

Artigo  
Original

## Fatores Associados à Menor Dose de Radiação em Pacientes Submetidos à Angiotomografia de Artérias Coronárias de 64 Canais

Factors Associated with Lower Radiation Doses in Patients undergoing 64-Slice Computed Tomography

3º Lugar – Prêmio de Melhor Trabalho Científico no 27º Congresso de Cardiologia da SOCERJ

# 2

Ilan Gottlieb,<sup>1,2</sup> Renato Kaufman,<sup>1</sup> Patricia Rizzi,<sup>1</sup> Lúguro Roberto Kuroki,<sup>1</sup> Amanda Cardoso Berensztejn,<sup>1</sup> Daniela Paiva,<sup>1</sup> Fabio Luis Silva,<sup>1</sup> João Augusto Costa Lima,<sup>2,3</sup> Ronaldo de Souza Leão Lima<sup>1,4</sup>

### Resumo

**Fundamentos:** Nota-se crescente utilização da angiotomografia de artérias coronárias, encontrando-se na literatura grande variabilidade na dose de radiação empregada. Há preocupação mundial em relação à exposição à radiação ionizante em procedimentos médicos, sendo que estratégias para minimização da dose são fortemente encorajadas.

**Objetivos:** Determinar a dose de radiação utilizada em clínica privada no Rio de Janeiro e fatores associados à redução da dose.

**Métodos:** Estudo retrospectivo e observacional, envolvendo 232 pacientes consecutivos submetidos à angiotomografia de artérias coronárias de 64 detectores por indicação clínica, utilizando-se técnicas visando à redução da dose de radiação.

**Resultados:** A dose média geral de radiação empregada foi 7,6mSv, sem diferença na dose aplicada em homens e mulheres (7,9mSv vs. 7,0mSv, respectivamente,  $p=0,15$ ). A utilização de modulação de dose pelo eletrocardiograma (ECG) e tensão do tubo de 100kV estão ambas associadas à queda de aproximadamente 50% cada na dose. Fatores como idade avançada e presença de *stents* estão associados à maior exposição.

**Conclusões:** A dose de radiação utilizada rotineiramente, empregando-se técnicas de minimização de exposição, é bem inferior à descrita na literatura e aproximadamente metade da usualmente empregada em cintilografia miocárdica com <sup>99m</sup>Tc sestamibi. A modulação de dose e tensão do tubo de 100kV devem ser empregadas sempre que possível.

**Palavras-chave:** Angiotomografia de coronárias, Tomografia computadorizada, Doença coronariana, Radiação

### Abstract

**Background:** In parallel to an upsurge in the use of computed tomography coronary angiography (CTCA), the literature varies widely in terms of radiation doses, prompting worldwide concern about radiation exposure in medical procedures, with strong support for strategies aimed at reducing these doses.

**Objectives:** To determine the radiation dose employed in CTCA studies in a private clinic at Rio de Janeiro, Brazil, and the factors associated with lower radiation doses.

**Methods:** Retrospective observational study of 232 consecutive patients clinically referred for 64-slice CTCA with radiation dose reduction techniques.

**Results:** The mean radiation dose was 7.6mSv, with no difference between men and women (7.9mSv vs. 7.0mSv, respectively,  $p=0,15$ ). Electrocardiogram (ECG) dose modulation and reduced 100kV tube voltage are associated with dose reductions of approximately 50% each. Factors such as increasing age and the presence of coronary stents are associated with higher exposure.

**Conclusions:** The routine radiation dose used with exposure minimization techniques is substantially lower than that reported in the literature, and approximately half of that usually employed in <sup>99m</sup>Tc sestamibi nuclear myocardial perfusion studies. ECG dose modulation and 100kV tube voltage of should be used whenever possible.

**Keywords:** Coronary angiography, Computed tomography, Coronary artery disease, Radiation

<sup>1</sup> Clínica de Diagnóstico por Imagem (CDPI) - Rio de Janeiro RJ), Brasil

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Cardiologia (INC/MS) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil

<sup>3</sup> Johns Hopkins University - Baltimore, Estados Unidos

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil

Correspondência: ilangottlieb@gmail.com

Ilan Gottlieb | CDPI - Av. Ataulfo de Paiva, 669 2º andar - Leblon - Rio de Janeiro (RJ), Brasil | CEP: 22440-032

Recebido em: 01/06/2010 | Aceito em: 02/08/2010

## Introdução

A angiogramografia de artérias coronárias (AngioTC-Cor) tem se mostrado um método não invasivo acurado para a detecção de doença coronariana obstrutiva, consistindo na aquisição de imagens tomográficas do coração de forma simultânea com a injeção de contraste iodado e sincronização com o eletrocardiograma.<sup>1-3</sup>

O aumento no número de AngioTC-Cor e de outros exames diagnósticos e terapêuticos dependentes de radiação ionizante realizados no mundo coincide com a consolidação de estudos teóricos quantificando os riscos que esse tipo de radiação potencialmente traz à saúde, o que promoveu um alerta das autoridades pela melhor utilização desses métodos.<sup>4-10</sup>

Há maneiras disponíveis de se diminuir a dose de radiação na AngioTC-Cor, sendo as mais comuns a utilização de modulação de dose pelo ECG<sup>6,11</sup> (aplicando-se dose máxima na diástase diastólica (fase na qual o coração está praticamente imóvel) e dose mínima nos outros períodos do ciclo cardíaco (onde o movimento cardíaco geralmente não permite análise sem artefatos) e a diminuição ao máximo da energia aplicada no tubo de raio-X. Outra maneira é diminuir a tensão do tubo de raio-X de 120kV ou 140kV para 100kV, diminuindo assim a energia de penetração dos fótons.<sup>12</sup>

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a dose média de radiação de uma clínica ambulatorial privada com grande volume de exames no Brasil, e os fatores que influenciam essa dose.

## Metodologia

Trata-se de estudo retrospectivo e observacional. Os prontuários médicos de pacientes clinicamente referidos para AngioTC-Cor, no período de 1/7/2009 a 31/12/2009, foram retrospectivamente analisados, sendo coletados parâmetros de aquisição, dose de radiação, variáveis clínicas e indicação do exame. Pacientes com história de revascularização cirúrgica do miocárdio (estudo de pontes) ou com idade inferior a 18 anos (avaliação de cardiopatia congênita) foram excluídos.

Os dados clínicos dos pacientes foram coletados à época do exame por médicos com proficiência em imagem cardíaca e os parâmetros técnicos de aquisição, anotados por tecnólogos treinados. A dose da angiogramografia foi fornecida pelo próprio aparelho em *dose length product* (DLP) e convertido para milisieverts (mSv) multiplicando o DLP por 0,014, conforme

recomendação do grupo Impact, que regulamenta mundialmente o uso clínico de tomógrafos.<sup>13</sup> Essa estimativa da dose efetiva tem se mostrado robusta e é também recomendada pela *European Working Group for Guidelines on Quality Criteria in CT*.<sup>14</sup>

Os exames foram realizados sempre na presença de médico especialista em TC cardiovascular e o regime de radiação (miliampereagem, kilovoltagem e modulação da dose por ECG) foi individualizado pelo médico presente (não havia protocolo pré-determinado). Os pacientes recebiam betabloqueadores venosos caso a frequência cardíaca fosse superior a 65bpm e não houvesse contraindicações.

Os exames foram realizados em aparelhos de 64 canais (*Brilliance 64, Philips Healthcare, DA Best - Holanda e Somatom Sensation 64, Siemens, Erlangen - Alemanha*) com tecnologia de modulação de dose pelo ECG, já descrita previamente.<sup>14-16</sup> A duração da janela de dose máxima no protocolo de modulação é fixa em ambos os aparelhos, sendo possível a seleção apenas da fase do ciclo cardíaco na qual era aplicada a dose máxima (usualmente 75% no *Brilliance* e 65% no *Sensation*). Em ambos, a dose mínima corresponde a 20% da dose máxima, sendo que, usualmente, não é possível a leitura clínica dos exames em fases do ciclo cardíaco fora da dose máxima, por apresentarem sinal de ruído baixo.

Ambos os aparelhos foram capazes de realizar exames com tensão de 120kV (kilovoltagem) mas apenas o *Sensation (Siemens)* era habilitado a realizar exames com 100kV, por motivos técnicos.

## Análise Estatística

Variáveis contínuas foram expressas como médias±DP ou medianas e IQR conforme sua distribuição. Diferenças médias entre variáveis contínuas foram analisadas pelo teste t-Student, ANOVA ou Mann-Whitney, quando apropriado. Diferenças de proporções foram avaliadas pelo teste do qui-quadrado. Associações entre variáveis com a dose de radiação foram avaliadas por regressões lineares uni e multivariadas. O valor de  $p < 0,05$  bicaudal foi considerado significativo. Todas as análises foram realizadas em SPSS versão 12.0 (IBM - Chicago, EUA).

## Resultados

De um total de 232 pacientes submetidos a AngioTC-Cor, 28 foram excluídos por história de revascularização cirúrgica do miocárdio, resultando em 204 pacientes incluídos na análise, sendo 56 (28%) do sexo feminino. A idade média foi 62±11 anos e

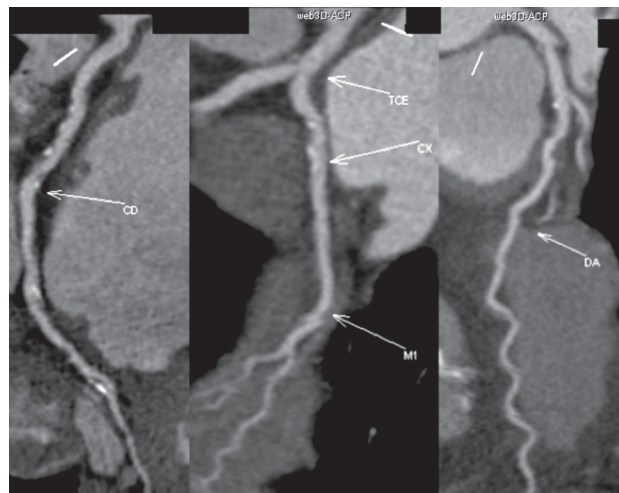
45 (22%) apresentaram revascularização percutânea com implante de *stent* prévia.

As características clínicas e os parâmetros técnicos utilizados estão descritos na Tabela 1. A dose média geral de radiação empregada foi 7,6mSv, sendo que não houve diferença na dose aplicada em homens e mulheres (7,9mSv vs. 7,0mSv, respectivamente,  $p=0,15$ ). A Figura 1 demonstra a reconstrução multiplanar representativa das coronárias de um paciente masculino de 74kg do presente estudo que teve exposição de 4,2mSv.

**Tabela 1**  
**Dados demográficos da população estudada**

Variáveis	n=204	
Idade (anos)	62±11	
Sexo (feminino)	56	28%
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	27±4	
Revascularização miocárdica prévia	45	22%
Fatores de risco		
Hipertensão	91	45%
Diabetes	41	20%
Dislipidemia	65	32%
História familiar de DAC	58	28%
Tabagismo	41	20%
Indicações da AngioTC-Cor		
Dor precordial	109	53%
Teste funcional + ou inconclusivo	71	35%
Dispneia	32	16%
Pré-operatório	11	5%
Parâmetros técnicos		
100 kiloVolts (kV)	37	18%
Miliampères (mAs)	863±93	
Modulação de dose ECG	148	73%
DLP	545±266	
Dose	7,6±3,7	

IMC=índice de massa corpórea; DAC=doença arterial coronariana;  
DLP=dose length product



**Figura 1**  
Exemplo da AngioTC-Cor de participante do estudo, do sexo masculino, 56 anos, 74kg, em investigação de dor torácica atípica. Apesar de haver extensa aterosclerose não obstrutiva, não foram detectadas lesões com estenose superior a 50%. O protocolo de radiação utilizado foi 750mAs, 120kV e modulação de dose pelo ECG. A dose de radiação aplicada nesse paciente foi 4,2mSv.  
TCE=tronco da coronária esquerda; DA=descendente anterior; CX=circunflexa; M1=primeira marginal; CD=coronária direita

**Dose e idade:**

Houve relação direta da idade com a dose de radiação empregada, tanto na análise univariada quanto na multivariada, controlando-se para sexo, IMC, presença de *stent* e emprego de modulação de dose (Tabela 2). Observa-se também o aumento progressivo da dose para cada tercil de idade apresentado, com dose média de 6,35mSv, 7,76mSv e 8,38mSv no primeiro, segundo e terceiro tercis, respectivamente ( $p<0,001$  para a tendência).

**Dose e hábito corporal:**

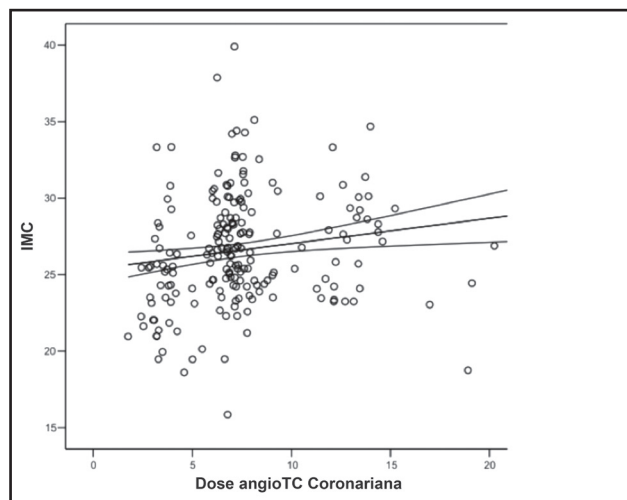
O índice de massa corpórea médio foi de 27±4kg/m<sup>2</sup>, sendo que 34 (17%) pacientes eram obesos, com IMC>30kg/m<sup>2</sup>. Observou-se associação significativa entre o IMC e a dose empregada no exame, que se manteve significativa após ajuste para variáveis

**Tabela 2**  
**Medidas de associação univariada e multivariada entre variáveis preditoras e dose de radiação na população estudada**

Variáveis	Univariada			Multivariada		
	Coef.	IC95%	p valor	Coef.	IC95%	p valor
Idade (anos)	0,07	0,03 a 0,12	<0,001	0,06	0,03 a 0,09	<0,001
Sexo masculino	0,87	-0,27 a 2,01	0,1	1,09	0,29 a 1,90	0,008
IMC	0,15	0,02 a 0,28	0,025	0,17	0,07 a 0,27	0,001
Stent	2,94	1,76 a 4,12	<0,001	1,11	0,21 a 2,01	0,016
Modulação ECG	-5,26	-6,17 a -4,36	<0,001	-4,6	-5,41 a -3,74	<0,001

IMC=índice de massa corporal

descritas na Tabela 2. No entanto, essa correlação apresentou grande variabilidade, como demonstrado pelo baixo valor do R de Pearson (0,16,  $p=0,025$ ) e pela grande dispersão dos valores na Figura 2.



**Figura 2**  
Relação entre o índice de massa corpórea (IMC) e a dose de radiação aplicada.

#### **Dose e história de revascularização miocárdica:**

Um total de 45 pacientes foi submetido à revascularização miocárdica com implante de um ou mais *stents*, sendo que em nenhum desses pacientes foi utilizado protocolo de tensão do tubo de 100kV. A dose dos pacientes com revascularização prévia está significativamente associada à dose de radiação aplicada, mesmo ajustando-se a análise para idade, sexo, IMC e modulação de dose pelo ECG, sendo a dose média maior nos pacientes revascularizados (9,9mSv vs. 7,0mSv, respectivamente,  $p<0,001$ ).

#### **Modulação da dose pelo ECG:**

A modulação de dose foi utilizada em 148 (73%) pacientes, e resultou em decréscimo de 54% da dose aplicada quando comparado com os exames sem modulação de dose (11,5±4,7mSv vs. 6,2±1,9mSv,  $p<0,001$ ), sendo que a utilização de modulação se manteve significativamente associada à dose de radiação mesmo após análise ajustada para os fatores descritos na Tabela 2.

#### **Tensão do tubo:**

A tensão de 100kV foi utilizada em 37 (18%) pacientes, sendo que os pacientes submetidos a essa tensão tinham menor IMC que os submetidos a 120kV (24,6±3,1 vs 27,3±3,7 respectivamente,  $p<0,001$ ), e resultou em decréscimo de 48% na dose de radiação (4,3±1,5mSv vs. 8,8±3,3mSv respectivamente,  $p<0,001$ ). Como esperado, foi detectado alto grau de colinearidade na regressão linear entre a tensão do tubo e o IMC, uma vez que baixo IMC é o maior determinante

para a utilização de 100kV. Por esse motivo, optou-se por não incluir a tensão do tubo na regressão linear multivariada, mas sim o IMC.

## **Discussão**

A preocupação mundial com a exposição à radiação ionizante secundária a procedimentos médicos é notória e frequentemente externalizada por especialistas e responsáveis por regulamentação da prática médica.<sup>4-10,17</sup> Apesar de poucas evidências para tal, acredita-se que, utilizando-se modelos matemáticos baseados na exposição às bombas de Hiroxima e Nagasaki, as doses de radiação ionizante geralmente utilizadas em procedimentos diagnósticos oferecem risco estocástico de neoplasias, linear à exposição e cumulativo ao longo da vida do paciente.<sup>18</sup>

Os primeiros tomógrafos de 64 canais, provavelmente, foram os principais responsáveis pela disseminação da AngioTC-Cor e, tendo surgido há apenas seis anos, já se observa nesse curto período um grande declínio na dose de radiação aplicada.<sup>2,17,19-22</sup> Isso se deve à introdução de avanços técnicos que permitem a redução da dose por diferentes mecanismos. A modulação de dose pelo ECG, por exemplo, permite a redução da exposição durante a sístole, período do ciclo cardíaco com exuberante movimento do coração, priorizando o final da diástole quando o coração se encontra em seu período de diástase mais prolongada e que, portanto, gera imagens com menos artefatos de movimento.

Apesar desses avanços, ainda há grande variabilidade na exposição à radiação, entre os diferentes centros. Um grande estudo que reuniu 1965 AngioTC-Cor em 50 centros de todos os continentes revelou dose mediana de 12mSv, em que o centro com menor exposição média (5mSv) contrastou significativamente com o centro com a maior exposição média (30mSv), sendo que os centros na América Latina tiveram a maior dose média do mundo e centros mais experientes obtiveram menor dose que centros menos experientes.<sup>23</sup>

O presente estudo revela dose média de exposição de 7,6mSv em um grupo diverso de pacientes, incluindo portadores de *stents* coronarianos, e demonstra que é possível obter-se doses baixas de exposição no contexto de clínica privada na América Latina. O primeiro estudo multicêntrico que comparou AngioTC-Cor com o cateterismo cardíaco, CORE64, foi planejado em 2004, teve grande preocupação com exposição à radiação<sup>2</sup> e revelou dose média de 14mSv. Nesse estudo, a tecnologia de modulação de dose pelo ECG ainda não estava disponível e 100kV não foi utilizado.

A dose média no presente estudo foi aproximadamente metade da usualmente empregada em cintilografia miocárdica com  $^{99m}\text{Tc}$  sestamibi pelo protocolo de dois dias, estimada em 15mSv.<sup>17</sup>

Os autores do registro internacional previamente citado<sup>23</sup> relatam que as diferenças encontradas na dose não se devem apenas aos diferentes hábitos corporais dos pacientes, mas também à grande variabilidade na utilização das tecnologias de baixa dose. Apenas 5% dos pacientes foram expostos à tensão do tubo de 100kV, enquanto no presente estudo foi utilizado em 18% dos pacientes, o que reduziu a dose pela metade nesses pacientes. A redução de apenas 20kV (de 120kV para 100kV) promove redução muito drástica da dose porque há relação exponencial e não linear da tensão com a dose. Essa redução é similar à encontrada em outros estudos.<sup>11,12</sup>

Já a modulação de dose pelo ECG foi utilizada com a mesma frequência nas duas coortes (73% no presente estudo e no registro), mas detectou-se redução mais pronunciada da dose com essa tecnologia (54% vs. 25% de redução), o que pode ser explicado por diferenças entre os diferentes aparelhos, tamanho da janela de dose máxima (fixa em aparelhos *Philips* e *Siemens*, porém ajustável na *GE* e *Toshiba*) e frequência cardíaca dos pacientes durante a aquisição (pacientes mais bradicárdicos permitem maior redução na dose). Os resultados aqui encontrados são, no entanto, compatíveis com estudos prévios que observaram redução de 37% a 48%, utilizando modulação por ECG.<sup>15,16</sup>

Considerando que o risco de neoplasias por exposição à radiação é maior em mulheres,<sup>4</sup> o fato de não se encontrar diferença significativa de dose entre os sexos (apesar do sexo feminino ter sido variável significativamente associada com menor dose na análise multivariada) é motivo de preocupação. Esse resultado é possivelmente decorrente do pequeno número de mulheres estudadas, mas se o sexo isoladamente tem alguma influência na dose de radiação selecionada, essa provavelmente não é grande, sendo outros fatores como IMC e presença de *stents* coronarianos mais importantes na prescrição da dose.

### Perspectivas Futuras

Novas tecnologias como os tomógrafos de larga cobertura (256 canais ou mais),<sup>24,25</sup> aquisição prospectiva,<sup>21,26</sup> novos detectores<sup>27</sup> e algoritmos de reconstrução<sup>28</sup> já demonstraram diminuir ainda mais as doses de radiação para valores tão baixos quanto 1mSv por exame.

### Limitações do estudo

Este estudo apresenta algumas limitações importantes. Por constituir análise retrospectiva e observacional, não houve protocolos de exposição pré-estabelecidos e uniformes para os pacientes, sendo que cada médico responsável pelo exame escolheu os parâmetros utilizados. Esse problema é minimizado pelo fato de mais de 80% dos exames terem sido realizados por um dos investigadores (IG) e pelo fato de discussões sobre maneiras de minimizar a dose serem frequentes entre os médicos responsáveis. Outra limitação é a indisponibilidade da tecnologia de 100kV no aparelho da *Philips* à época do estudo, sendo limitadas as conclusões nesse sentido. Importante ressaltar que este estudo limita-se à experiência de um serviço privado ambulatorial, sendo que qualquer generalização em cenário mais amplo de saúde deve ser realizada com extrema cautela.

### Conclusões

Este estudo demonstra baixa dose média de radiação ionizante em exames de AngioTC-Cor (7,6 mSv), correspondendo à metade da dose usualmente utilizada em cintilografia miocárdica. Fatores como idade avançada, IMC elevado e presença de *stents* coronarianos estão relacionados à maior exposição. A utilização de modulação de dose pelo ECG e tensão do tubo de 100kV estão ambas associadas à queda aproximada de 50% na dose e devem ser utilizadas sempre que possível.

### Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflitos de interesses pertinentes.

### Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

### Vinculação Universitária

Este artigo é parte da tese de Doutorado de Ilan Gottlieb pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

### Referências

1. Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostoni P, Morello R, Valgimigli M, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48 (9):1896-910.

**Artigo Original**

2. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med*. 2008;359:2324-336.
3. Miller J, Dewey M, Vavere A, Rochitte CE, Niinuma H, Arbab-Zadeh A, et al. Coronary CT angiography using 64 detector rows: methods and design of the multi-centre trial CORE-64. *Eur Radiol*. 2009;19:816-28.
4. Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*. 2007;298:317-23.
5. Gerber TC, Gibbons RJ. Weighing the risks and benefits of cardiac imaging with ionizing radiation. *JACC: Cardiovasc Imaging*. 2010;3:528-35.
6. Golding SJ. Radiation exposure in CT: what is the professionally responsible approach? *Radiology*. 2010;255:683-86.
7. Halliburton SS, Schoenhagen P. Cardiovascular imaging with computed tomography: responsible steps to balancing diagnostic yield and radiation exposure. *JACC: Cardiovasc Imaging*. 2010;3:536-40.
8. Morin RL, Gerber TC, McCollough CH. Radiation dose in computed tomography of the heart. *Circulation*. 2003;107:917-22.
9. Kim KP, Einstein AJ, Berrington de Gonzalez A. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. *Arch Intern Med*. 2009;169:1188-194.
10. 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;361:849-57.
11. Gerber TC, Stratmann BP, Kuzo RS, Kantor B, Morin RL. Effect of acquisition technique on radiation dose and image quality in multidetector row computed tomography coronary angiography with submillimeter collimation. *Invest Radiol*. 2005;40:556-63.
12. Feuchtner GM, Jodocy D, Klauser A, Haberkellner B, Aglan I, Spoek A, et al. Radiation dose reduction by using 100-kV tube voltage in cardiac 64-slice computed tomography: A comparative study. *Eur J Radiol*. 2010;75:e51-e56.
13. ImPACT CT Scanner Evaluation Centre. [Internet]. ImPACT: imaging performance assessment of CT scanners 2010. Available from <<http://impactscan.org>>
14. Bongartz G, Golding SJ, Jurik AG, Leonardi M, Van Meerten EvP, for the European Study Group. European Guidelines on quality criteria for computed tomography. Available from: <<http://drs.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>>
15. Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, Flohr T, Suess C, Schoepf UJ, et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol*. 2002;12(5):1081-1086.
16. Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Huber E, Zankl M, Martinoff S, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation*. 2006;113:1305-310.
17. Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation*. 2007;116:1290-305.
18. National Research Council. Committee to assess health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII phase 2. Washington, DC: The National Academies Press; 2006. Available from: <<http://www.nap.edu>>
19. Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, Goldstein JA. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:552-57.
20. Mollet NR, Cademartiri F, Krestin GP, McFadden EP, Arampatzis CA, Serruys PW, et al. Improved diagnostic accuracy with 16-row multi-slice computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45:128-32.
21. Alkadhi H, Stolzmann P, Desbiolles L, Baumüller S, Goetti R, Plass A, et al. Low-dose, 128-slice, dual-source CT coronary angiography: accuracy and radiation dose of the high-pitch and the step-and-shoot mode. *Heart*. 2010;96:933-38.
22. Mori S, Endo M, Nishizawa K, Murase K, Fujiwara H, Tanada S, et al. Comparison of patient doses in 256-slice CT and 16-slice CT scanners. *Br J Radiol*. 2006;79:56-61.
23. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, Hadamitzky M, Krebs M, Gerber TC, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA*. 2009;301:500-507.
24. Einstein AJ, Elliston CD, Arai AE, Chen MY, Mather R, Pearson GD, et al. Radiation dose from single-heartbeat coronary CT angiography performed with a 320-detector row volume scanner. *Radiology*. 2010;254:698-706.
25. Mori S, Nishizawa K, Kondo C, Ohnoa M, Akahanea K, Endoc M, et al. Effective doses in subjects undergoing computed tomography cardiac imaging with the 256-multislice CT scanner. *Eur J Radiol*. 2007;65(3):442-48.
26. Stolzmann P, Goetti R, Baumüller S, Plass A, Falk V, Scheffel H, et al. Prospective and retrospective ECG-gating for CT coronary angiography perform similarly accurate at low heart rates. *Eur J Radiol*. 2010. In Press.
27. Cormode DP, Roessl E, Thran A, Skajaa T, Gordon RE, Schlomka JP, et al. Atherosclerotic plaque composition: analysis with multicolor CT and targeted gold nanoparticles1. *Radiology*. 2010;256:774-82.
28. Singh S, Kalra MK, Hsieh J, Licato PE, Do S, Pien HH, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques. *Radiology*. 2010. Epub ahead of print.