

EXAMES RADIOLÓGICOS NA GESTAÇÃO*

Giuseppe D'Ippolito¹, Regina Bitelli Medeiros²

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)⁽¹⁻³⁾. 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⁽⁴⁻⁶⁾. 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⁽⁷⁾.

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 (μ) para indicar valores que correspondem a 0,001 Gy (1 mGy) e 0,00001 Gy (1 μ Gy)⁽⁷⁾.

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^(8,9).

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 radorresistentes⁽⁷⁾. 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⁽¹⁰⁾.

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⁽⁷⁾. 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⁽¹¹⁾. 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⁽¹²⁻¹⁵⁾, ou a acidentes nucleares, como Chernobyl⁽¹⁶⁻¹⁸⁾. 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⁽⁷⁾.

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⁽¹¹⁾.

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⁽¹¹⁾.

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^(11,19). Considera-se risco de morte fetal neste período quando a exposição for superior a 10 rad (100 mGy)^(19,20). 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⁽⁸⁾. 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^(20,21). 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⁽²⁰⁾. Neste sentido é importante observar que a incidência natural de anomalias congênitas na população em geral varia entre 0,5% e 5%^(7,20). 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⁽²²⁾; os riscos de microcefalia e retardo mental são de 0,4% e 0,1%, respectivamente, para uma dose de 10 mGy⁽¹⁵⁾. 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⁽²³⁾. A maioria dos estudos não tem demonstrado nenhum efeito adverso no feto relacionado à radiação ionizante em doses menores que 50 mGy^(11,19).

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^(11,24,25). Porém, não está ainda claro se esta exposição deve ocorrer durante a gestação ou pode precedê-la⁽¹¹⁾. A Tabela 2 apresenta o risco de desenvolver leucemia em diversos grupos populacionais⁽²⁶⁾.

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⁽²⁷⁾. 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^(20,28). 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^(29,30).

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⁽²⁶⁾.

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⁽³¹⁾. 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^(8,9); 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^(32–35). Em equipamentos helicoidais, utilizar “pitch” maior (igual ou superior a dois) oferece sensível redução da dose de radiação^(36–38).

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⁽³⁴⁾. 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”⁽³⁴⁾. 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^(7,20). 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.