

RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA EN LA EMBARAZADA: CONSIDERACIONES SOBRE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN Y RIESGO DEL FETO

DRA. XIMENA ORTEGA F.
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES.
CLÍNICA LAS CONDES.
xortega@clc.cl

DR. CLAUDIO SILVA F.
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES.
CLÍNICA LAS CONDES.
HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSIDAD DE CHILE.

RESUMEN

El uso de exámenes de imágenes para el diagnóstico de condiciones no obstétricas puede ser requerido durante cualquier etapa del embarazo. Existe un riesgo teórico de defectos en el desarrollo fetal, el que se ha considerado no relevante con el nivel de dosis aportada por la radiología diagnóstica habitual. La comprensión de los efectos de la radiación en las diferentes etapas del desarrollo fetal y las dosis aportadas por las diferentes técnicas de imágenes debieran colaborar en la elección del tipo de examen a realizar y del mejor momento para hacerlo.

SUMMARY

Diagnostic imaging studies can be required during any phase of the pregnancy for the diagnosis of not obstetric conditions. A theoretical risk of defects in the fetal development exists, but it has been considered insignificant at the dose level used for regular radiology practice. Comprehension of radiation effects over fetal development at different pregnancy stages and the relation between imaging modality and dose can help to make a choice, selecting the best radiologic examination and the best moment to do it.

Key words: Pregnancy, fetus, radiation, dose, radiography, CT, MRI.

INTRODUCCIÓN

Las primeras notificaciones del rol teratogénico o mutagénico de las radiaciones ionizantes, y su seguimiento corresponde al registro de las víctimas de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, y recientemente, al accidente del reactor nuclear de Chernobyl.

Se sabe que el efecto biológico de las radiaciones ionizantes se debe a procesos físicos y químicos, generados por la interacción de los rayos X con la materia. Dicha interacción tiene efectos moleculares, celulares y tisulares, que pueden darse en sucesión o aislados. Dichos efectos se han clasificados en determinísticos y estocásticos (1). Los efectos determinísticos se producen una vez sobrepasado un umbral y se manifiestan como muerte celular. Los efectos estocásticos suceden años después de la exposición, y están dados por el daño de material genético nuclear, siendo éste el que causa cáncer inducido por radiación o mutaciones susceptibles de ser transmitidas a las siguientes generaciones.

Los efectos de las radiaciones se han reportado en la literatura (1) utilizando las definiciones y unidades de medida internacionalmente aceptadas. Las más frecuentes, son:

a) La dosis de exposición se mide en Roentgen; se refiere a la radiación X y gamma y a su capacidad de producir ionización. La dosis de exposición se utiliza en casos de contaminación radioactiva. En medidas IS (Internacional System) se expresa en Coulomb/kilo.

b) La dosis absorbida es la cantidad de energía que la radiación ionizante transfiere al tejido por unidad de masa de la sustancia irradiada, independiente del tipo de radiación. El Gray (Gy) es la unidad internacional de dosis de radiación absorbida. Equivale a 1 joule de energía radiante absorbida por 1 kg de materia. La subunidad mGy (miligray), correspondiente a $1 \text{ Gy} \times 10^{-3}$ se utiliza actualmente en la mayoría de los reportes en la literatura sobre dosis de radiación y riesgo asociado.

c) La dosis equivalente se refiere a la dosis de radiación ionizante necesaria para producir un efecto biológico igual a aquel producido en el mismo tejido por la absorción de rayos X o gamma. Esto se mide en Sievert (Sv). Este valor se obtiene multiplicando la dosis absorbida por un factor característico del tipo de radiación ionizante. En el caso de rayos X y gamma, este es 1, por lo que del punto de vista práctico, la dosis absorbida en gray (Gy) es la misma dosis equivalente en sievert (Sv).

EFFECTOS REPORTADOS DE LA RADIACIÓN IN ÚTERO

Como todo teratógeno, su efecto es dependiente del período de la gestación en la que el feto es expuesto.

Se ha estudiado en modelos animales el efecto de la exposición a radiación y se ha estimado la dosis mínima necesaria para producir estos efectos.

- **En el período pre-implantación** (0 a 15 días post concepción), los efectos se han descrito como “todo o nada”, con muerte del embrión o sin consecuencia alguna. Se ha planteado que frente a la aparición de una anomalía celular, el resto de las células, totipotenciales en esta etapa, se harían cargo de la reparación, lo que le daría cierto grado de indemnidad.

- **El período de organogénesis** (semana 2 a 8ª post concepción), por el contrario, es extremadamente sensible al efecto teratogénico especialmente el sistema nervioso central, el que mantiene proliferación e intensa actividad mitótica hasta la semana 15.

- **Desde la semana 16 a la 25**, se va reduciendo la radiosensibilidad.

- **Desde la semana 26** se considera poco probable la producción de malformaciones mayores.

Se ha determinado, en base a la experiencia en Hiroshima y Nagasaki, que se requieren niveles altos ($>1 \text{ Gy}$), para producir efectos de tipo determinísticos, que se caracterizan en general por retardo de crecimiento, y retardo mental con o sin microcefalia.

Se ha visto que la asociación con retardo mental severo, requiere una exposición del rango de 200 – 400 mGy entre las semanas 8 y 15, con un cálculo de caída del CI de entre 25-29 puntos por cada Gy (10^3 mGy) (2).

En base a estudios observacionales y modelos animales, se ha determinado que no existe evidencia de que la exposición a menos de 50 mGy, se asocie a un aumento de malformaciones congénitas.

En la Tabla 1 se resumen los efectos esperados de la exposición a radiación en diferentes etapas de la gestación y la dosis que se ha estimado como umbral, sobre la cual la aparición de estas alteraciones se considera posible.

Entre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se han descrito cambios en el DNA, los que pudieran determinar mutaciones genéticas y carcinogénesis. Estos efectos estocásticos son posibles, pero su riesgo se reduce a dosis bajas. Estudios epidemiológicos han asumido una relación lineal entre dosis y respuesta. Así se ha estimado un riesgo de cáncer fatal de 0.06% para exposiciones de 10 mGy. Para dosis de 100 mGy el riesgo es de 0,6% y se sigue considerando bajo. Con exposiciones sobre los 100 mGy, los efectos determinísticos deben comenzar a ser considerados.

Los estudios disponibles reportan que los cánceres relacionados a radiación han correspondido principalmente a leucemias sin clara evidencia de aumento del riesgo para los demás tumores sólidos.

La mayoría de los estudios de imágenes requeridos en la embarazada contabilizan dosis menores a las reportadas como umbral en todas las etapas de la gestación y son en general menores de 50 mGy.

El National Council on Radiation Protection and Measurement ha considerado como insignificante el riesgo de anomalías con exposiciones de hasta 50 mGy cuando es comparado con otros riesgos durante el embarazo. Esto incluye, por ejemplo, 3% de riesgo de defectos congénitos espontáneos, 15% riesgo de aborto espontáneo, 4% riesgo de prematuridad y retardo del crecimiento, y 1% de riesgo de retardo

TABLA 1. EFECTOS DE LA DOSIS DE RADIACIÓN DE ACUERDO A LA EDAD GESTACIONAL

PERÍODO	EFEECTO	DOSIS LÍMITE ESTIMADA
0 – 2 semanas	Ninguno o muerte del embrión	50 – 100 mGy
2 – 8 semanas	Anomalías congénitas, retardo de crecimiento	200 – 250 mGy
8 – 15 semanas	Retardo mental severo, microcefalia	60 – 310 mGy
16 – 25 semanas	Retardo mental severo	250 - 280 mGy

Modificado de referencia (3).

mental. Ellos establecen que el riesgo de malformaciones se incrementa significativamente sólo a dosis superiores a 150 mGy (4).

RADIACIÓN ASOCIADA EXÁMENES DE IMÁGENES

Radiografía simple durante el embarazo

Damilakis y otros autores (5) estimaron dosis absorbidas por el feto en un fantoma sometido a radiografía de tórax, con diferentes diámetros antero-posteriores del área torácica. La dosis máxima obtenida fue de 0,0028, muy por debajo de los 0,138 mGy reportados por Donadieu (6) como dosis promedio recibida por 450 prematuros hospitalizados en una unidad de cuidado intensivo neonatal. En esta publicación los autores concluyen que la radiación y el riesgo asociado a la exposición en una radiografía de tórax, son despreciables.

Ellos reportan también un aumento progresivo de la dosis del feto para todos los períodos gestacionales relacionado a una mayor proporción de radiación absorbida por la madre y al efecto de la radiación dispersa.

En un estudio por Osei y Faulkner (2) dentro del programa del National Radiological Protection Board de Gran Bretaña, se analizaron un grupo de 50 mujeres embarazadas en un período de 10 años, estimando las dosis fetales recibidas por estudios diagnósticos, incluyendo radiografías de tórax, abdomen pelvis, columna lumbar, pielografía, enema baritada y tránsito intestinal. En este estudio las exposiciones ocurrieron entre las semanas 2 y 24 de gestación, y variaron entre < 0.01 mGy y 117 mGy. Se vio que el porcentaje de malformaciones mayores, muerte intrauterina y retardo mental no fue mayor que el reportado para la población general.

Consideraciones como el tipo de proyección utilizada y la posición de la paciente debieran ser también tenidas en cuenta. Así, debido a la posición más anterior del útero durante el segundo y tercer trimestre se ha estimado que el feto absorbe menos radiación en proyecciones póstero-anteriores (PA) que ántero-posteriores (AP). La posición erecta de la madre, por su parte, minimiza la dosis porque la gravedad mueve el feto alejándolo del haz primario de radiación.

Los reportes coinciden en la necesidad de velar por que los factores de exposición sean los adecuados una vez que se ha decidido realizar un examen, utilizar el equipamiento de mejor calidad para atender a estas pacientes y entregar la responsabilidad de obtener estos estudios del personal más capacitado, para garantizar estudios de la mejor calidad con la menor exposición posible.

Tomografía Computada durante el embarazo

Comparado con la radiografía simple, la tomografía computada (TC) utiliza una cantidad elevada de radiación ionizante para producir imágenes y es por esto por lo que muchos clínicos creen que el examen está contraindicado en la embarazada.

Sin embargo, la dosis estimada de radiación para el feto es baja si éste se encuentra fuera del área a examinar (field of view). De esta forma,

TC de cerebro, columna cervical o de las extremidades pueden ser considerado como de baja dosis de radiación para el feto, al igual que el TC de tórax, si el feto es mantenido fuera del haz primario de radiación.

Winer-Muram y otros autores (7) diseñaron un modelo matemático para estimar la geometría de un grupo de pacientes embarazadas y la dosis teórica que podrían recibir durante un TC de tórax para estudio de tromboembolismo pulmonar. Utilizando parámetros habituales (120 kVp, 100 mAs, pitch 1) ellos contabilizaron dosis promedio menores de 0,06 mGy para la mayoría de los estudios, con dosis máxima promedio de 0,5 mGy, obtenidas durante el tercer trimestre.

Damilakis (8) establece que la dosis máxima para un TC de tórax es menos de 1 mGy durante el primer trimestre, menos de 2 mGy durante el segundo y menos de 6 mGy durante el tercer trimestre.

Especial consideración debe tenerse cuando se requiere la exposición directa del abdomen y la pelvis. Dietrich (9) publicó en el 2005, un estudio realizado en un fantoma realizando un corte tomográfico a nivel de pelvis para estimar la dosis absorbida por el feto (120 kV, 150 mA, espesor 5 mm, y pitch de 1). Se estimó que el feto podría llegar a recibir dosis de hasta 34 mGy.

Lazarus y colaboradores (10) evaluaron recientemente una serie de 78 pacientes con dolor abdominal sometidas a TC de abdomen y pelvis, estimando dosis de radiación promedio de 16 mGy con un rango de 4 - 45 mGy.

El siguiente gráfico resume la dosis promedio que aportan los diferentes exámenes radiológicos. En él puede observarse como todas las exploraciones se encuentran lejos de alcanzar en forma aislada el límite de los 50 mGy.

GRÁFICO 1.

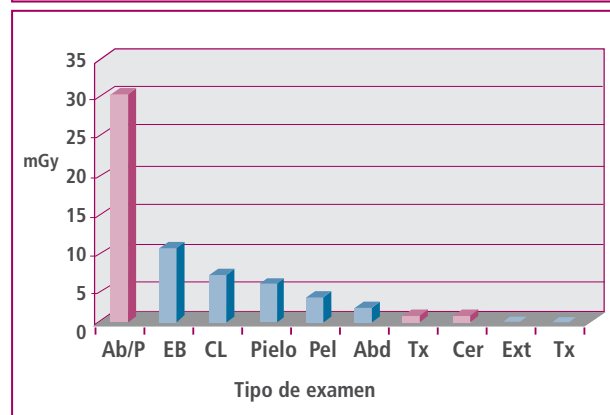


Gráfico 1: El gráfico muestra la dosis fetal estimada para cada examen. Las barras en rojo representan exámenes de tomografía computada, en azul radiografía simple. En orden decreciente: Ab/P: TC de abdomen y pelvis, EB: enema baritada, CL: Rx columna lumbar, Pielo: pielografía de eliminación, Pel: Rx pelvis, Abd: Rx abdomen, Tx: TC de tórax, Cer: TC de cerebro, Ext: Rx extremidades, Tx: Rx tórax.

Resonancia Magnética durante el embarazo

La resonancia magnética no utiliza radiación ionizante y constituye una valiosa alternativa a la tomografía computada en la obtención de imágenes multiplanares, o como examen de segunda línea, complementario a la ecografía.

No existe evidencia de que la exposición a campos magnéticos tenga algún efecto dañinos para el feto. La mayoría de los estudios que se refieren a la seguridad de la técnica, sin embargo, han sido efectuado con equipos cuyos campos magnéticos no superan 1,5 Tesla, por lo que en ausencia de información para equipos con campos de superior intensidad, algunos autores recomiendan evitar su uso (4).

La principal preocupación con respecto a la seguridad de la técnica tiene relación con aumento de temperatura que los pulsos de radiofrecuencia podrían producir en los tejidos. Sin embargo, la producción de calor es mayor en la superficie del segmento estudiado, y disminuye en forma significativa en la vecindad del feto, dado por la importante atenuación de los tejidos maternos (11).

A pesar de la existencia de múltiples reportes que afirman que la resonancia no produce mutaciones observables, citotoxicidad o teratogénesis en células de mamíferos, varios centros han adoptado como política evitar la resonancia en fetos menores de 18 semanas de gestación (12).

Uso de medios de contrastes durante el embarazo

• Contraste yodado endovenoso

La exposición fetal al contraste durante exámenes de imágenes ha sido suficientemente documentada (3,10,13) y se sabe que el contraste yodado atraviesa la placenta.

La FDA lo considera un medicamento categoría B, lo que implica que estudios en animales no han demostrado riesgo fetal, pero que no existen estudios controlados en mujeres embarazadas. Por lo tanto, su uso es aceptado, pero lo recomiendan sólo después de establecer la justificación y el beneficio del examen (14).

Se ha descrito, en forma poco consistente, depresión en la función tiroidea de fetos expuestos a yodo libre. La evaluación de la función tiroidea en el recién nacido es norma en la mayoría de los centros, por lo que Webb y colaboradores (14) sólo recomiendan confirmar que esta evaluación haya sido hecha en los hijos de madres que recibieron contraste yodado durante el embarazo.

• Gadolinio

El gadolinio utilizado para contraste en resonancia magnética pertenece a la categoría C de la FDA (14).

Estudios en animales con dosis 2 á 7 veces más altas que las administradas en humanos han mostrado efectos tóxicos potenciales como retardo del crecimiento y anomalías congénitas (3).

Existen reportes de administración inadvertida en mujeres embarazadas sin efectos adversos hasta la fecha (13). Aún así, muchos autores recomiendan evitar su uso.

Consideraciones frente a la necesidad de diagnóstico radiológico en la embarazada

A pesar de que con mucha frecuencia la valoración clínica y los exámenes de laboratorio permiten diagnosticar y tratar las patologías que se presentan durante el embarazo, existen algunas situaciones donde el retraso del diagnóstico o la consideración de un tratamiento quirúrgico pueden comprometer el bienestar de la madre o del feto, haciendo necesaria la utilización de exámenes radiológicos para fundamentar las decisiones clínicas.

Ejemplos incluyen el abdomen agudo, el tromboembolismo pulmonar y el trauma.

Como lo hemos visto previamente, la mayoría de los exámenes de imágenes aportan dosis menores a las consideradas riesgosas para el feto (50 mGy). A pesar de esto, frente a la necesidad de diagnóstico radiológico en la embarazada existen algunos elementos esenciales a considerar (8):

a. Justificación del examen

Siempre debe considerarse partir por un examen que no utilice radiación ionizante, como el Ultrasonido o la Resonancia Magnética. El ultrasonido en manos expertas o su uso combinado con la resonancia magnética permiten el diagnóstico de un gran porcentaje de las patologías no obstétricas del embarazo con valores de sensibilidad y especificidad reportados en forma creciente en la literatura.

b. Anticipación de la dosis de radiación fetal

Si no existen alternativas y el riesgo para la madre y el feto es mayor que el riesgo teórico aportado por la radiación del examen, debe optarse por un examen radiológico.

Una vez que la decisión ha sido hecha, debe estimarse el riesgo asociado a la dosis que se aportará al feto con el estudio elegido.

En algunas ocasiones no es necesario un cálculo detallado; por ejemplo, durante las dos primeras semanas de gestación donde la radiación tendrá un efecto "todo o nada" como se comentó previamente. Tampoco con exámenes cuyas dosis se han reportado como menores de 10 mGy.

c. Reporte de la dosis al paciente y al médico tratante antes de la exploración

Con los datos disponibles, el riesgo debe ser explicado en forma comprensible. Los reportes en el tema abundan en la literatura médica y no médica. Si bien los conceptos generales son similares en todas las fuentes existe una gran diversidad en la forma y los términos en que los eventos son reportados. La sola disparidad de las unidades con las que se han expresado las dosis de radiación pueden inducir a error en el lector lego, por lo que el entendimiento de las relaciones costo-beneficio y dosis-riesgo debe ser un trabajo conjunto del médico

tratante con el radiólogo.

En algunos casos, para la explicación al paciente y su familia, puede ser útil la comparación de la dosis del examen con la radiación background en un período de tiempo. Radiación background corresponde a la radiación ionizante proveniente de fuentes naturales y artificiales a las cuales estamos expuestos diariamente. Se estima en 2 a 4 mGy al año. Así por ejemplo, 3 a 4 años de radiación background equivaldrían a una dosis de 10 mGy. Esto debe ser contrastado con el riesgo de no realizar el examen.

Por otra parte, la mayoría de los autores recomiendan obtener un consentimiento informado previa a la realización del examen.

d. Optimizando la dosis de radiación

En radiología simple la utilización de los equipos más eficientes, los parámetros técnicos precisos, los controles automáticos de exposición, y el posicionamiento de la paciente según el área a explorar determinan menores dosis de radiación.

En tomografía computada, por su parte, restringir el área de exploración, reducir los factores de exposición, variar los parámetros técnicos de acuerdo al segmento anatómico, tendrán efectos significativos en reducir las dosis.

Consideraciones sobre la exposición accidental a exámenes radiológicos

La exposición accidental del feto, cuando la paciente desconoce su condición de embarazo o cuando por la gravedad del cuadro no es capaz de comunicar en forma oportuna esta condición al personal que la atiende, determina problemas adicionales.

La no consideración de un estudio alternativo, la realización del examen sin medidas especiales de protección y en algunas ocasiones la imposibilidad de rescatar con exactitud los parámetros técnicos utilizados, pueden determinar estudios innecesarios o dosis mayores a las deseables.

Para evitar la irradiación accidental del feto es necesario siempre preguntar, previo a la indicación y realización del examen, por la posibilidad de embarazo en pacientes en edad fértil, datos de la historia menstrual o técnicas de contracepción en uso.

Frente a la duda, la exploración debe ser pospuesta hasta la realización de un test de embarazo. Si esto no es posible y el examen constituye una emergencia, debe ser realizado considerando a la paciente como embarazada.

Cuando, a pesar de todas estas consideraciones, se produce la exposición accidental de un feto in útero, se debe realizar igualmente una estimación de la dosis aportada y del riesgo, lo que permite realizar la evaluación objetiva de la situación, basada en datos científicos.

CONCLUSIÓN

La radiación ionizante tiene un efecto conocido sobre las estructuras biológicas, siendo el feto en desarrollo un paciente vulnerable a estos efectos, los que dependen de la edad gestacional y de la dosis aportada.

Estudios en animales y la experiencia acumulada en pacientes embarazadas sometidas a exámenes de imágenes que utilizan radiación, han permitido determinar que los estudios de radiografía simple, radiología contrastada y tomografía computada de regiones anatómicas distintas al abdomen y la pelvis, aportan bajas dosis de radiación (menores a 10 mGy) con escaso riesgo de malformaciones y cáncer en la infancia. Exámenes de tomografía computada de abdomen y pelvis, donde la radiación es directa sobre el útero, determinan obviamente dosis más altas. Estas dosis, sin embargo, aún pueden mantenerse bajo el umbral de dosis considerado como significativo por múltiples autores (50 mGy), ajustando los parámetros técnicos y restringiendo las exploraciones.

Es importante tener en cuenta que la mayoría de los reportes hacen mención a exploraciones únicas. Si bien los datos aportados nos entregan cierta tranquilidad para indicar un examen de imágenes en esta etapa, no debemos olvidar que la radiación tiene un efecto acumulativo y que la radiación recibida por el feto se sumará a la que recibirá durante la infancia.

La indicación razonable e informada de estos estudios, así como su realización en óptimas condiciones técnicas, debieran permitir que los exámenes que utilizan radiación en su proceso de imágenes colaboren en forma oportuna con el diagnóstico de las patologías sobrepuestas al embarazo con mínimo riesgo para el feto, tanto de alteraciones durante su desarrollo intrauterino como de cáncer después del nacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. De Santis M, Di Gianantonio E, Straface G, Cavaliere AF, Caruso A, Schiavon F, et al. "Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis. A review of the literature." *Reprod Toxicol*. 2005; 20: 323-329.
2. Osei EK, Faulkner K. "Fetal doses from radiological examinations" *Br J Rad*. 1999; 72: 773-780.
3. Patel SJ, Reede DL, Katz DS, Subramaniam R, Amorosa JK. Imaging the pregnant patient for nonobstetric conditions: algorithms and radiation dose considerations. *Radiographics*. 2007 Nov-Dec;27(6):1705-22.
4. Damilakis J., Pregnancy and diagnostic X-rays. *Eur Radiol Syllabus*. 2004; 14:33-39.
5. Brent R., Mettler F. Pregnancy Policy. *AJR*. 2004; 182:819-822.
6. Damilakis J., Perisinakis K., Prassopoulos P., Dimovasili E., Varveris

H., Gourtsoyannis N. Conceptus radiation dose and risk from chest screen-film radiography. *Eur Radiol.* 2003; 13: 406–412.

7. Donadieu J., Zeghnoun A., Roudier C., Maccia C., Pirard P., André C., et al. Cumulative effective doses delivered by radiographs to preterm infants in a neonatal intensive care unit.. *Pediatrics.* 2006 Mar;117(3):882-8.

8. Winer-Muram H., Boone J., Brown H., Jennings S., Mabie W., Lombardo G. Pulmonary embolism in pregnant patients: Fetal radiation dose with helical CT. *Radiology.* 2002; 224: 487 – 492.

9. Dietrich MF, Miller KL., King SH. "Determination of potential uterine (conceptus) doses from axial and helical CT scans" *Rad Safety Journal.* 2005; 88 Suppl 1 : S10- S13.

10. Lazarus E., Mayo-Smith W., Mainiero M., Spencer P. CT in the Evaluation of Nontraumatic Abdominal Pain in Pregnant Women. *Radiology.* 2007; 244(3): 784 -790.

11. Garel C., Brisse H., Sebag G., Elmaleh M., Oury J., Hassan M. Magnetic resonance imaging of the fetus. *Pediatr Radiol.* 1998; 28: 201-211.

12. Huisman TA, Martin E, Kubik-Huch R, Marincek B. Fetal magnetic resonance imaging of the brain: technical considerations and normal brain development. *Eur Radiol.* 2002 Aug;12(8):1941-51.

13. Webb J., Thomsen H., Morcos S. The use of iodinated and gadolinium contrast media during pregnancy and lactation. *Eur Radiol.* 2005; 15: 1234–1240.

14. Concept paper on pregnancy labelling. Summary of comments from a public hearing and model pregnancy labelling based on recommendations.
<http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/99/transcript/3516r1.doc>