

## EXAMES RADIOLÓGICOS NA GESTAÇÃO\*

Giuseppe D'Ippolito<sup>1</sup>, Regina Bitelli Medeiros<sup>2</sup>

**Resumo** Gestantes podem precisar ser submetidas a exames radiológicos para um diagnóstico preciso e conduta correta. Nestes casos a exposição à radiação ionizante e seus efeitos sobre o feto são motivo de preocupação para a paciente e o seu médico. Na verdade, a maioria destes exames é segura e não oferece risco significativo ao feto. No entanto, é importante que o radiologista conheça estes riscos potenciais para poder orientar adequadamente todos os envolvidos no atendimento.

*Unitermos:* Radiação ionizante; Gestação; Tomografia computadorizada; Exame radiológico.

**Abstract** *X-ray examinations during pregnancy.*

**X-ray examinations may be necessary during pregnancy for an accurate diagnosis and adequate treatment administration. In these cases, the exposure to ionizing radiation and its effects on the fetus are a major concern to the patient and to the clinician. In fact, most of these examinations are safe and do not represent a significant risk to the fetus. However, the radiologist must know the potential risks to be able to instruct all personnel involved in the care of the patient.**

*Key words:* Ionizing radiation; Pregnancy; Computed tomography; X-ray studies.

### INTRODUÇÃO

Exames de diagnósticos por imagem são freqüentemente realizados durante a gestação para avaliar afecções maternas pre-existent, inerentes à gravidez ou relacionadas ao feto. Os métodos mais difundidos são aqueles com pouco ou nenhum efeito sobre o feto, tais como a ultra-sonografia (US) e, mais recentemente, a ressonância magnética (RM)<sup>(1-3)</sup>. Os exames radiológicos são geralmente relegados a um segundo plano e eventualmente descartados ou adiados, em virtude da apreensão gerada pelos potenciais riscos à saúde do feto; no entanto, um diagnóstico postergado ou perdido, em função da não utilização destes exames, pode ser mais nocivo à saúde materna e do próprio feto do que os possíveis riscos associados ao uso da radiação ionizante<sup>(4-6)</sup>. Conhecer os princípios e efeitos biológicos das radiações ionizantes, bem como os limiares de doses associadas a efeitos deletérios sobre o embrião e o

feto, permite medir os riscos e justificar a utilização de determinados métodos radiológicos em benefício da gestante.

### DEFINIÇÃO E MENSURAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Qualquer discussão a respeito dos efeitos da radiação ionizante prescinde de uma clara compreensão sobre o que é a radiação ionizante e como esta é medida (dosimetria). Podemos definir a radiação ionizante como ondas eletromagnéticas de alta energia (raios X ou raios gama) que, ao interagirem com a matéria, desencadeiam uma série de ionizações, transferindo energia aos átomos e moléculas presentes no campo irradiado e promovendo, assim, alterações físico-químicas intracelulares<sup>(7)</sup>.

Para se entender os efeitos relacionados à exposição à radiação ionizante deve-se definir as grandezas físicas utilizadas para quantificá-la. Com o objetivo de se medir a energia depositada por um feixe de fótons de alta energia (raios X ou raios gama) em um tecido biológico e os seus efeitos sobre este tecido, foi criada a grandeza “dose absorvida”. A dose absorvida de radiação é a energia depositada por quilograma de tecido e é expressa em “rad” (“radiation absorbed dose”, ou dose de radiação absorvida). Pelo sistema internacional de medidas utiliza-se a unidade “gray” (Gy), que equivale a 100 rad. Ela é adotada para qual-

quer tipo de radiação ionizante e não especificamente para o uso de raios-X (RX). Os efeitos biológicos não dependem apenas da dose de radiação absorvida (Gy), mas também das características da radiação ionizante e da sua capacidade de produzir íons e dissipar energia em sua trajetória no meio ou tecido. Por esta razão foi proposta, para o uso clínico de exames radiológicos, a grandeza “dose equivalente”, usando-se a unidade “rem” (“roentgen equivalent man”, ou equivalente em roentgen no homem), que leva em consideração a qualidade da radiação e como a energia se transfere ao tecido. Para as radiações eletromagnéticas X ou gama, 1 rem equivale a 1 rad. No sistema internacional de medidas, a unidade de dose equivalente foi denominada “sievert” (Sv) e 1 Sv equivale a 100 rem, assim como 1 Gy equivale a 100 rad. Podemos dizer que a dose absorvida de 1 Gy proporcionará uma dose equivalente de 1 Sv. Resumindo, a dose absorvida pode ser medida, atualmente, em Gy e corresponde à dose equivalente, que é medida em Sv. Na dosimetria das radiações utilizam-se freqüentemente os submúltiplos mili (m) e micro ( $\mu$ ) para indicar valores que correspondem a 0,001 Gy (1 mGy) e 0,000001 Gy (1  $\mu$ Gy)<sup>(7)</sup>.

A importância destas unidades de dose está na sua utilização para estimar a radiação absorvida pelo feto em exames radiológicos, como pode ser visto na Tabela 1.

\* Trabalho realizado no Departamento de Diagnóstico por Imagem (DDI) da Escola Paulista de Medicina/Universidade Federal de São Paulo (EPM/Unifesp), São Paulo, SP

1. Professor do DDI-EPM/Unifesp, Coordenador do Serviço de US/TC/RM do Hospital São Luiz.

2. Professora Adjunta do DDI-EPM/Unifesp, Chefe da Coordenadoria de Física e Higiene das Radiações.

Endereço para correspondência: Prof. Dr. Giuseppe D'Ippolito. Rua Professor Filadelfo Azevedo, 617, ap. 61, Vila Nova Conceição. São Paulo, SP, 04508-001. E-mail: giuseppe\_dr@uol.com.br

Recebido para publicação em 10/5/2004. Aceito, após revisão, em 9/12/2004.

**Tabela 1** Dose média de radiação absorvida pelo feto em exames radiológicos<sup>(8,9)</sup>.

| Exame radiológico            | Dose média absorvida pelo feto (mGy) |
|------------------------------|--------------------------------------|
| RX de tórax (PA e perfil)    | < 0,01                               |
| RX simples de abdome         | 2-3                                  |
| Urografia excretora          | 4-9                                  |
| RX de coluna lombar          | 4-6                                  |
| TC do tórax (axial)          | 0,30                                 |
| TC de abdome e pelve (axial) | 2,5-5                                |
| TC de crânio (axial)         | < 0,30                               |

PA, pósterio-anterior.

## EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE DURANTE A GESTAÇÃO

As radiações ionizantes têm a capacidade de alterar as características físico-químicas das moléculas de um determinado tecido biológico. As células com alta taxa de proliferação são mais sensíveis à radiação ionizante e são encontradas em tecidos de alta atividade mitótica ou tecidos denominados de resposta rápida. A radiosensibilidade é inversamente proporcional ao grau de diferenciação celular (quanto menos diferenciada é a célula, mais radiosensível ela é) e diretamente proporcional ao número de divisões celulares necessárias para que a célula alcance a sua forma “matura”. Portanto, as células humanas mais radiosensíveis são as células da epiderme, os eritroblastos, as células da medula óssea e as células imaturas dos espermatozoides. Ao contrário, células nervosas ou musculares, que não se dividem e são bem diferenciadas, são muito riorresistentes<sup>(7)</sup>. A morte clonogênica ou falência reprodutiva da célula está associada à resposta lenta ao reparo após irradiação dos tecidos, enquanto a suscetibilidade à morte celular por apoptose é associada aos tecidos de resposta rápida<sup>(10)</sup>.

Os efeitos biológicos decorrentes das radiações ionizantes podem ser divididos em determinísticos e estocásticos. Os efeitos determinísticos são aqueles conseqüentes à exposição a altas doses de radiação e dependem diretamente desta exposição, como a morte celular (de células malignas submetidas à radioterapia), as queimaduras de pele, a esterilidade ou a ocorrência de cataratas. Os efeitos estocás-

ticos ou aleatórios são aqueles não aparentes e que se manifestam após meses ou anos da exposição à radiação, não permitindo estabelecer claramente uma relação de “causa e efeito”. Estão relacionados a baixas doses de radiação, como aquelas decorrentes de exposições freqüentes às quais os profissionais que trabalham com radiação estão sujeitos. A probabilidade da ocorrência do efeito estocástico é proporcional à dose e os efeitos mais relevantes são a mutação e a carcinogênese<sup>(7)</sup>. Ao contrário dos efeitos determinísticos, é difícil estabelecer com segurança uma relação causal entre o efeito estocástico e a exposição à radiação ionizante, em virtude da grande quantidade de variáveis envolvidas e do longo tempo de latência para o aparecimento de um câncer de origem radiogênica<sup>(11)</sup>. Por este motivo, os principais estudos sobre efeitos estocásticos são aqueles realizados a partir da análise das populações submetidas a explosões nucleares, como Hiroshima e Nagasaki<sup>(12-15)</sup>, ou a acidentes nucleares, como Chernobyl<sup>(16-18)</sup>. Mesmo assim, é importante observar que as conclusões obtidas nesses estudos referem-se a uma população submetida à exposição aguda de alta dose de radiação ionizante e que não reflete a realidade das pequenas doses às quais profissionais e pacientes são submetidos durante exames radiológicos de rotina. Neste contexto, também é oportuno lembrar que todos os seres vivos encontram-se permanentemente expostos à radiação natural ou de fundo, conhecida também como “background”, que consiste na presença de radiações provenientes de radioisótopos normalmente presentes no meio ambiente e decorrentes da radiação da crosta terrestre e radiação cósmica, entre outras fontes, e que em alguns países industrializados é de cerca de 3 mSv/ano<sup>(7)</sup>.

Para a gestante, esses efeitos biológicos são idênticos aos sofridos por uma mulher que não esteja grávida e não serão discutidos neste artigo. Por outro lado, os efeitos biológicos decorrentes da exposição à radiação ionizante pelo feto merecem destaque e podem ser divididos em quatro categorias: a) óbito intra-uterino; b) malformações; c) distúrbios do crescimento e desenvolvimento; d) efeitos mutagênicos e carcinogênicos<sup>(11)</sup>.

A ocorrência desses efeitos depende da dose de radiação absorvida e da idade gestacional. Geralmente, baixas doses de radiação absorvida podem provocar dano celular transitório e passível de ser reparado pelo próprio organismo. Por outro lado, altas doses de radiação podem interromper o desenvolvimento e a maturação celular, provocando a morte fetal ou malformações<sup>(11)</sup>.

O embrião é mais sensível aos efeitos da radiação ionizante nas duas primeiras semanas de gestação; durante este período, o embrião exposto à radiação permanecerá intacto ou será reabsorvido ou abortado<sup>(11,19)</sup>. Considera-se risco de morte fetal neste período quando a exposição for superior a 10 rad (100 mGy)<sup>(19,20)</sup>. Durante a 3ª e 15ª semanas de gestação (quando ocorre a organogênese), o dano no embrião pode ser decorrente de morte celular induzida pela radiação, distúrbio na migração e proliferação celular<sup>(8)</sup>. Nesta fase podem ocorrer graves anormalidades no sistema nervoso central, que está em formação (por exemplo, hidrocefalia e microcefalia). Quando o feto é exposto a doses superiores a 100 mGy, podem ocorrer retardo mental e redução de cerca de 30 pontos no quociente de inteligência (QI) para cada 100 mGy acima do limite superior tolerado<sup>(20,21)</sup>. É importante lembrar, no entanto, que é muito difícil que em exames diagnósticos de rotina, mesmo quando realizados com campo de irradiação direto sobre o útero, o feto seja exposto a essas doses de radiação. Entre a 16ª e 30ª semanas de gestação permanecem os riscos de retardo mental, inibição do crescimento do feto e microcefalia. Após a 32ª semana de gestação não há riscos significativos ao feto, excetuando-se um possível aumento do risco de desenvolver uma neoplasia maligna durante a infância ou a maturidade<sup>(20)</sup>. Neste sentido é importante observar que a incidência natural de anomalias congênitas na população em geral varia entre 0,5% e 5%<sup>(7,20)</sup>. Segundo diversos estudos, a probabilidade de malformações congênitas induzidas por exposição à radiação ionizante é da ordem de 0,5% para uma dose de 10 mGy<sup>(22)</sup>; os riscos de microcefalia e retardo mental são de 0,4% e 0,1%, respectivamente, para uma dose de 10 mGy<sup>(15)</sup>. Por outro lado, não foram identificados

casos de retardo mental grave em crianças que foram expostas à radiação da bomba atômica antes da 8ª semana e depois da 25ª de gestação<sup>(23)</sup>. A maioria dos estudos não tem demonstrado nenhum efeito adverso no feto relacionado à radiação ionizante em doses menores que 50 mGy<sup>(11,19)</sup>.

Vários trabalhos têm demonstrado que quando o útero é submetido mesmo a baixas doses de radiação (20 mGy) aumenta o risco do feto desenvolver câncer na infância, e principalmente aumenta o risco de ocorrência de leucemia, por uma fator de 1,5 a 2,0 quando comparado à incidência natural<sup>(11,24,25)</sup>. Porém, não está ainda claro se esta exposição deve ocorrer durante a gestação ou pode precedê-la<sup>(11)</sup>. A Tabela 2 apresenta o risco de desenvolver leucemia em diversos grupos populacionais<sup>(26)</sup>.

## EXAMES RADIOLÓGICOS DURANTE A GESTAÇÃO

Exames de RX de crânio, tórax, coluna cervical, torácica e de extremidades expõem o feto a mínima radiação e virtualmente nula ou não mensurável<sup>(27)</sup>. Todavia, alguns cuidados podem e devem ser tomados em pacientes grávidas, tais como usar protetores de chumbo sobre o abdome, colimar o feixe de raios X para a área de interesse e utilizar equipamentos permanentemente calibrados e aferidos. Exames de RX simples de abdome e coluna lombar também podem ser realizados, sem risco para o feto, procurando-se reduzir a dose ao mínimo necessário para se obter imagens diagnósticas<sup>(20,28)</sup>. No entanto, deve-se considerar o fato da gestante estar bastante sensível e fragilizada, preocupada com o fato que a radiação possa afetar o seu feto, o que gera muita angústia e ansiedade. Portanto, sempre que possível devem-se priorizar métodos diagnósticos reconhecidamente inócuos ao feto, como US e RM. Existem evidências de que o uso de radiografias digitais também reduziria a quantidade de radiação ionizante absorvida pela paciente<sup>(29,30)</sup>.

Doenças do trato urogenital, como urolitíase e infecções urinárias complicadas com pielonefrite, podem afetar com frequência a gestante. Nestes casos deve-se utilizar a US e a RM como métodos de rastreamento e detalhamento anatômico. A

**Tabela 2** Risco de desenvolver leucemia após exposição à radiação ionizante intra-útero e outros grupos de risco<sup>(26)</sup>.

| Grupo de risco                      | Risco aproximado | Aumento do risco sobre a média |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Gêmeo idêntico com leucemia         | 1/3              | 1.000                          |
| Policitemia irradiada               | 1/6              | 500                            |
| Síndrome de Bloom                   | 1/8              | 375                            |
| Sobrevivente de Hiroshima (1.000 m) | 1/60             | 50                             |
| Síndrome de Down                    | 1/95             | 30                             |
| Gêmeo com leucemia                  | 1/720            | 4                              |
| Criança exposta intra-útero ao RX*  | 1/2.000          | 1,5                            |
| Crianças americanas < 15 anos       | 1/2.800          | 1                              |

\* Pelvimetria: 5,8 mGy.

US é bastante sensível para a detecção de cálculos nas vias urinárias, perdendo em eficácia quando o cálculo encontra-se localizado no ureter distal; nestes casos a US endovaginal pode ser alternativa diagnóstica eficiente<sup>(31)</sup>. Quando a urografia excretora é indispensável pode-se reduzir a dose de radiação realizando-se apenas uma radiografia dez minutos após a injeção endovenosa do contraste; desta forma, é possível identificar os sistemas coletores e eventuais obstruções.

A dose de radiação absorvida na região abdominal em um exame de TC de crânio, coluna cervical, dorsal e tórax é superior quando comparada aos exames efetuados em equipamentos radiológicos convencionais, porém é bastante reduzida, não oferecendo risco para o feto<sup>(8,9)</sup>; no entanto, é importante usar proteção abdominal como avental de chumbo para tranquilizar a paciente e reduzir ulteriormente a dose de radiação. Em exames de TC do tórax, abdome, pelve e coluna lombar a dose de radiação absorvida pode ser reduzida diminuindo o campo de visão, a tensão (kV) e o produto da corrente pelo tempo de exposição (mAs) ao mínimo necessário para o diagnóstico, diminuindo o número de cortes e o intervalo entre estes<sup>(32–35)</sup>. Em equipamentos helicoidais, utilizar “pitch” maior (igual ou superior a dois) oferece sensível redução da dose de radiação<sup>(36–38)</sup>.

Mais recentemente, têm sido utilizados tomógrafos com múltiplas fileiras de detectores (“multislice”), o que tem proporcionado vantagens indiscutíveis, principalmente relacionadas à sua rapidez e definição em estudos abdominais e angiográficos (angio-TC). Todavia, esses benefícios têm sido acompanhados de aumento significa-

tivo das doses de radiação absorvida em órgãos abdominais, chegando a um aumento de até 90–180% quando comparada aos equipamentos helicoidais com uma única linha de detectores<sup>(34)</sup>. As doses estimadas em órgãos como rim, ovário e útero foram comparadas entre essas duas tecnologias e valores consideravelmente mais altos foram atribuídos, principalmente à configuração e geometria do feixe dos tomógrafos “multislice”<sup>(34)</sup>. Sabe-se que há um compromisso entre dose e qualidade de imagem e que vários fatores influenciam as doses nos órgãos. Sendo assim, decisões sobre expor regiões que incluam órgãos reprodutores devem ser baseadas em critérios técnicos e avaliadas quanto aos riscos biológicos. Ao mesmo tempo que a tecnologia “multislice” se consolida como ferramenta extremamente útil em estudos toracoabdominais e em outras regiões anatômicas, deve-se investir na otimização de protocolos que visem a controlar e limitar a dose de radiação emitida, principalmente quando utilizada em gestantes.

O contraste iodado utilizado em exames radiográficos e tomográficos, quando injetado por via intravenosa, atravessa a placenta materna produzindo efeitos transitórios sobre o desenvolvimento da tireóide fetal. Novamente, a sua utilização deverá ser considerada dentro do contexto dos possíveis benefícios obtidos pela gestante.

## RECOMENDAÇÕES PARA EXAMES RADIOLÓGICOS EM GESTANTES

A indicação de exames radiológicos deve considerar o benefício obtido pela gestante e a disponibilidade de exames alternativos e inócuos ao feto, como a US e

a RM. Devem ser levados em conta a idade gestacional, a condição física da paciente e distúrbios gestacionais associados. Deve ser também previamente estimada a dose de radiação absorvida pelo feto com base no protocolo de exame planejado.

A exposição a doses de radiação inferiores a 50 mGy não tem sido associada a aumento do risco de aborto, anomalias congênitas, retardo mental ou mortalidade neonatal. Portanto, considera-se que dose de radiação fetal inferior a 100 mGy não é indicativa para interrupção da gravidez. Todavia, deve-se considerar esta opção quando a dose absorvida e calculada for superior a 250 mGy<sup>(7,20)</sup>. Não existem exames radiológicos únicos que exponham o feto a este nível de radiação, mas numa combinação de exames isto pode ocorrer.

Sempre que o exame radiológico for necessário e indicado, deve-se discutir a sua utilidade, riscos e benefícios com a paciente e seus familiares. É importante também informá-la dos riscos inerentes à gravidez e não relacionadas à exposição à radiação, para a ocorrência de aborto, anomalias congênitas e retardo do crescimento fetal (e que podem ocorrer em 20%, 4% e 10% dos casos, respectivamente).

Os exames radiológicos devem ser feitos em instituições que possam garantir a adoção de medidas efetivas de proteção radiológica e possuam equipamentos modernos e regularmente calibrados e aferidos. O médico radiologista é geralmente o profissional mais preparado para avaliar a melhor opção diagnóstica em determinada situação clínica, garantindo segurança à gestante e ao feto.

#### REFERÊNCIAS

- Levine D. Ultrasound versus magnetic resonance imaging in fetal evaluation. *Top Magn Reson Imaging* 2001;12:25-38.
- Levine D. Magnetic resonance imaging in prenatal diagnosis. *Curr Opin Pediatr* 2001;13:572-578.
- Lowe TW, Weinreb J, Santos-Ramos R, Cunningham FG. Magnetic resonance imaging in human pregnancy. *Obstet Gynecol* 1985;66:629-633.
- Ames Castro M, Shipp TD, Castro EE, Ouzounian J, Rao P. The use of helical computed tomography in pregnancy for the diagnosis of acute appendicitis. *Am J Obstet Gynecol* 2001;184:954-957.
- Chan WS, Ginsberg JS. Diagnosis of deep vein thrombosis and pulmonary embolism in pregnancy. *Thromb Res* 2002;107:85-91.
- Goldman SM, Wagner LK. Radiologic management of abdominal trauma in pregnancy. *AJR* 1996;166:763-767.
- Biral AR. Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos. 1ª ed. Florianópolis: Insular, 2002; 232.
- Bentur Y. Ionizing and nonionizing radiation in pregnancy. In: Koren G, editor. *Maternal-fetal toxicology*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1994; 515.
- Padovani R, Contento G, Fabretto M, Malisan MR, Barbina V, Gozzi G. Patient doses and risks from diagnostic radiology in North-east Italy. *Br J Radiol* 1987;60:155-165.
- Segreto HRC, Segreto RA. Revisão e atualização em radiobiologia: aspectos celulares, moleculares e clínicos. *Folha Médica* 2000;119:9-27.
- Brent RL. The effect of embryonic and fetal exposure to x-ray, microwaves, and ultrasound: counseling the pregnant and nonpregnant patient about these risks. *Semin Oncol* 1989;16:347-368.
- Kato H. Mortality in children exposed to the A-bombs while in utero, 1945-1969. *Am J Epidemiol* 1971;93:435-442.
- Schull WJ, Otake M, Neel JV. Genetic effects of the atomic bombs: a reappraisal. *Science* 1981;213:1220-1227.
- Darby SC, Doll R, Pike MC. Detection of late effects of ionizing radiation: why deaths of A-bomb survivors are a valuable resource. *Int J Epidemiol* 1985;14:637-639.
- Otake M, Schull WJ, Yoshimaru H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. *J Radiat Res (Tokyo)* 1991;32 Suppl:249-264.
- Petridou E, Trichopoulos D, Dessypris N, et al. Infant leukaemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl. *Nature* 1996;382:352-353.
- Castronovo FP Jr. Teratogen update: radiation and Chernobyl. *Teratology* 1999;60:100-106.
- Rytomaa T. Ten years after Chernobyl. *Ann Med* 1996;28:83-87.
- Paula LC, Medeiros RB. Exposição à radiação no período pré natal. *Folha Médica* 2001;120:213-219.
- Plaut S. Radiation protection in the X-ray department. London: Butterworth & Heinemann, 1993; 157.
- Miller RW. Effects of prenatal exposure to ionizing radiation. *Health Phys* 1990;59:57-61.
- Mettler FA, Sinclair WK, Anspaugh L, et al. The 1986 and 1988 UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) reports: findings and implications. *Health Phys* 1990;58:241-250.
- Otake M, Schull WJ, Neel JV. Congenital malformations, stillbirths, and early mortality among the children of atomic bomb survivors: a reanalysis. *Radiat Res* 1990;122:1-11.
- Stewart A. Detecting the health risks of radiation. *Med Confl Surviv* 1999;15:138-148.
- Stewart A, Kneale GW. Radiation dose effects in relation to obstetric x-rays and childhood cancers. *Lancet* 1970;1:1185-1188.
- Miller RW. Epidemiologic conclusions from radiation toxicity studies. In: Fry RJ, Grahn D, Griem MI, Rust JH, editors. *Late effects of radiation*. London: Taylor & Francis, 1970.
- Toppenberg KS, Hill DA, Miller DP. Safety of radiographic imaging during pregnancy. *Am Fam Physician* 1999;59:1813-1818, 1820.
- Hall EJ. Scientific view of low-level radiation risks. *RadioGraphics* 1991;11:509-518.
- Volk M, Hamer OW, Feuerbach S, Strotzer M. Dose reduction in skeletal and chest radiography using a large-area flat-panel detector based on amorphous silicon and thallium-doped cesium iodide: technical background, basic image quality parameters, and review of the literature. *Eur Radiol* 2004;14:827-834.
- Berkhout WE, Beuger DA, Sanderink GC, van der Stelt PF. The dynamic range of digital radiographic systems: dose reduction or risk of overexposure? *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:1-5.
- Laing FC, Benson CB, DiSalvo DN, Brown DL, Frates MC, Loughlin KR. Distal ureteral calculi: detection with vaginal US. *Radiology* 1994;192:545-548.
- Kalra MK, Prasad S, Saini S, et al. Clinical comparison of standard-dose and 50% reduced-dose abdominal CT: effect on image quality. *AJR* 2002;179:1101-1106.
- Nickoloff EL, Dutta AK, Lu ZF. Influence of phantom diameter, kVp and scan mode upon computed tomography dose index. *Med Phys* 2003;30:395-402.
- Thomton FJ, Paulson EK, Yoshizumi TT, Frush DP, Nelson RC. Single versus multi-detector row CT: comparison of radiation doses and dose profiles. *Acad Radiol* 2003;10:379-385.
- Heneghan JP, McGuire KA, Leder RA, DeLong DM, Yoshizumi T, Nelson RC. Helical CT for nephrolithiasis and ureterolithiasis: comparison of conventional and reduced radiation-dose techniques. *Radiology* 2003;229:575-580.
- Pages J, Buis N, Osteaux M. CT doses in children: a multicentre study. *Br J Radiol* 2003;76:803-811.
- McLean D, Malitz N, Lewis S. Survey of effective dose levels from typical paediatric CT protocols. *Australas Radiol* 2003;47:135-142.
- Cohnen M, Poll LJ, Puettmann C, Ewen K, Saleh A, Modder U. Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning. *Eur Radiol* 2003;13:1148-1153.