

## RADIAÇÃO E EXAMES DIAGNÓSTICOS: QUAL O RISCO REAL?

### RADIATION AND DIAGNOSTIC EXAMS: WHAT IS THE REAL RISK?

#### RESUMO

Andrei Skromov de  
Albuquerque<sup>1</sup>  
Luiz Eduardo Mastrocola<sup>2</sup>

1. Serviço de Radiologia Cardiovascular  
do Fleury Medicina e Saúde e do  
Hospital Alemão Oswaldo Cruz,  
São Paulo, Brasil.

2. Serviço de Medicina Nuclear  
– HCOR, Serviço de Reabilitação  
Cardiovascular - IDPC,  
São Paulo, Brasil.

Correspondência:  
Rua Cincinato Braga, nº 282, Bela  
Vista, São Paulo/SP – CEP 01333-910,  
7º andar, sala de laudos.  
andrei.sa@hotmail.com

O processo de decisão clínica para utilização de radiação ionizante para obter estudos diagnósticos e prognósticos por imagem inclui obrigatoriamente critérios apropriados de indicação e avalia a razão risco-benefício dentro do princípio da mínima exposição, enquanto são obtidas informações de alta qualidade. Adicionalmente, a exposição à radiação médica continua a ser tópic de constante discussão, considerando-se o crescimento do uso de exames de imagem, em especial na oncologia e nas doenças cardiovasculares, o consequente aumento da dose efetiva de radiação, a falta de monitoração e a insuficiência de dados na exposição longitudinal à radiação de pacientes submetidos a múltiplos procedimentos ao longo do tempo, entre outros. Consequentemente, o tema “dose de radiação” envolvendo tais procedimentos ganhou destaque mundial e muitas teorias e especulações surgiram, tanto na literatura médica quanto na mídia leiga. O assunto com certeza merece atenção da comunidade médica e deve continuar recebendo novos investimentos, tanto no estudo de seus efeitos biológicos quanto na evolução tecnológica de equipamentos com capacidade de produzir exames com excelente capacidade diagnóstica e com dose de radiação cada vez menor. Até o momento, não se conhecem ao certo quais os efeitos biológicos da radiação de baixa dose em adultos, mas, considerando-se alguns fatos, evidências experimentais e epidemiológicas que relacionam a exposição a baixas doses de radiação ionizante e desenvolvimento de tumores sólidos e leucemias, protocolos rígidos de controle e segurança devem ser implementados na rotina diária, seguindo normatizações estabelecidas dos órgãos reguladores. Publicações recentes que envolvem a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA - 2016) recomendam como estratégia de redução de dose em imagens de perfusão do miocárdio com o uso de radiofármacos a observação rígida dos princípios básicos de proteção à radiação médica, categorizados como princípios da “Justificação” (teste correto para o paciente certo), “Otimização” (princípio “ALARA”) e “Melhores Práticas”. Finalmente, os estudos de imagem cardiovascular com radiação ionizante são considerados maléficis, subestimando-se, muitas vezes, os benefícios resultantes quando eles são bem indicados, porque podem ser decisivos para a conduta adequada.

**Descritores:** Radiologia cardiovascular; Imagem cardiovascular; Radiação médica; Efeitos biológicos da radiação; Proteção radiológica; Radiação médica e riscos; Radiação ionizante e câncer; Tomografia computadorizada.

#### ABSTRACT

*The clinical decision to use ionizing radiation to obtain diagnostic and prognostic studies by image must include appropriate indication criteria, and evaluate the risk-benefit ratio, adhering to the principle of minimum exposure while obtaining high-quality information. Moreover, medical exposure to radiation is a subject of ongoing debate, in view of the growth in the use of imaging exams, especially in oncology and cardiovascular disease, the consequent increase in effective radiation doses, the lack of monitoring, and the inadequacy of data on longitudinal exposure to radiation in patients submitted to multiple procedures over time, among other factors. Consequently, the subject of the “radiation dose” involved in these procedures has gained interest worldwide, and many theories and speculations have arisen, both in the medical literature and in the general media. Without a doubt, the subject deserves the attention of the medical community, and should continue to receive new investments, whether on the study of its biological effects or on the technological development of equipment capable of producing*

exams with excellent diagnostic capacity and increasingly lower radiation doses. So far, the biological effects of low radiation doses in adults is not known for certain, but considering some facts, such as experimental and epidemiological evidence linking exposure to low doses of ionizing radiation with the development of solid tumors and leucemias, strict control and safety protocols should be implemented as routine, following the guidelines of the regulatory bodies. Recent publications involving the International Agency for Atomic Energy (IAEA - 2016) recommend, as a strategy for reducing the radiation dose in images of myocardial perfusion with the use of radiodrugs, strict observation of the basic principles of protection against medical radiation, categorized as principles of "Justification" (right test for the right patient), "Optimization" ("ALARA" principle) and "Best Practices". Finally, cardiovascular imaging studies with ionizing radiation are considered harmful, often underestimating the resulting benefits when they are well indicated, because they may be decisive for the appropriate conduct.

**Descriptors:** Cardiovascular radiology; Cardiovascular image; Medical radiation; Biological effects of radiation; Radiation protection; Medical radiation and risks; Ionizing radiation and cancer; Computed tomography.

## INTRODUÇÃO

A radiação é parte integrante e inevitável da vida diária de todos os indivíduos de nosso planeta, com variados graus de exposição, provenientes de radioisótopos administrados em nosso corpo e de fontes naturais, incluindo raios cósmicos, fontes terrestres, entre outros (Figura 1).<sup>1</sup> O processo de decisão médica que considera o uso de baixas doses de radiação ionizante para a obtenção de estudos diagnósticos e prognósticos em cardiologia deve enquadrar-se dentro de critérios apropriados, avaliando sempre a relação risco/benefício, mas pautando-se dentro do princípio da mínima exposição enquanto informações de qualidade ótima são obtidas. Tais práticas são alinhadas com princípios fundamentais de proteção à radiação em medicina, dentro da abreviação "ALARA" (*As Low As Reasonable Achievable*).<sup>2-5</sup> Estas incluem a educação dos fornecedores de serviços específicos, objetivando minimizar as doses, realizar exames

absolutamente necessários, considerar a possibilidade de exames ou procedimentos alternativos sem envolvimento de radiação, além de empregar as melhores combinações entre equipamento, dose e protocolos que mantenham a acurácia considerada ideal.

A preocupação sobre efeitos carcinogênicos tardios a tal forma de exposição,<sup>6</sup> medida em unidades denominadas milisievert (mSv)\* provém de extrapolações de dados obtidos da exposição à radiação e efeitos a curto e longo prazo de sobreviventes de explosões nucleares.<sup>7</sup> Contudo, existem incertezas sobre dose e resposta nesta faixa baixa de exposição, tornando complexa a avaliação do risco incremental, bem como pouco previsíveis as respostas reparativas específicas dos tecidos. Alguns estudos relacionam a exposição de um sievert (Sv)\* com uma chance de desenvolvimento de câncer fatal em um adulto em torno de 4% e de 0,8% de defeitos hereditários nos descendentes.<sup>6,8</sup> Mas, de modo geral, o

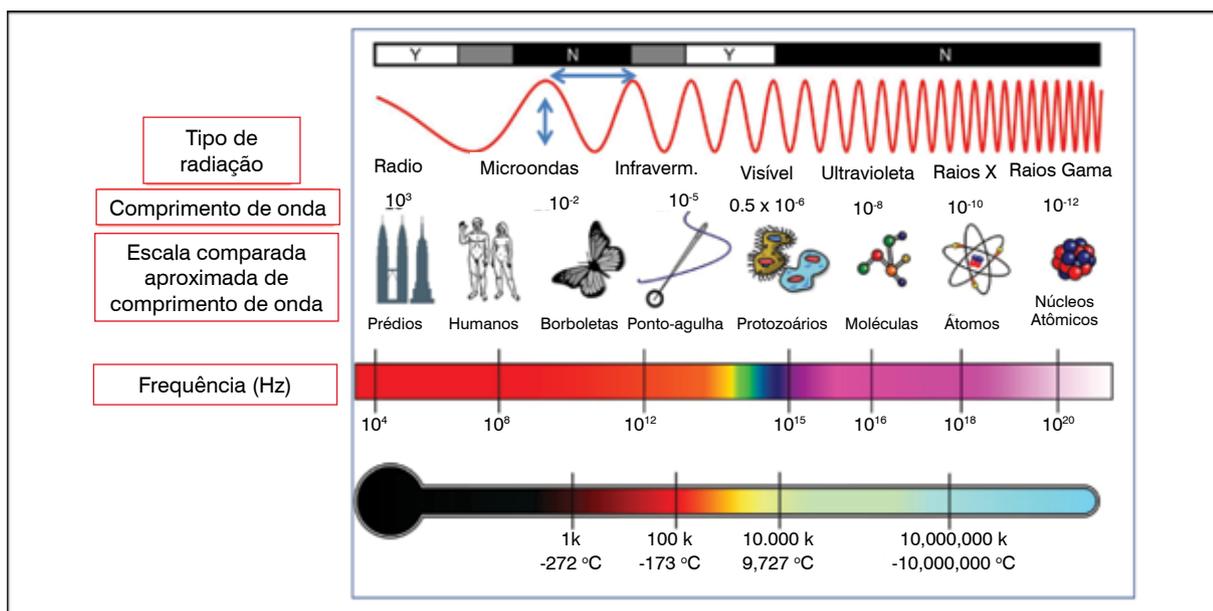


Figura 1. Espectro eletromagnético das radiações ionizantes, considerando-se o comprimento de onda em metros, a frequência de oscilações por segundo em Hertz e a temperatura de maior atividade das mesmas, em graus Celsius e Kelvin. A radiações para uso médico encontram-se nas menores escalas de comprimento de onda e maior número de oscilações, como os RX e a radiação por emissão de fótons Gama.

\*O sievert (Sv), ou seu submúltiplo o \*milisievert (mSv), é unidade derivada do Sistema Internacional de Unidades (SI), de dose equivalente de radiação ou dose efetiva. Está relacionado à avaliação quantitativa dos efeitos biológicos da radiação ionizante, ao passo que quando o objetivo é a medida da dose absorvida de energia utiliza-se o Gray (Gy). De modo prático, o Sv é uma medida da dose de radiação, tem semelhança com o Gy e é igual à dose absorvida vezes um fator de qualidade, que analisa as consequências sobre a saúde em comparação aos RX. Um Sievert (1 Sv) equivale a 100 REM, unidade antiga que ainda tem seu emprego difundido. Ressalta-se adicionalmente que a dose equivalente de radiação tem os mesmos efeitos deletérios que uma dose semelhante de raios Gama, emitidos dos radioisótopos Tálcio 201 e Tecnécio 99 metaestável empregados para a realização de exames de cintilografia miocárdica de perfusão e função ventricular.

risco e frequência de malignidade causado por níveis de radiação utilizados em imagem cardiovascular permanecem indeterminados e controversos. Doses superiores a um Sv recebidas em curto espaço de tempo representam provavelmente causa de envenenamento radioativo, que resulta em elevada probabilidade de morte em semanas.<sup>9</sup>

**Efeitos biológicos, dosimetria ou medida da exposição à radiação e segurança**<sup>5,9-11</sup> os efeitos biológicos das radiações ionizantes podem ser classificados em duas categorias: **a)** determinísticos, que ocorrem acima de certos limites de dose absorvida para um determinado tecido, incluindo eritema de pele, perda de pelos e possivelmente toxicidade cardíaca direta; **b)** estocásticos, aqueles cuja radiação causa dano que pode implicar em malignidade, habitualmente em longo prazo. Para a compreensão profunda de tais conceitos e de segurança torna-se imprescindível a diferenciação explícita entre exposição e dose. Exposição é a quantidade de radiação produzida por um dispositivo ou uma fonte radioativa e a subsequente ionização de moléculas do ar, sendo tipicamente medida no ar. Em comparação, a quantidade de energia absorvida por unidade de tecido, já relacionada à discussão de riscos da radiação, varia de acordo ao órgão e à região do corpo. Esta dose absorvida não pode ser medida diretamente, mas somente estimada para um determinado exame, desde que inúmeros fatores relacionados ao paciente por si só e ao procedimento específico alteram o quanto de radiação é absorvido em diferentes pacientes, para o mesmo protocolo de imagem e para o mesmo equipamento. Mesmo que a exposição a um paciente seja constante, por exemplo, em um aparelho de RX, o número de fótons\*\* que alcança vários tecidos e órgãos varia enormemente entre indivíduos. Adicionalmente à dificuldade em medir a distribuição de dose única fornecida para cada paciente em determinado exame, a dosimetria difere por modalidade de imagem, estabelecendo comparações de exposições de diferentes testes e estimando a dose cumulativa. Para estudos com radionuclídeos por exemplo, a atividade administrada que é expressa em unidades internacionais, o Becquerel (Bq), é o "padrão" de dose mensurável, sendo as doses internas absorvidas pelo paciente e calculadas por métodos de referência expressas em miligrays por unidade de atividade administrada. A unidade do milicurie, a tradicional para a estimativa da atividade, equivale a 37 megabequerel (MBq). Para fluoroscopia e cinecoronariografia, o parâmetro de dosimetria mensurável é expresso em Grays\*\*\* (GY) e GY x cm<sup>2</sup>. Para a tomografia computadorizada (CT) utilizam-se as unidades internacionais padrão (SI) de miligrays (mGY) ou mGY/cm de modo habitual.

**Dose efetiva (E)** – referida em unidades internacionais padrão (SI) de milisievert (mSv) é algumas vezes utilizada para facilitar comparações de exposição de radiação entre diferentes exames e modalidades. É prerrogativa para a caracterização de risco utilizado em proteção à radiação, que reflete a estimativa de corpo total do valor da dose. Possibilitaria, desta forma, estabelecer um equivalente de risco estocástico para a radiação ionizante que ocorre em exames de imagem médica. Finalmente, a dose efetiva é uma estimativa genérica de risco com ampla margem de erro, sem possibilidade de ser medida de modo direto, mas obtida de modelos, simulações e interpolação. Embora a dose efetiva

possa ser usada para comparar diferentes protocolos ou exames realizados com diferentes modalidades de imagem que utilizam radiação ionizante, não pode expressar o risco biológico específico para pacientes individuais.

## Evidências de associação entre radiação de exames médicos e neoplasias

Atualmente, o potencial do risco de desenvolvimento de cânceres malignos relacionado a exames de imagem que utilizam radiação ionizante vem sendo frequentemente discutido na literatura médica e na mídia leiga. Nos últimos anos, houve rápido crescimento do uso destes exames na prática clínica, o que aumentou a preocupação com a dose de radiação médica recebida pelos pacientes.<sup>2,12,13</sup> Relatos internacionais recentes demonstraram que enquanto a estimativa da exposição à radiação médica entre 1980 e 1982 era de 0,53 mSv por indivíduo por ano passa a representar um aumento aproximado de seis vezes no ano de 2006 com 3,0 mSv por indivíduo por ano (Figura 2).

O conceito de radiação, uma entidade física que penetra o corpo humano é algo que desafia a percepção, vem carregada de emoção e pode desencadear angústia em muitas pessoas. Nos últimos anos, um número considerável de relatos alarmistas aumentou a percepção de que exames radiológicos geram câncer.<sup>6,8,14</sup> Essas publicações têm sido amplamente difundidas muitas vezes de forma sensacionalista, de modo que os profissionais médicos estão sendo cada vez mais questionados pelos pacientes sobre o tema. Desta forma, as sociedades médicas e órgãos públicos de saúde começaram a direcionar bastante atenção a essa questão.

Evidências de associação direta entre radiação de exames médicos e indução de câncer são escassas. As mais convincentes são derivadas de poucos estudos epidemiológicos recentes de grande porte, realizados em populações jovens, predominantemente pediátricas.<sup>15,16</sup> Com base no seguimento de aproximadamente 10 anos de 178.000 e 680.000 crianças e adolescentes, respectivamente, esses estudos demonstraram risco incremental de 2 a 6 / 10.000 crianças e adolescentes submetidos a estudos de tomografia computadorizada (TC). Por outro lado, comprovações de associação direta entre radiação de exames médicos e indução de câncer na população

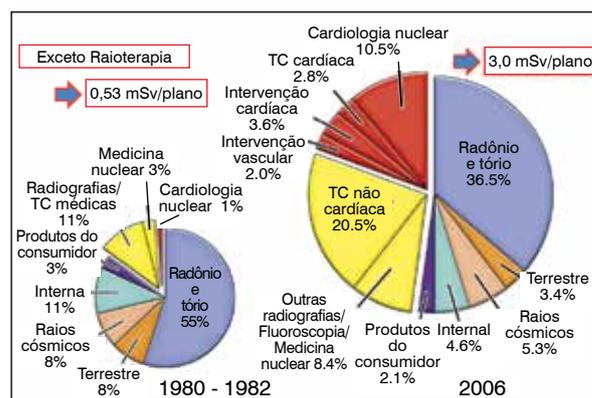


Figura 2. Aumento da exposição à radiação médica diagnóstica (exames de imagem), excetuando-se procedimentos terapêuticos, de aproximadamente seis vezes em torno três décadas (explicação no texto), com a respectiva representatividade porcentual dos diversos procedimentos, nos Estados Unidos. Modificado de Einstein AJ<sup>15</sup>.

\*\*Fótons - Raios Gama - alguns núcleos são instáveis na sua composição de núcleos e podem decair para configurações mais estáveis, por emissão de partículas muito energéticas. Os núcleos atômicos possuem níveis de energia discretos, análogos aos níveis dos orbitais atômicos. A transição entre estados de energia de um mesmo núcleo é acompanhada da emissão de um quantum de radiação eletromagnética (fóton). Emissão de raios gama, quando há liberação de fótons de alta energia. O fator de potência relativa de penetração é de 10.000, altamente penetrante, mas em contrapartida não é muito ionizante. Geralmente ocorre simultaneamente com outras reações nucleares. \*\*\*A unidade Gray (Gy) mede a dose absorvida de radiação (D) por qualquer material. Embora não seja intercambiável com o Sievert (Sv), ambas representam dimensões de energia por unidade de massa e são iguais a um joule por quilo (1 Sv = 1 J/kg; 1 Gy = 1 J/kg).

adulta geral carecem de documentação. Coortes muito maiores teriam que ser analisadas para detectar qualquer aumento incremental nas taxas de câncer, existindo projeções que aproximadamente 38% das mulheres e 44% dos homens nos Estados Unidos (EUA) desenvolverão algum câncer durante sua vida,<sup>17</sup> a despeito da realização de exames de radiológicos.

A probabilidade de alterações cromossômicas que poderiam resultar em câncer tem relação com a taxa de proliferação celular, o número de divisões futuras e o grau de diferenciação das células em questão.<sup>18</sup> Os pacientes mais jovens são considerados como de maior risco para o desenvolvimento de câncer relacionado à radiação, devido à suas células serem mais sensíveis a tais estímulos (como resultado de um maior número de divisões futuras) do que as células de pacientes mais velhos. Especificamente na imagem cardíaca, considera-se que as mulheres apresentam maior risco de câncer induzido por radiação do que os homens considerando-se a radiosensibilidade das mamas e pulmões.<sup>19,21</sup>

A grande maioria dos relatórios recentes sobre os riscos de câncer em imagens médicas não é baseada em observações epidemiológicas reais, mas sim derivada da extrapolação de dados obtidos em estudos de exposição humana a outras fontes de radiação. As estimativas de risco de câncer em imagens médicas mais comumente são expressas em publicações de órgãos governamentais específicos, como o VII relatório da “*Biological Effects of Ionizing Radioation*” (BEIR VII).<sup>14</sup> Este leva em consideração principalmente as observações das bombas nucleares de Hiroshima e Nagasaki, que demonstraram aumento estatisticamente significativo na incidência de câncer em sobreviventes expostos a doses de radiação  $\geq 100$  mSv, ocorrida naqueles indivíduos que se encontravam até 1800 metros aproximados em relação ao hipocentro ou nível zero (local da explosão da bomba em Hiroshima).<sup>7</sup> Os intervalos de confiança deste relato são amplos, o que permite uma variabilidade considerável na extrapolação do risco.

### Radiação e exames de imagens médicas

São procedimentos normalmente associados a doses baixas de radiação, muito inferiores a 100 mSv, com tabelas comparativas de exposição estimada à radiação entre os vários métodos empregados (Tabela 1).

A extrapolação dos riscos para tais níveis é problemática e está sujeita a incertezas relevantes. Essas extrapolações se baseiam na hipótese de que o risco de câncer aumenta linearmente com a dose de radiação (modelo “linear no-threshold”). Por falta de dados melhores, o “linear no-threshold” representa atualmente um modelo razoável e conservador, sendo comumente usado nas políticas de proteção contra radiações. No entanto, permanece incerto se este modelo reflete com precisão o efeito biológico da radiação de baixo nível e se é adequada para a estimativa de risco de câncer em imagens médicas.<sup>22</sup> Há outros modelos que também são utilizados, tais como: **a)** “*disproportionately harmful*”, que considera que qualquer dose de radiação é potencialmente prejudicial; **b)** “*threshold dose*”, que considera que os efeitos deletérios da radiação só começam a partir de certa dose efetiva; **c)** “*hormesis*”, que considera que radiação em baixa dose teria efeito benéfico até certo nível e quando ultrapassasse este limite resultaria em efeitos deletérios (Figura 3) (por exemplo, o popular efeito terapêutico das praias com areia monazítica).

Frequentemente os textos que abordam este tema dão enfoque apenas aos efeitos deletérios e raramente fazem ponderação com os inegáveis benefícios dos exames radiológicos, quando bem indicados. Por exemplo, quando as estimativas gerais de riscos da radiação são aplicadas a exames de imagem cardiovascular, deve-se levar em consideração tanto a população estudada quanto a patologia em questão. A maioria dos exames de imagem cardiovascular é realizada em adultos maiores que 50

Tabela 1. Doses de Referência – exposição estimada à radiação em exames de imagem e situações diversas, baseada em múltiplos do RX tórax na projeção ântero – posterior (padrão convencional). Modificado de Einstein AJ.<sup>14</sup>

Exame	Dose efetiva (mSv)	Múltiplo de RX Tórax (projeção AP)
Equipamento de escaneamento em aeroportos	0,001	1/20
RX tórax em AP	0,01	1
RX tórax em AP e lateral	0,10	5
Mamografia	0,70	35
Perfusão pulmonar (99 mTc-MAA)	2	100
TC de crânio	2	100
Radiação de fundo para a população (anual)	3	150
Cinecoronariografia invasiva diagnóstica	7	350
Ventriuculografia por marcação de “pool” sanguíneo	7,8	780
TC de Tórax	8	400
MIBI (1 dia) repouso-esforço	9	450
MSCT de coronárias com modulação de corrente	9	450
Tomografia de abdome	10	500
Angiografia / Aortografia abdominal	12	600
F18 – Flurodeoxiglicose	14	700
Intervenção coronária percutânea	15	750
Ablação por radiofrequência	15	750
Gallo 67-Citrato	15	750
Dose média limite ocupacional (anual) – ICRP 6	20	1000
CPM de duplo isótopo ou TC coronárias helicoidal	25	1250
Tálio 201 – Esforço e redistribuição	41	2050
Doses máximas recebidas por trabalhadores da Usina de Fukushima	250	12500

mSv – milisievert; AP- ântero-posterior; 99m Tc-MAA – radiofármaco tecnécio 99 metaestável marcando macrogregado de albumina; “pool” – compartimento; MIBI- 2 metoxi-isobutil-isonitrila; MSCT – tomografia computadorizada de múltiplos cortes; F-18 = flúor 18; COM – cintilografia de perfusão miocárdica; TC – tomografia computadorizada; ICRP 6 – Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

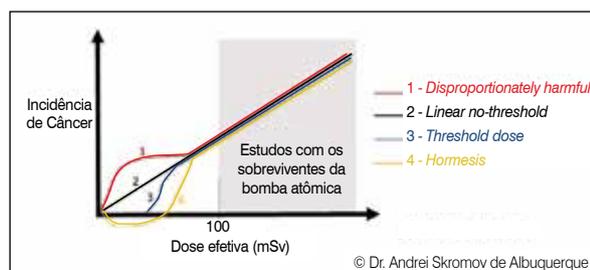


Figura 3. modelos de efeito biológico da radiação no aumento de risco de câncer.

anos de idade. Como já exposto, o dano potencial da radiação nestes indivíduos é substancialmente mais baixo do que nas crianças e nos adultos jovens, uma vez que os tecidos maduros são menos vulneráveis à radiação e a expectativa de vida é menor, permitindo menos tempo para o câncer se manifestar.

As doenças coronariana, cerebrovascular ou arterial periférica, a embolia pulmonar e as patologias da aorta apresentam morbidade e mortalidade significativas e estão entre as indicações mais comuns de exames de imagem cardiovascular. Os riscos decorrentes da radiação destes exames têm de ser ponderados em relação os riscos de ausência ou atraso no diagnóstico de tais condições e da análise imprecisa da gravidade e extensão da doença. Mesmo em pacientes jovens, o risco de morte por uma patologia subjacente é significativamente maior do que o risco estimado de morte resultante de câncer induzido por radiação no longo prazo.<sup>23</sup> Tal condição assume maior relevância em pacientes mais velhos. Os exames de imagem cardiovascular têm excelente precisão diagnóstica para a detecção dessas patologias e existem opções terapêuticas eficazes. No contexto de uma indicação clínica apropriada, não realizar um exame de imagem cardiovascular coloca o paciente em risco substancial, uma vez que as informações fornecidas por estes podem guiar o manejo terapêutico. Ainda, o período de latência para o surgimento de neoplasias induzidas por radiação pode durar várias décadas, enquanto a suspeita de doença cardiovascular usualmente representa uma ameaça iminente para o paciente.

### Dose cumulativa de radiação não terapêutica e exposição longitudinal de pacientes que se submetem a exames de imagem cardiovascular

A dose cumulativa de radiação não terapêutica foi proveniente nos Estados Unidos, no ano de 2006, de 25% de todos os procedimentos radiográficos fluoroscópicos, de 49% da tomografia computadorizada e 26% da medicina nuclear.<sup>24,25</sup> Considerando-se tais fatos e evidências experimentais e epidemiológicas que relacionam a exposição a baixas doses de radiação ionizante e desenvolvimento de tumores sólidos e leucemias,<sup>5,15</sup> protocolos rígidos de controle e segurança devem ser implementados na rotina diária. Como resultado, pessoas em risco para exposição repetida à radiação, como trabalhadores ligados à área da saúde e à indústria nuclear são monitorados e restritos a doses efetivas de 100 mSv cada cinco anos (20 mSv por ano), com dose máxima permitida de 50 mSv em qualquer ano dado.<sup>26,27</sup> Em contraste, a exposição longitudinal à radiação de pacientes que realizam exames de imagem não é monitorada adequadamente, mesmo quando vários procedimentos são realizados repetidas vezes no mesmo indivíduo. Entre vários estudos que objetivaram estimar a dose cumulativa efetiva de radiação na população geral submetida a procedimentos de imagem, Fazel R et al. (2009) identificaram durante o período de dois anos 655.613 indivíduos que realizaram pelo menos um procedimento de imagem associado com exposição à radiação, classificando doses anuais efetivas em baixas ( $\leq 3$  mSv), moderadas ( $>3$  mSv - 20mSv),

altas ( $> 20$ mSv - 50mSv), ou muito altas ( $> 50$  mSv). A dose média efetiva cumulativa foi de 2,4 (DP 6,0) mSv por indivíduo por ano, mas com larga margem de variabilidade. De modo geral, doses moderadas estiveram presentes em 193,8 envolvidos por 1000 por ano, enquanto que doses altas e muito altas estiveram em 18,6 e 1,9 envolvidos por 1000 por ano respectivamente. As doses cumulativas efetivas de radiação provenientes de exames de imagem foi crescente com o avançar da idade e maior no sexo feminino. Neste estudo as imagens de perfusão miocárdica isoladamente representaram 22% da dose total efetiva e a tomografia de abdome, pélvis e tórax aproximadamente 38%. No geral, os exames de tomografia computadorizada e de imagem nuclear foram responsáveis por 75,4% da dose cumulativa efetiva, sendo 81,8% do total administrado em caráter ambulatorial. Em contraste, procedimentos relacionados à radiografia plana alcançaram 71.4% do número total, mas somente 10.6% da dose total efetiva.

Nos últimos anos, visando equalizar a demanda crescente de realização de exames radiológicos e a necessidade de utilizar a menor dose de radiação possível, houve uma evolução tecnológica substancial nas técnicas de imagem, que levaram à marcada redução na dose de radiação utilizada. Numa TC cardíaca, a dose média de radiação caiu de 10-20 mSv para aproximadamente 3 mSv, utilizando técnicas de modulação de dose. Dependendo das características do tomógrafo e do paciente (magro e com frequência cardíaca baixa), é possível obter exames diagnósticos com menos de 1 mSv. A dose de radiação de uma angioTC para pesquisa de embolismo pulmonar reduziu de 15 mSv para 2-5 mSv, através de técnicas de controle automático de exposição.

Nas discussões dos riscos de radiação com os pacientes, pode ser útil fornecer uma perspectiva em relação aos riscos da vida cotidiana.<sup>28</sup> O risco extrapolado de desenvolver câncer ao longo da vida decorrente da radiação de um exame cardiovascular é de 0,05% (1/2000 pessoas),<sup>29</sup> que é menor que o risco de morrer afogado (1/1112 pessoas), morrer em um atropelamento (1/749 pessoas) e cerca de 10 vezes menor que o risco de morrer num acidente automobilístico ao longo da vida (1/108). No entanto, esses riscos cotidianos são comumente percebidos como muito baixos e normalmente não impedem um indivíduo de nadar, atravessar a rua ou entrar num carro. Muitos especialistas consideram segura a dose  $< 50$ mSv em 1 ano ou  $<100$  mSv por toda a vida.

De qualquer forma, mesmo que de modo não tão alarmante como já noticiado em alguns meios de comunicação, a utilização de radiação ionizante potencialmente gera algum risco adicional e, por isso, é fundamental à adequada indicação clínica. Um exame bem indicado certamente traz muito mais benefícios do que riscos. E o contrário também é verdadeiro.

### CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não possuir conflitos de interesse na realização deste trabalho.

**CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES:** Todos os autores contribuíram individual e significativamente para o desenvolvimento do trabalho. ASA e LEM foram os principais contribuintes na redação do manuscrito. ASA contribuiu com os exames de radiologia. LEM contribuiu com os exames de medicina nuclear.

## REFERÊNCIAS

1. Wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/ICO60801\_-\_Diário\_2016-2. Fonte: [http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/Ondas4php](http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas4php). [Citado em 20 de fevereiro de 2017]
2. Udelson JE, et al. Nuclear Cardiology. Chapter 17. Bonow R, Mann D, Zipes DP, Libby P, Braunwald E. Braunwald's Heart Disease. A Textbook of Cardiovascular Medicine. VI. 9<sup>th</sup> ed. 2012; p. 310.
3. Nuclear cardiology: guidance on the implementation of SPECT myocardial perfusion imaging. International Atomic Energy Agency. Series: IAEA human health series. 2016;23(1)
4. Mastrocola LE, Alves FBP, Lopes RW, Jasinowodolinski D. Risco da Exposição às Radiações. Parte II. Revista do DERC. 2012;18(4):101-3.
5. Mastrocola LE, Alves FBP, Lopes RW. Exames de Imagem e Risco da Exposição às Radiações. Conceitos Fundamentais. Parte I. Revista do DERC 2012;18(2) 44-5.
6. Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. JAMA. 2007;298(3):317-23.
7. <http://www.atomicarchive.com/Maps/HiroshimaMap.shtml>; Preston DL, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat Res. 2007;168:1-64.
8. Berrington de Gonzalez A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. Arch Intern Med. 2009;169(22):2071-7.
9. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, Dixon RL, Ferrari VA, Gomes AS, et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. Circulation. 2009;119(7):1056-65.
10. Fazel R, Gerber TC, Balter S, Brenner DJ, Carr JJ, Cerqueira MD, et al. Approaches to enhancing radiation safety in cardiovascular imaging: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation. 2014;130(19):1730-48.
11. Einstein AJ. Effects of radiation exposure from cardiac imaging: how good are the data? J Am Coll Cardiol. 2012;59(6):553-65.
12. Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. Circulation. 2007;116(11):1290-1305.
13. Fazel R, Krumholz HM, Wang Y, Ross JS, Chen J, Ting HH, et al. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. N Engl J Med. 2009;361(9):849-57.
14. National Research Council. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2. Washington, DC: National Academies Press, 2006.
15. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumors: a retrospective cohort study. Lancet. 2012;380(9840):499-505.
16. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. BMJ. 2013;346:f2360.
17. American Cancer Society. Lifetime risk of developing or dying from cancer. <http://www.cancer.org/cancer/cancerbasics/lifetime-probability-of-developing-or-dying-from-cancer>. [Acesso em Setembro 2013].
18. Preston RJ. Radiation biology: concepts for radiation protection. Health Phys 2005; 88(6):545-56.
19. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103. Ann ICRP. 37(2-4):1-332.
20. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII-Phase 2, Board on Radiation Effects Research, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. National Academies Press, Washington; DC. 2006.
21. Hendee WR, O'Connor MK. Radiation risks of medical imaging: separating fact from fantasy. Radiology. 2012;264(2):312-21.
22. Zondervan RL, Hahn PF, Sadow CA, Liu B, Lee SI. Body CT scanning in young adults: examination indications, patient outcomes, and risk of radiation-induced cancer. Radiology. 2013;267(2):460-9.
23. Duvall WL, Sweeny JM, Croft LB, Ginsberg E, Guma KA, Henzlova MJ. Reduced stress dose with rapid acquisition CZT SPECT MPI in a non-obese clinical population: comparison to coronary angiography. J Nucl Cardiol. 2012;19(1):19-27.
24. Gerber TC, Gibbons RJ. Weighing the risks and benefits of cardiac imaging with ionizing radiation. JACC Cardiovasc Imaging. 2010;3(5):528-35.
25. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1-332.
26. Wrixon AD. New ICRP recommendations. J Radiol Prot. 2008; 28(2):161-8.
27. McCollough CH, Guimarães L, Fletcher JG. In defense of body CT. AJR Am J Roentgenol. 2009;193(1):28-39.
28. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, Dixon RL, Ferrari VA, Gomes AS, et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. Circulation. 2009;119(7):1056-65.