbo-sacral spine. *Medical Physics* 1990; (3):448-453.
2. Brenner DJ, et al. Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 2001;289-296.
3. Robinson AE, Hill EP, Harpen MD. Radiation dose reduction in pediatric CT. *Pediatric Radiology* 1986; (16):53-54.
4. Paterson A, Frush DP. Donnelly I- Helical CT of the body: are settings adjusted for pediatric patients? *AJR* 2001; (176):297-301.
5. Seeram E. Radiation protection. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997.
6. Godderidge C. Pediatric Imagenology 2nd.ed. Philadelphia: Mc Graw-Hill, 1996.
7. Bushong SC. Radiologic science for technologists. 6nd ed. St. Louis: Mosby Year book, 1997.
8. Bushong SC. Radiation protection. Philadelphia: McGraw-Hill, 1998.
9. Kamel IR, et al. Radiation dose reduction in CT of the pediatric pelvis. *AJR* 1994; (160):683-687.
10. Haaga J. Commentary radiation dose management weighing risk versus benefit. *AJR* 2001; (177):289-291.
11. Kirks DR. Radiología pediátrica. Madrid: Ed. Marban, 2000.
12. Texto de radioprotección de Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires, 2002.
13. Visconti PJ. Radiation Protection in Medical Radiography. 4nd ed. Philadelphia: Mosby, 2002.
14. Roebuck DJ. Ionising radiation in diagnosis: do the risks outweigh the benefits? *Med J Aust* 1996; (164):743-747.
15. McDonald S, Martín CJ, Darragh CL, et al. Dose-area product measurements in paediatric radiography. *Br J Radiol* 1996; (69):318-325.
16. Russell JG, Fawcitt R. New risks, new doses. *AJNR* 1993; (14):850-852.