

NIVELES DE DOSIS EFECTIVA A LACTANTES EN RADIOGRAFÍA DE PELVIS. PRIMEROS DATOS PARA CHILE

Diego Nocetti García y Fernando Leyton

RESUMEN

Con el propósito de conocer los parámetros de irradiación en lactantes en Chile, se determinó los primeros datos de kerma en aire en la superficie de entrada (KASE) a partir del rendimiento del tubo radiográfico y la dosis efectiva mediante simulaciones con el programa dosimétrico PCXMC para procedimientos radiográficos de pelvis antero-posterior (AP), en 69 pacientes con edades entre 3 y 6 meses, en la ciudad de Arica. Los promedios de dosis efectiva \pm desv.est. (mSv) fueron: 0,0353 \pm 0,0276 en colon; 0,0909 \pm 0,0830 en ovarios/testículos

y 0,1338 \pm 0,1082 en vejiga. En tanto, el promedio \pm desv.est. del KASE estimado para la totalidad de la muestra fue de 0,1160 \pm 0,0187mGy con un percentil 75 de 0,1176mGy, que constituye nuestro nivel referencial de dosis, el cual está un 20% por sobre el valor propuesto para Europa. Se determinó que de todas las variables, la más influyente en los KASE impartidos fue la carga de tubo (mAs), por lo que debe ser el foco a la hora de optimizar la protección radiológica de los pacientes.

EFFECTIVE DOSE LEVELS IN INFANTS FOR PELVIS X-RAY EXPOSURES. FIRST DATA FOR CHILE

Diego Nocetti García and Fernando Leyton

SUMMARY

In order to know the irradiation parameters in infants in Chile, the first data of entrance surface air kerma (ESAK) was determined from X-ray tube output and effective dose by software simulations with PCXMC for pelvis AP projection, in 69 pediatric patients aged between 3 and 6 months, in Arica city. Results of mean effective dose \pm st.dev. (mSv) were: 0.0353 \pm 0.0276 in colon; 0.0909 \pm 0.0830 in ovaries/testes and 0.1338 \pm 0.1082 in bladder. Meanwhile, the mean \pm st. dev. ESAK esti-

mated for the entire sample was 0.1160 \pm 0.0187mGy, with a 75th percentile of 0.1176mGy, constituting our reference dose level, which is 20% above the proposed value in Europe. Of all the variables, it was determined that the most influential one in ESAK was the tube charge (mAs), so that it should be the focus when optimizing radiation protection of patients.

Introducción

En la actualidad, los procedimientos radiológicos constituyen la principal fuente de exposición a radiaciones ionizantes de origen artificial a la población mundial (IAEA, 2007). Por tanto, conocer la cantidad de radiación recibida por los pacientes es fundamental, debido al potencial riesgo de sufrir efectos derivados de su uso (ICRP 103, 2007).

No obstante, la utilización de radiaciones ionizantes en medicina está plenamente aceptado, siempre y cuando se cumplan estrictamente los principios de la protección radiológica: justificación, optimización y aplicación de límites (ICRP 103, 2007). Dentro de los procedimientos radiológicos de rutina realizados en Chile, destaca la radiografía de pelvis AP, la cual es utilizada para la evaluación precoz de la displasia de cadera (Minsalud, 2006).

Debido a su naturaleza, los pacientes pediátricos resultan ser más radiosensibles que los adultos, por lo que la protección radiológica debe maximizarse (Nfaoui *et al.*, 2010; Hintenlang *et al.*, 2013). Para lograrlo, no tiene cabida considerar el uso de límites de dosis, de modo que es la optimización de la radioprotección, la única herramienta disponible para resguardar a nuestros pacientes (ICRP 103, 2007). Por optimización se entiende el hecho de mantener

la dosis tan baja como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales. En las exposiciones médicas de radiodiagnóstico se considera que se cumple este objetivo cuando se administra la dosis más baja posible que permita obtener la calidad de imagen requerida y la información diagnóstica deseada (ICRP 103, 2007).

El primer paso para la optimización de los procedimientos, es determinar los niveles

PALABRAS CLAVE / KASE / Niveles de Referencia / Pediatría / Radiografía de Pelvis /

Recibido: 25/01/2014. Modificado: 11/04/2014. Aceptado: 21/04/2014.

Diego Nocetti García. Tecnólogo Médico y Licenciado en Física Médica, Universidad de Tarapacá (UTA), Chile. Profesor Investigador, UTA, Chile. Dirección: Laboratorio de Dosimetría Personal, Centro de Estudios en

Ciencias Radiológicas (CE-CRAD), Facultad de Ciencias de la Salud, UTA. General Velásquez 1775, Arica, Chile. e-mail: diego.nocetti.g@gmail.com

Fernando Leyton. Licenciado en Ciencias mención Física y Magister en Biofísica Médica, Universidad de Chile. Doctorando en Ciencia y Tecnología de las Radiaciones, Minerales y Materiales, Centro de Des-

envolvimiento da Tecnología Nuclear, Brasil. Profesor, Universidad Diego Portales, Santiago, Chile. e-mail: leyton.fernando@gmail.com

RESUMO

Com o propósito de conhecer os parâmetros de irradiação em lactantes no Chile, se determinou os primeiros dados de kerma no ar na superfície de entrada (KASE) a partir do rendimento do tubo radiográfico e a dose efetiva mediante simulações com o programa dosimétrico PCXMC para procedimentos radiográficos de pélvis anteroposterior (AP), em 69 pacientes com idades entre 3 e 6 meses, na cidade de Arica. As médias de doses efetiva \pm desv.est. (mSv) foram: 0,0353 \pm 0,0276 no colón; 0,0909 \pm 0,0830 no ovários/testículos e

0,1338 \pm 0,1082 na bexiga. Entretanto, a média \pm desv.est. do KASE estimado para a totalidade da amostra foi de 0,1160 \pm 0,0187mGy com um percentual 75 de 0,1176mGy, que constitui nosso nível referencial de dose, o qual está 20% por sobre o valor proposto para Europa. Determinou-se que de todas as variáveis, a mais influente nos KASE aplicados foi a carga de tubo (mAs), pelo que deve ser o foco na hora de otimizar a proteção radiológica dos pacientes.

de dosis impartidos a los pacientes. La magnitud dosimétrica empleada en este estudio fue el kerma (del inglés para 'energía cinética liberada por unidad de masa') en aire en la superficie de entrada (KASE) o dosis en superficie de entrada (DSE), definido como la cantidad de energía que alcanza la superficie del paciente u objeto antropomórfico físico, considerando la retrodispersión. Además, es posible tomar en cuenta el tipo y energía de la radiación ionizante empleada, para obtener otra magnitud denominada 'dosis equivalente'. Ésta, al ser multiplicada por un factor derivado de la radiosensibilidad de los tejidos, permite calcular la 'dosis efectiva', cuya unidad es el Sievert (Sv) (ICRU, 2005). A través de las magnitudes citadas, es posible establecer niveles referenciales para el diagnóstico (NRD), que representan el rango de valores de dosis que son considerados aceptables, a partir de un paciente u objeto antropomórfico físico (EC 109, 1999; ICRP 105, 2011).

El propósito del presente estudio fue estimar, en Chile, los primeros valores de KASE y dosis efectiva para una muestra centrada, compuesta por 69 pacientes menores a 1 año, a los que se realizó una única proyección radiográfica de pélvis AP, en la ciudad de Arica.

Material y Método

El estudio fue desarrollado en el servicio de imagenología

del Hospital Dr. Juan Noé Crevani, Arica, Chile. Se utilizó un sistema analógico conformado por un equipo radiográfico marca Shimadzu modelo Sapphire 15° TH (serie A043230); películas radiográficas X-ray Retina XRG y una reveladora Kodak modelo M-35-0MAT. La sensibilidad del sistema película-pantalla empleado fue de 400.

Al momento de realizar el procedimiento se registró los parámetros técnicos utilizados en el equipo: tensión del tubo (kVp), corriente de filamento (mA), tiempo de exposición y distancia foco-receptor de imagen (DFP). Además, se registró las características antropométricas de los pacientes: género, peso, estatura y espesor de la región estudiada.

La estimación del rendimiento del tubo de rayos X permitió estimar el KASE recibido por cada paciente. Para ello se utilizó un detector de estado sólido Unfors Xi (modelo 8201010-A), con una sonda Raysafe modelo 82020030-AXi.

El KASE (K_e) fue estimado según la expresión (Nfaoui *et al.*, 2010)

$$K_e = Y \times P_{It} \left(\frac{d_{ref}}{d} \right)^2 \times B = aU^b \times P_{It} \left(\frac{d_{ref}}{d} \right)^2 \times B \quad (1)$$

donde Y: rendimiento del tubo expresado (μ Gy/mAs) empleando una energía equivalente de 50,1keV; I_t : producto intensidad por tiempo o carga

del tubo para exponer cada paciente (mAs); d_{ref} : distancia a la que se midió el KASE (cm); d: distancia desde el foco del tubo a la piel del paciente (cm); U: tensión aplicada al tubo (kVp); aU^b : función que aproxima al rendimiento del tubo, Y, el cual variará según la tensión empleada en la exposición de cada paciente; y finalmente, B: factor de retrodispersión, aproximado a 1,35 (IAEA, 2003).

La dosis efectiva fue calculada en tres órganos de interés: colon, próstata u ovarios, y vejiga. Además, se estimó la probabilidad de inducción de cáncer y la pérdida de expectativa de vida debida a la exposición, a través del programa dosimétrico PCXMC ver. 2.0, 2008, desarrollado por la STUK (*Radiation and Nuclear Safety Authority*) en Finlandia y validado mediante la comparación de los resultados estimados por el software con los publicados por Jones *et al.* (1985), Hart *et al.* (1994, 1996) y Stern *et al.* (1995), según Servomaa y Tapiovaa (1998).

La evaluación de la diferencia estadísticamente significativa entre nuestras variables dependientes se realizó a través de la prueba ANOVA y análisis post-hoc (prueba de Tukey). Además, se hizo un análisis utilizando la correlación de Pearson. Para describir los resultados se empleó el valor

p, considerando aquellos valores de $p < 0,05$ como estadísticamente significativos. Todos los cálculos fueron realizados empleando el programa IBM SPSS (2011).

Resultados

Se evaluó 69 procedimientos radiográficos, considerando una exploración por paciente, 54% de ellos se realizaron a pacientes de sexo masculino y 46% a pacientes de sexo femenino.

La Tabla I presenta el NRD estimado en varios estudios, incluyendo al presente, empleando la magnitud DSE (mGy). Dado que algunos estudios emplearon sistemas con sensibilidades menores al nuestro, todos los valores fueron estandarizados a una sensibilidad de 400, para ser comparados apropiadamente.

La Tabla II muestra los valores promedio y desviación estándar para los factores técnicos y antropométricos, según la edad del paciente.

La Tabla III presenta los valores promedio y desviación estándar, para la probabilidad de riesgo de muerte inducida por la exposición a radiaciones ionizantes, pérdida de expectativa de vida y dosis efectiva (mSv) para colon, ovarios o próstata, y vejiga, según edad del paciente.

La Tabla IV muestra el análisis estadístico realizado mediante correlación de Pearson y prueba ANOVA para KASE y las variables en estudio.

VALORES DE NRD (mGy) PARA LAS DOSIS EN SUPERFICIE DE ENTRADA (DSE)*

EC (1996)	Hart <i>et al.</i> (2002)	Yakoumakis <i>et al.</i> (2007)	Este artículo (2013)
0,1000	0,1050	0,2098	0,1180

* Obtenidos a través del percentil 75 de los KASE estimados, multiplicados por el factor de retrodispersión (1,35).

VALORES MEDIOS ±DES. EST. PARA LOS FACTORES TÉCNICOS Y VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS, SEGÚN EDAD DEL PACIENTE

Edad (meses)	Tensión (kVp)	Carga de tubo (mAs)	Peso (kg)	Espesor (cm)	KASE (mGy)
3	65,24 ±1,88	2,39 ±0,68	6,25 ±0,91	9,80 ±1,00	0,116 ±0,024
4	66,17 ±1,69	2,45 ±0,70	7,45 ±1,10	10,78 ±1,53	0,117 ±0,016
5	66,67 ±1,75	2,40 ±0,66	7,46 ±0,76	10,95 ±1,23	0,115 ±0,000
6	66,33 ±2,08	2,60 ±0,69	8,63 ±0,31	10,90 ±1,65	0,116 ±0,000

VALORES MEDIOS ±DES. EST. PARA LA PROBABILIDAD DE RIESGO DE MUERTE INDUCIDA POR LA EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES (REID), PÉRDIDA DE EXPECTATIVA DE VIDA (LLE) Y DOSIS EFECTIVA PARA COLON, OVARIOS O PRÓSTATA, Y VEJIGA, SEGÚN EDAD DEL PACIENTE

Edad (meses)	REID (%)	LLE (h)	Dosis efectiva (mSv)		
			Colon	Ovarios/próstata	Vejiga
3	0,0005 ±0,0007	1,8310 ±3,1751	0,0598 ±0,0905	0,1448 ±0,2480	0,2271 ±0,3553
4	0,0002 ±0,0001	0,9111 ±0,4114	0,0279 ±0,0066	0,0721 ±0,0305	0,1010 ±0,0265
5	0,0002 ±0,0001	0,7833 ±0,3189	0,0275 ±0,0066	0,0620 ±0,0277	0,1002 ±0,0208
6	0,0024 ±0,0001	0,9000 ±0,2646	0,0258 ±0,0067	0,0845 ±0,0259	0,1069 ±0,0302

PRUEBA ANOVA Y CORRELACIÓN DE PEARSON, PARA EL KASE ESTIMADO Y LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Variable	ANOVA (valor p)	Coefficiente de correlación de Pearson (valor p)
Tensión (kVp)	0,001	-0,980 (0,425)
Carga de tubo (mAs)	0,001	0,501 (0,030)
Peso (kg)	0,002	0,035 (0,774)
Espesor (cm)	0,043	0,289 (0,016)
Edad (meses)	0,001	0,062 (0,610)

Discusión

La legislación chilena no obliga a estimar cuáles son las dosis impartidas a los pacientes en los procedimientos diagnósticos donde se utiliza radiaciones ionizantes. Tampoco define los criterios mínimos de calidad de imagen que debe cumplir una radiografía (DS 133, 1984; DS 3, 1985). Esta situación es diferente en muchos países, donde por medio de estudios y acuerdos internacionales, los estados miembros han establecido protocolos comunes con el fin de regular estas prácticas (EC, 1996-1999; SEPR, 2011).

En la Tabla I se presentan, entre otros, los valores de

NRD desarrollados en Europa, como respuesta a lo propuesto por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP 76, 1997). Éstos están expresados en términos de DSE, con un valor de 0,200mGy para el examen radiográfico de pelvis AP en lactantes de cuatro meses de edad (EC, 1999). Este valor fue obtenido utilizando una combinación de película-pantalla con una sensibilidad relativa de 200, por lo que debemos reducir a la mitad el valor recomendado para poderlo comparar con el obtenido en el presente estudio, cuya media y percentil 75 fueron de 0,116 y 0,118mGy, respectivamente. Queda manifiesto que este va-

lor fue ~20% superior al recomendado por EC (1999), aunque se debe considerar que no necesariamente los NRD poseen el mismo valor en cualquier lugar donde sean calculados, pues deben ajustarse a las circunstancias locales (IAEA, 1996; EC, 1997).

La Tabla II muestra la media y desviación estándar para los valores de tensión y carga de tubo empleados, así como características antropométricas de los pacientes. Las variaciones son coherentes en cuanto al espesor de la zona estudiada, el peso y la edad del paciente, la carga de tubo y el KASE impartido. De la Ec. 1 se desprende la relación directa existente entre las variables: a mayor edad, el peso y la talla tienden a aumentar, por lo que el espesor de la zona estudiada se incrementa, de modo que también deben hacerlo los valores de exposición, particularmente la carga de tubo, para preservar la calidad de imagen, lo que conlleva un incremento del KASE.

La Tabla III muestra que los pacientes de menor edad (3

meses) son aquellos que sufren una mayor pérdida de expectativa de vida. Esto se debe a su mayor esperanza de vida, lo que hace más probable que se hagan manifiestos los posibles efectos derivados de la exposición. Lo anterior, sumado a su mayor radiosensibilidad, fundamenta que los mayores valores de dosis efectiva en los órganos evaluados se registrarán en ellos. Para las restantes edades, la tendencia no se demuestra en cuanto a las variables presentadas.

Según se aprecia en la Tabla IV, existe diferencias estadísticamente significativas entre el KASE y la media de las variables dependientes: espesor ($p<0,043$), peso de los pacientes ($p<0,002$), tensión, carga de tubo aplicada y edad de los pacientes ($p<0,001$). La mayor correlación fue para la carga del tubo empleada y el KASE producido, con un coeficiente de 0,501 ($p<0,030$).

Existen estudios donde se han evaluado los valores de DSE o KASE para radiología pediátrica, a través de dosimetría termoluminiscente, la cual resulta más precisa, pero a expensas de un costo económico muy elevado, si se compara con la metodología propuesta en este estudio (Gogos *et al.*, 2003).

Conclusión

Este estudio representa una aproximación en el establecimiento de una metodología para la determinación del nivel referencial diagnóstico para el procedimiento radiográfico de pelvis AP en niños con edades entre 3 y 6 meses. Además, se obtuvo los primeros valores de KASE y dosis efectiva para Chile. El primero presentó un valor promedio de 0,1180 ±0,0187mGy, en tanto los valores de dosis efectiva media (en mSv) fueron de 0,0353 ±0,0276 en colon; 0,0909 ±0,0830 en ovarios/testículos y 0,1338 ±0,1082 en vejiga.

La información obtenida en este trabajo sirve como base para optimizar la dosis impartida en este examen radiográfico a pacientes pediátricos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad de Tarapacá, a través del Proyecto Mayor de Investigación Científica No. 7712-14.

REFERENCIAS

- IAEA (1996) *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*. Safety Series N° 115. Agencia Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria.
- IAEA (2003) *Methods of Surveying Patient Dose and Image Quality for Obtaining Local Guidance (Reference) Levels*. Tecdoc Guidance Levels, Ver. 5. Agencia Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria.
- IAEA (2007) *Dosimetry in Diagnostic Radiology: an International Code of Practice*. Technical Reports Series N° 457. Agencia Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria.
- DS 133 (1984) *Reglamento sobre Autorizaciones para Instalaciones Radioactivas o Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes, Personal que se Desempeña en ellas, u Operales Equipos y otras Actividades Afines*. Decreto Supremo N° 133. República de Chile
- DS 3 (1985) *Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas*. Decreto Supremo N° 3. República de Chile
- EC (1996) *European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics*. Eur. 16261. Comisión Europea. Luxemburgo.
- EC (1997) Council Directive 97/43/Euratom on Health Protection of Individuals against the Dangers of Ionizing Radiation in Relation to Medical Exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. *Rep. Off. J. Eur. Comm. No. L 180: 22-27*. Comisión Europea. Luxemburgo.
- EC (1998) European Guidelines on Radiation Protection of Unborn Children and Infants Irradiated due to Parental Medical Exposures. *Radiation Protection N°CR-18-98-316-EN-C, Official Publication of the European Communities*. Comisión Europea. Luxemburgo.
- EC (1999) Guía sobre los niveles de referencia para diagnóstico (NRD) en las exposiciones médicas. *Protección radiológica 109*. Comisión Europea. Luxemburgo.
- Gogos KA, Yakoumakis EN, Tsalaftoutas IA, Makri TK (2003) Radiation dose considerations in common paediatric X-ray examinations. *Pediatr. Radiol. 33: 236-240*.
- Hart D, Jones DG, Wall BF (1994) Normalised organ doses for medical x-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. *NRPB-SR262*. Chilton, RU.
- Hart D, Jones DG, Wall BF (1996) Normalised organ doses for paediatric x-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. *NRPB-SR279*. Chilton, RU.
- Hart D, Hillier MC, Wall BF (2002) *Doses to patients from medical x-ray examinations in the UK - 2000 review*. National Radiological Protection Board. Chilton, RU.
- Hintenlang KM, Williams JI, Hintenlang DE (2002) A survey of radiation dose associated with paediatric plain-film chest x-ray examinations. *Pediatr. Radiol. 32: 771-777*.
- IBM SPSS (2011) *Statistics for Windows*, Ver. 20.0. Armonk, NY, EEUU. www.ibm.com/software/es/stats20/
- ICRP (1997) *Protection from Potential Exposures - Application to Selected Radiation Sources*. Publicación 76. Comisión Internacional de Protección Radiológica. *Ann. ICRP 27(2)*.
- ICRP (2007) *Las Recomendaciones 2007*. Publicación 103. Comisión Internacional de Protección Radiológica. Senda. Madrid, España. 116 pp.
- ICRP (2011) *Protección Radiológica en Medicina*. Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación 105. Buenos Aires, Argentina. pp. 38-41.
- ICRU (2005) *Quantities and Units for Measurement and Calculation in Medical x-Ray Imaging*. Comisión Internacional de Uni-
- dades Radiológicas y Medidas. Report 74. *J. ICRU 5(2)*.
- Jones DG, Wall BF (1985) Organ doses from medical x-ray examinations calculated using Monte Carlo techniques. *NRPB-RL86*. Chilton, RU.
- Minsalud (2006) *Regulación Exámenes Preventivos*. Ministerio de Salud de Chile. Diario Oficial, Resolución exenta N° 876. Santiago, Chile.
- Nfaoui K, Bentayeb F, El basraoui O, Pedrosa A (2010) Evaluation of paediatric x-ray doses in Moroccan university hospitals. *Radiat. Prot. Dosim. 142: 238-243*.
- SEPR (2011) *Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*. Sociedad Española de Protección Radiológica. Senda. Madrid, España. 321 pp.
- Servomaa A, Tapiovaara M (1998) Organ dose calculation in medical x ray examinations by the program PCXMC. *Radiat. Prot. Dosim. 80: 213-219*.
- Stern SH, Rosenstein M, Renaud I, Zankl M (1995) *Handbook of Selected Tissue Doses for Fluoroscopic and Cineangiographic Examinations of the Coronary Arteries*. Publication FDA 95-8289. U.S. Department of Health and Human Services. Rockville, MD, EEUU. 27 pp.
- Yakoumakis EN, Tsalaftoutas IA, Aliberti M, George I, Pantos N (2007) Radiation doses in common x-ray examinations carried out in two dedicated paediatric hospitals. *Radiat. Prot. Dosim. 124 3: 348-352*.