

World Gastroenterology Organisation Practice Guidelines



Proteção contra radiação na sala de endoscopia

**Minimização da exposição à radiação
para pacientes e pessoal em endoscopia:
Diretriz conjunta da ASGE*/IAEA**/WGO*****

Equipe de Revisão:

Lance Uradomo (EUA)
Henry Cohen (Uruguai)
Michael Fried (Suíça)
John Petrini (EUA)
Madan Rehani (Áustria)

* American Society for Gastrointestinal Endoscopy (Sociedade Americana de Endoscopia Gastrointestinal)

** International Atomic Energy Agency (Agência Internacional de Energia Atômica)

*** World Gastroenterology Organization (Organização Mundial de Gastroenterologia)

Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Radiação em gastroenterologia
- 3 Efeitos da radiação
- 4 Proteção do pessoal e dos pacientes contra a radiação
- 5 Cascatas: opções de manejo considerando os recursos disponíveis
- 6 Circunstâncias especiais
- 7 Apêndice: quantidades e unidades de radiação
- 8 Referências

1 Introdução

A radiação ionizante é usada na medicina para fins diagnósticos e terapêuticos. A maioria dos gastroenterologistas está familiarizada com o uso da radiação para o diagnóstico da patologia do trato gastrointestinal, a avaliação das vísceras sólidas abdominais e a colocação de dispositivos terapêuticos. Em todos os casos, é essencial contar com indicações apropriadas, evitando a exposição desnecessária dos pacientes e do pessoal a uma radiação potencialmente nociva. Os usos terapêuticos da radiação estão além do alcance desta diretriz.

2 Radiação em gastroenterologia

O uso de radiação ionizante em gastroenterologia hoje está passando por um período de transição. No passado, os gastroenterologistas realizavam uma série de intervenções envolvendo exposição à radiação, inclusive estudos radiológicos do aparelho gastrointestinal, colocação de tubos para biópsia no intestino delgado, dilatação esofágica, e ajuda na realização da colonoscopia, bem como nos procedimentos diagnósticos e terapêuticos praticados no sistema biliopancreático durante a CPRE (colangiopancreatografia retrógrada endoscópica ou ERCP por suas siglas em inglês). A maior parte da exposição aos raios-X se deve atualmente à CPRE, à colocação de stents luminais e à dilatação luminal. Os gastroenterologistas que utilizam procedimentos de CPRE podem trabalhar em centros especializados e podem realizar múltiplos procedimentos diariamente. Em todas as circunstâncias onde os equipamentos fluoroscópicos e/ou de raios-X são usados, os gastroenterologistas devem reduzir ao máximo os riscos para os pacientes, eles mesmos e o resto do pessoal.

Recomenda-se diminuir ao máximo o tempo da fluoroscopia quando usada para ajudar na colonoscopia, para uma dilatação, ou para colocar um stent luminal.

Durante a CPRE, se usa fluoroscopia para verificar a posição dos cateteres e os fios-guia. Após a injeção de contraste, a fluoroscopia é utilizada para avaliar a anatomia dos sistemas ductais da árvore biliar e do pâncreas, e como ajuda para determinar se a doença está presente. Geralmente se obtém um registro fotográfico para documentar os achados, capturando a última imagem fluoroscópica, um ponto imagem, ou uma sequência de imagens, dependendo das características do equipamento usado. Finalmente, também se usa a fluoroscopia para ajudar na terapia—por exemplo, esfínterotomia, remoção de cálculos, biópsia ou citologia, e colocação de um stent. Outros aparelhos que permitem a visualização direta da anatomia ductal podem reduzir a necessidade de fluoroscopia.

Para o paciente, a fonte de exposição é o feixe de raios-X direto do tubo de raios-X. Estima-se que os pacientes recebem aproximadamente 2 a 16 minutos de fluoroscopia durante a CPRE, e que os procedimentos terapêuticos levam muito mais tempo. Os estudos acharam que durante uma CPRE se usam valores do produto dose área (PDA) de aproximadamente 13–66 Gy/cm². Foram descritas doses eficazes que variam de 2 a 6 mSv por procedimento.

Para os endoscopistas e o resto do pessoal, a principal fonte de exposição aos raios-X é a radiação que provem do paciente, e não o feixe primário de raios-X. Foram observadas doses médias eficazes de uns 0.07 mSv por procedimento para o caso dos endoscopistas que usam avental de chumbo. Apesar do corpo do endoscopista estar bem protegido com o avental de chumbo, é possível que as partes do seu corpo não protegidas recebam doses importantes. Foram descritas doses médias nos olhos de cerca de 0.1–1.7 mGy por procedimento e de cerca de 0.5 mGy nas mãos. As doses que recebe o pessoal auxiliar são geralmente uns poucos fatores mais baixas, dependendo da posição e do tempo que passem perto da fonte de raios-X, porque normalmente ficam parados longe do paciente.

3 Efeitos da radiação

Os raios-X consistem em radiação ionizante, como raios gama ou outros tipos de radiação emitida pelas substâncias radioativas. Os raios provocam ionização no meio pelo qual atravessam. Essa ionização pode provocar dano do ADN ou morte celular. O assunto dos efeitos da radiação precisa explicações, porque frequentemente o que determina a percepção do risco é o medo à radiação, ou a complacência com respeito à radiação, antes que o risco real da radiação, ou seus efeitos.

Os efeitos da radiação se dividem basicamente em duas categorias: *os efeitos determinísticos*, como aparecimento de catarata, infertilidade, lesão cutânea, e queda de cabelos; e *os efeitos estocásticos* (câncer e efeitos genéticos). Os efeitos determinísticos (principalmente catarata e queda de cabelos) já foram documentados em radiologistas e cardiologistas intervencionistas. Não foram descritos efeitos desse tipo em gastroenterologistas. A quantidade de radiação que estão usando os gastroenterologistas é relativamente pequena, em comparação com a usada pelos radiologistas e cardiologistas intervencionistas.

O dano depende da quantidade de radiação absorvida no corpo humano, conhecida como a dose de radiação ou simplesmente a “dose.” Enquanto que os efeitos determinísticos têm um limiar, os efeitos estocásticos podem aparecer em qualquer nível de exposição à radiação, mesmo pequena. O princípio que rege os efeitos estocásticos é que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação. Com base nisto, as organizações internacionais concordaram no princípio de “as low as reasonably achievable” (ALARA) (tão baixo quanto razoavelmente possível). Isso não significa que não vão aparecer definitivamente efeitos carcinogênicos ou hereditários a níveis inferiores de radiação (dose de uns poucos milisieverts por ano). É como o risco de sofrer um acidente ao atravessar a rua. Quanto mais atravessar a rua, tanto mais provável é que venha a sofrer um acidente. A gente pode atravessar 100 vezes sem ter nenhum acidente, mas a probabilidade aumenta com cada cruzamento. É à luz disto que o princípio de ALARA se torna importante.

Não é possível documentar os efeitos da radiação ao nível que estão expostos os gastroenterologistas ao realizar uma CPRE ou uma fluoroscopia— quando as ferramentas e princípios de proteção contra radiação apropriados são utilizadas, geralmente se aplicam doses eficazes de corpo inteiro de 0–3 mSv/ano. O limite de dose recomendado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (International Commission on Radiological Protection: ICRP) e adotada pela maioria dos países é 20 mSv/ano. Para situações nas quais o limite de dose anual ultrapassa os

20 mSv, é recomendado não ultrapassar uma dose de 50 mSv em nenhum ano em particular ou 100 mSv após 5 anos. Este limite de dose é baseado no cálculo do risco de radiação ao longo de toda uma vida de trabalho desde os 18 aos 65 anos (47 anos) a uma taxa de 20 mSv por ano, atingindo $20 \times 47 = 940$ mSv (aproximadamente 1 Sv), o que dá um excesso de risco de câncer de um em 1000 por cima da incidência natural de câncer.

4 Proteção contra a radiação para pessoal e pacientes

Os gastroenterologistas talvez se perguntem se é possível trabalhar durante toda sua carreira profissional com radiação sem sofrer nenhum efeito. A resposta é sim, isso é possível—em condições otimizadas, se:

- O equipamento é testado periodicamente para confirmar que funciona corretamente.
- São usados dispositivos de proteção pessoal (avental com uma equivalência adequada de chumbo de 0.25–0.35 mm e do tipo envolvente, protetor de tireóide, protetor ocular, ou proteções para a cabeça/rosto e região de membros inferiores). Segundo dados recentes, atualmente se reconhece que a importância de proteção dos olhos contra a formação de catarata é maior do que se pensava anteriormente.
- São utilizados dispositivos de controle do pessoal para calcular a exposição à radiação.
- A técnica apropriada é usada conforme discutida a seguir.

Enquanto que as mãos podem tolerar mais radiação (500 mSv por ano como limite de dose), é considerada melhor prática manter as mãos fora do feixe de radiação primário, em vez de usar luvas de chumbo.

Há situações nas quais a proteção do paciente pode representar um desafio considerável. Até só uns 10 anos atrás, os programas de proteção contra radiação foram determinados fundamentalmente pelas preocupações em relação à proteção do pessoal. A maioria dos países adotou um sistema no qual é obrigatório monitorar a dosagem de radiação do pessoal que trabalha com radiação e manter registros vitalícios da dosagem. Pensava-se que a proteção dos pacientes era menos importante, na falsa suposição que os pacientes são submetidos a exames com radiação ionizante só algumas vezes durante sua vida. Sempre se pensou que o conceito de limitação de dose não se aplicava aos pacientes, pois era importante não limitar os benefícios médicos associados ao uso da radiação. Porém, foram documentados casos de lesões por radiação, particularmente na pele dos pacientes, entre os indivíduos submetidos a procedimentos intervencionistas em cardiologia e radiologia com períodos de fluoroscopia prolongados (1 hora ou mais), ou naqueles que foram submetidos a procedimentos repetidos em um mesmo lugar. A proteção dos pacientes está cobrando agora uma maior importância, pois foi reconhecida a possibilidade de que os pacientes estejam expostos a uma radiação muito mais alta; um paciente durante umas poucas tomografias computadorizadas (TC) pode chegar a receber mais radiação do que um membro do pessoal durante sua vida inteira.

A ênfase inicial sobre a proteção do pessoal melhorou efetivamente sua segurança. Os dados apresentados pelo United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: (UNSCEAR) (a Comitê Científico das Nações Unidas para Efeitos

da Radiação Atômica) mostram que a dose de radiação eficaz média recebida por aqueles que trabalham com radiação ionizante na prática médica é habitualmente inferior a 2 mSv por ano [1]. Isto é inferior ao que a gente recebe de fontes de radiação naturais, conhecidas como radiação de fundo (por exemplo, radiação cósmica, radônio, radiação proveniente de materiais de construção, planeta, alimentos). A radiação de fundo depende de vários fatores, envolvendo principalmente o lugar de residência. A dose média global é 2.4 mSv por ano, mas pode chegar até 10 mSv por ano em alguns lugares do planeta onde é sabido que existem grandes depósitos de substâncias radioativas, e dependendo do nível local de radônio.

A dose de radiação recebida pelo paciente depende de vários fatores, inclusive dos listados abaixo.

Fatores relacionados ao paciente

- Massa corporal ou espessura da parte do corpo exposta ao feixe de raios-X. Os pacientes nos quais uma parte do corpo de maior espessura é colocada no feixe requerem doses mais altas para obter imagens de boa qualidade.
- Jovens. Os tecidos em pacientes pediátricos (incluindo tireóide, gônadas e mamas) são muito mais susceptíveis aos efeitos nocivos da radiação em comparação com os adultos.
- A doença do paciente e as indicações do procedimento. Os diagnósticos complexos e aqueles que provavelmente submetem o paciente a intervenções terapêuticas difíceis estão associados a doses mais altas.
- Exposição prévia à radiação. Isto pode aumentar o risco de lesão por radiação.
- Radiosensibilidade em alguns pacientes (por exemplo, aqueles com ataxia-telangiectasia), patologia do tecido conectivo (lúpus discóide), e diabetes mellitus.

Fatores do equipamento

- A programação de fábrica para as doses fluoroscópicas.
- A posição da fonte de raios-X em relação ao paciente e ao pessoal. Colocando o tubo de raios-X por baixo do paciente (undercouch) o pessoal é submetido a uma menor dispersão da radiação.
- Frequência de pulso. As frequências de pulsos mais baixas (como 7.5 ou 15 quadros por segundo) produzem doses de radiação total inferiores por cada procedimento.
- Controle de qualidade apropriado. O funcionamento correto do equipamento fluoroscópico e do equipamento de proteção do pessoal é um componente importante da segurança da radiação.
- A função de retenção da imagem e captura da imagem. Isto permite ao usuário revisar a imagem fluoroscópica por mais tempo sem a necessidade de exposição contínua aos raios-X.
- Níveis de alarme por tempo e taxas de dose mais altas em fluoroscopia. Servem como lembretes eficazes para limitar a fluoroscopia o tempo mais curto possível.
- O uso de máquinas de raios-X digitais. Apesar destes aparatos mais novos serem capazes de reduzir as doses de radiação, podem estar associados a doses de

radiação mais altas devido a um aumento da claridade da imagem sem uma reconhecível exposição excessiva.

Fatores relacionados ao procedimento

- Tempo de fluoroscopia
- Colimação, para reduzir a área de exposição
- Número de imagens radiográficas obtidas
- Ampliação
- Distância entre o paciente e o receptor da imagem (intensificador de imagem ou detector de painel plano)
- Distância entre o tubo de raios-X e o paciente, e angulação do tubo

A dose do paciente pode ser reduzida otimizando os fatores enumerados acima mantendo a maior qualidade de imagem exigida para obter um procedimento bem-sucedido. Especificamente, os passos recomendados incluem:

- Aumentar a distância entre o tubo de raios-X e o paciente
- Manter o receptor de imagem o mais perto possível do paciente
- Manter o pé sobre o pedal só quando for essencial
- Reduzir o número de imagens obtidas (corridas)
- Colimação do feixe de raios-X
- Utilizar fluoroscopia pulsada
- Evitar as ampliações
- Reduzir a exposição aos órgãos radiosensíveis como a mama
- Reduzir as vistas oblíquas

5 Cascatas: opções de manejo considerando os recursos disponíveis

A proteção contra a radiação é tão importante nas instalações modernas como nas instalações com equipamentos mais antigos. É essencial levar uma história adequada dos pacientes, avaliando os procedimentos radiológicos aos quais foram submetidos anteriormente, seus antecedentes de radiosensibilidade, e outros fatores que possam influenciar na exposição à radiação. Em todas as circunstâncias, será exigido aplicar o princípio de ALARA. Os níveis abaixo listados oferecem opções de manejo segundo os recursos disponíveis.

Nível 1: níveis de recursos altos

- Licença outorgada pela correspondente autoridade reguladora de radiação
- Testes regulares e periódicos de controle de qualidade do equipamento e dos dispositivos de proteção para manter um desempenho ótimo
- Captura da última imagem, uso da fluoroscopia pulsada a uma frequência de pulso otimizada
- Dispositivos de proteção pessoal como aventais, óculos plumbíferos, protetores de tireóide, batedores de chumbo e telas

- Uso adequado das identificações de dosimetria do pessoal por parte de todo o pessoal
- Participação em um programa institucional de segurança de radiação
- O pessoal parado ao lado do receptor de imagens, em lugar de ao lado da fonte de raios-X, maximizando a distância entre o pessoal e a fonte de radiação
- Uso de técnica apropriada para minimizar a dose de radiação ao paciente (por exemplo, mantendo o tubo de raios-X o mais longe possível do paciente e o receptor de imagem o mais perto possível, colimação, menor ampliação)
- Registro dos fatores de exposição do paciente à radiação—tempo de fluoroscopia e o produto dose área, conhecido como produto dose-área (PDA)
- Assegurar que todos os membros do pessoal estejam conscientes das doses de radiação que eles e os pacientes recebem, mediante treinamento, particularmente do pessoal novo
- Credenciamento por parte de um grêmio profissional apropriado

Nível 2: níveis médios de recursos

- Licença outorgada pela correspondente autoridade reguladora de radiação
- Dispositivos de proteção do pessoal (avental de chumbo)
- Uso adequado das identificações de dosimetria do pessoal pelo operador principal
- O pessoal parado ao lado do receptor de imagens, em lugar de ao lado da fonte de raios-X, maximizando a distância entre o pessoal e a fonte de radiação
- Uso de técnica apropriada para minimizar a dose de radiação ao paciente (por exemplo, mantendo o tubo de raios-X o mais longe possível do paciente e o receptor de imagem o mais perto possível, colimação, menor ampliação)
- Registro dos fatores de exposição do paciente à radiação—tempo de fluoroscopia e o produto dose área, conhecidos como produto dose-área (PDA)
- Assegurar que todos os membros do pessoal estejam conscientes das doses de radiação que eles e os pacientes recebem, mediante treinamento, particularmente do pessoal novo

Nível 3: níveis mínimos de recursos

- Licença outorgada pela correspondente autoridade reguladora de radiação
- Dispositivos de proteção do pessoal (avental de chumbo)
- O pessoal parado ao lado do receptor de imagens, em lugar de ao lado da fonte de raios-X, maximizando a distância entre o pessoal e a fonte de radiação
- Uso de técnica apropriada para minimizar a dose de radiação ao paciente (por exemplo, mantendo o tubo de raios-X o mais longe possível do paciente e o receptor de imagem o mais perto possível, colimação, menor ampliação)
- Registro dos fatores de exposição do paciente à radiação—tempo de fluoroscopia
- Assegurar que todos os membros do pessoal estejam conscientes das doses de radiação que eles e os pacientes recebem, mediante treinamento, particularmente do pessoal novo

6 Circunstâncias especiais

Gravidez

Quando uma paciente grávida requer CPRE com fins terapêuticos, é preciso otimizar o procedimento respeitando estritamente uma boa técnica, como descrita acima. Além disso, se existe a possibilidade do feixe primário de raios-X interceptar o feto, colocar um avental de chumbo entre a fonte de raios-X e o feto é uma medida eficaz. Para a proporção de exposição do feto à radiação produzida pela radiação que é dispersa dentro do corpo da paciente, a proteção que oferece um avental de chumbo colocado externamente é ineficaz. A posição da paciente (supina, inclinada, ou lateral) deveria ser ajustada para minimizar a exposição do feto [2]. É recomendado utilizar uma projeção pósterio-anterior dos raios-X, pois resulta uma dose fetal 20–30% mais baixa que na projeção ántero-posterior, pois aumenta a proteção fornecida pelos tecidos da mãe. A projeção lateral também oferece uma maior proteção para o feto, mas a taxa de dose de entrada do paciente pode ser de três a sete vezes mais alta em comparação com a projeção frontal. Como resultado, a projeção de perfil produz uma dose fetal mais elevada [2].

Uma técnica alternativa, que evita completamente a exposição à radiação, implica realizar a CPRE sem fluoroscopia, usando técnicas de cateterismo com fio-guia. A coledocoscopia pode ser usada para confirmar a remoção de cálculos. No entanto, este enfoque é tecnicamente difícil e só foi utilizado por endoscopistas da via biliar com muita experiência.

Crianças

Todas as recomendações acima mencionadas se aplicam à pediatria, e se deve dar ênfase especial à proteção da tireóide e das mamas nas meninas pequenas, cobrindo essas regiões ou ajustando o feixe de raios sempre que seja possível.

7 Apêndice: quantidades e unidades de radiação

Dose absorvida é a energia absorvida por unidade de massa em um ponto determinado. É expressa em joules por quilograma (J kg^{-1}), representando a unidade SI gray (Gy). Para uma descrição mais detalhada consultar o Relatório 74 do ICRU [3] e o Relatório Técnico do Organismo Internacional de Energia Atômica (OIEA) 457 [4].

Dose órgão é uma quantidade definida pelo ICRP [5,6] em relação com a probabilidade de aparição de efeitos estocásticos (principalmente indução de câncer) como a dose absorvida em média por um órgão—isto é, o quociente da energia total conferida ao órgão e a massa total do órgão. Se expressa em joules por quilograma (J kg^{-1}), representando ogray (Gy) a unidade SI.

Dose equivalente. A dose equivalente para um órgão ou tecido é a dose órgão corrigida por um fator de ponderação de radiação que leve em conta a efetividade biológica relativa da radiação incidente para produzir efeitos estocásticos. Este fator

de correção é numericamente 1 para os raios-X. É expressa em joules por quilograma (J kg^{-1}), representando o sievert (Sv) a unidade SI.

Dose efetiva é uma quantidade definida pelo ICRP (Comité Internacional de Proteção Radiológica) [5,6] como uma soma ponderada de doses equivalentes para todos os tecidos e órgãos relevantes, para “indicar a combinação de diferentes doses para vários tecidos diferentes e uma forma de correlacioná-los com os efeitos estocásticos totais.” Por conseguinte, isto é aplicável ainda que a distribuição da dose absorvida no corpo humano não seja homogênea. É expressa em joules por quilograma (J kg^{-1}), representando o sievert (Sv) a unidade SI.

A dose efetiva para os pacientes deve ser utilizada com precaução, como indicado no relatório do UNSCEAR 2000 (Comité Científico das Nações Unidas para o Estudo dos Efeitos das Radiações Atômicas):

O Comitê sempre indicou que estas doses efetivas não devem ser usadas diretamente para calcular o efeito deletério (sobre indivíduos ou populações) de exposições médicas através da aplicação, por exemplo, dos coeficientes nominais de probabilidade de morte fornecidos pelo ICRP ... Tais valorações são impróprias e não servem a propósito nenhum, devido às incertezas decorrentes das diferenças demográficas potenciais (em termos de estado de saúde, idade, e sexo) entre as populações particulares de pacientes e as populações gerais para as quais ICRP derivou os coeficientes de risco. Foi sugerido, por exemplo, que a dose efetiva poderia subestimar amplamente o detrimento das exposições de pacientes jovens com fins diagnósticos por um fator de aproximadamente 2 e, inversamente, poderia sobreestimar o efeito deletério da exposição de pacientes idosos por um fator de pelo menos 5 ... Apesar do exposto acima, neste Anexo está resumida a prática em radiologia diagnóstica com fins comparativos, principalmente em termos de doses efetivas recebidas pelos indivíduos expostos a cada tipo de procedimento, levando em conta a quantidade de procedimentos e as doses efetivas coletivas nas populações expostas [ref. 1, pp. 296–7].

É, portanto, possível usar dose efetiva, inclusive dose coletiva, para avaliar a exposição médica diagnóstica, desde que seja feito para fins comparativos e para as mesmas populações de pacientes, ou semelhantes. Se fosse usada para comparar com outras populações, requereria considerações adicionais ou correções significativas.

O kerma no ar é a soma da energia cinética de todas as partículas carregadas liberadas por unidade de massa. Numerosas publicações passadas têm expressado medições em termos da dose absorvida no ar. Publicações recentes e um Código de Prática da AIEA a ser publicado indicam a dificuldade em determinar a dose liberada no ar, especialmente na vizinhança de uma interface; na realidade, o que registra o equipamento de dosimetria não é a energia absorvida a partir da radiação pelo ar, mas a energia transferida pela radiação às partículas carregadas resultantes da ionização. É por isso que o Código de Prática da AIEA e o Relatório 74 de ICRU recomendam o uso do kerma no ar em vez da dose absorvida no ar. A unidade é joules por quilograma (J kg^{-1}), representando o gray (Gy) a unidade SI.

Esta correção é aplicada a quantidades determinadas no ar, tais como o kerma no ar na superfície de entrada (antes que dose no ar na superfície de entrada), o índice de kerma no ar da tomografia computadorizada (em vez de índice de dose de tomografia computadorizada), o produto kerma área (antes que produto dose área) e o comprimento da área do kerma no ar (antes que produto dose - comprimento).

A recomendação acima descrita se refere ao ar. Ao se referir aos tecidos, também é correto calcular a dose absorvida pela pele aplicando o coeficiente de correção necessário para obter a dose absorvida no tecido do kerma no ar.

A dose coletiva é uma medida da quantidade total da dose efetiva multiplicada pelo tamanho da população exposta. É expressa habitualmente em unidades de pessoa-sieverts.

8 Referências

- 1 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation: report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations, 2000 [<http://www.unscear.org/docs/reports/annexd.pdf>].
- 2 Baron TH, Schueler BA. Pregnancy and radiation exposure during therapeutic ERCP: time to put the baby to bed? *Gastrointest Endosc* 2009;69:832–4 [PMID 19327473].
- 3 International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Patient dosimetry for X rays used in medical imaging (Report 74). *J ICRU* 2005; 5(2):1–113 [doi:10.1093/jicru/ndi018].
- 4 International Atomic Energy Agency (IAEA). Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. (Technical Reports Series, no. 457, STI/DOC/010/457). Vienna: IAEA, 2007 [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS457_web.pdf].
- 5 International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP 60). *Ann ICRP* 1991;21(1–3):1–201 [superseded by ref. 6 below].
- 6 International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP 103). *Ann ICRP* 2007;37(2–4):1–332 [Chinese, French, German, and Italian translations available, http://www.icrp.org/annals_list.asp].