

Angiotomografia computadorizada de coronárias com tomógrafo com 320 fileiras de detectores e utilizando o AIDR-3D: experiência inicial

Coronary computed tomography angiography with 320-row detector and using the AIDR-3D: initial experience

Roberto Sasdelli Neto¹, Cesar Higa Nomura¹, Ana Carolina Sandoval Macedo¹, Danilo Perussi Bianco¹, Fernando Uliana Kay¹, Gilberto Szarf¹, Gustavo Borges da Silva Teles¹, Hamilton Shoji¹, Pedro Vieira Santana Netto¹, Rodrigo Bastos Duarte Passos¹, Rodrigo Caruso Chate¹, Walther Yoshiharu Ishikawa¹, João Paulo Bacellar Costa Lima¹, Marcelo Assis Rocha¹, Vinícius Neves Marcos¹, Bruna Bonaventura Failla², Marcelo Buarque de Gusmão Funari¹

RESUMO

A angiotomografia computadorizada de coronárias (angioTC de coronárias) é um excelente método de imagem não invasivo para avaliar a doença arterial coronariana. Atualmente, a dose de radiação efetiva estimada da angioTC de coronárias pode ser reduzida em tomógrafos de última geração com múltiplos detectores, como o tomógrafo com 320 fileiras de detectores (320-CT), sem prejuízo na acurácia diagnóstica da angioTC de coronárias. Para reduzir ainda mais a dose de radiação, novos algoritmos de reconstrução iterativa foram recentemente introduzidos por vários fabricantes de tomógrafos, que atualmente são utilizados rotineiramente nesse exame. Neste trabalho, apresentamos nossa experiência inicial na angioTC de coronárias utilizando o 320-CT e o *Adaptive Iterative Dose Reduction 3D* (AIDR-3D). Apresentamos ainda as indicações mais comuns desse exame na rotina da instituição bem como os protocolos de aquisição da angioTC de coronárias com as atualizações relacionadas a essa nova técnica para reduzir a dose de radiação. Concluímos que a dose de radiação da angioTC de coronárias pode ser reduzida seguindo o princípio *as low as reasonable achievable* (tão baixo quanto razoavelmente exequível), combinando a indicação de exame com técnicas bem documentadas para a diminuição da dose de radiação, como o uso de betabloqueadores e a redução do kV, com os mais recentes aplicativos de reconstrução iterativa para redução da dose de radiação, como o AIDR-3D.

Descritores: Angiografia coronária; Doença da artéria coronariana; Tomografia computadorizada multidetectores; Radiação ionizante; Controle da exposição a radiação; Processamento de imagem assistida

por computador; Isquemia miocárdica; Diagnóstico por imagem; Técnicas de imagem de sincronização cardíaca; Técnicas de imagem cardíaca

ABSTRACT

Coronary computed tomography angiography (coronary CTA) is a powerful non-invasive imaging method to evaluate coronary artery disease. Nowadays, coronary CTA estimated effective radiation dose can be dramatically reduced using state-of-the-art scanners, such as 320-row detector CT (320-CT), without changing coronary CTA diagnostic accuracy. To optimize and further reduce the radiation dose, new iterative reconstruction algorithms were released recently by several CT manufacturers, and now they are used routinely in coronary CTA. This paper presents our first experience using coronary CTA with 320-CT and the *Adaptive Iterative Dose Reduction 3D* (AIDR-3D). In addition, we describe the current indications for coronary CTA in our practice as well as the acquisition standard protocols and protocols related to CT application for radiation dose reduction. In conclusion, coronary CTA radiation dose can be dramatically reduced following the "as low as reasonable achievable" principle by combination of exam indication and well-documented technics for radiation dose reduction, such as beta blockers, low-kV, and also the newest iterative dose reduction software as AIDR-3D.

Keywords: Coronary angiography; Coronary artery disease; Multidetector computed tomography; Radiation, ionizing; Exposure control to radiation; Image processing, computed-assisted; Myocardial ischemia;

¹ Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, SP, Brasil.

² Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.

Autor correspondente: Roberto Sasdelli Neto – Avenida Albert Einstein, 627/701, 4º andar, bloco D – Morumbi – CEP: 05652-900 – São Paulo, SP, Brasil – Tel.: (11) 2151-2487 – E-mail: roberto.neto@einstein.br

Data de submissão: 1/11/2012 – Data de aceite: 5/7/2013

Diagnostic imaging; Cardiac-gated imaging techniques; Cardiac imaging techniques

INTRODUÇÃO

O papel do exame de angiotomografia computadorizada (angioTC) de coronárias foi estabelecido nas últimas diretrizes do *American College of Cardiology/American Heart Association (ACC/AHA)* como um método de imagem não invasivo para avaliação da doença arterial coronariana e de algumas doenças cardiovasculares⁽¹⁾. Atualmente, a dose de radiação efetiva estimada da angioTC de coronárias pode ser drasticamente reduzida por meio de tomógrafos de última geração, como o tomógrafo com dois tubos de raios X (DSCT) e o tomógrafo com 320 fileiras de detectores (320-CT)⁽²⁾, sem mudanças significativas na acurácia diagnóstica da imagem das coronárias⁽³⁾. Para otimizar e reduzir ainda mais a dose de radiação, novos algoritmos iterativos de reconstrução foram recentemente introduzidos por diversos fabricantes de tomógrafos⁽⁴⁾, sendo atualmente utilizados de modo rotineiro nas angioTC de coronárias. Este trabalho apresenta nossa primeira experiência com a angioTC de coronária no 320-CT utilizando o *Adaptive Iterative Dose Reduction 3D (AIDR-3D)*. São

descritas as indicações da angioTC de coronárias e os protocolos de aquisições relacionados à redução da dose de radiação.

INDICAÇÕES DA ANGIOTC DE CORONÁRIAS

Cada indicação da angioTC de coronárias demanda um protocolo específico de angioTC, que pode ter a dose de radiação bastante aumentada. Por exemplo, os protocolos criados para avaliar pacientes submetidos à revascularização miocárdica e a angioTC “para descarte triplo na emergência” com frequência exigem doses mais altas do que na angioTC de coronárias convencional⁽¹⁾.

A maioria dos pacientes encaminhados à nossa instituição para realização da angioTC de coronárias apresentou como principal indicação exames cardiovasculares progressos com resultados conflitantes, como teste ergométrico de esforço e tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT).

Outras indicações da angioTC de coronárias relacionadas aos respectivos escores de critérios apropriados em diretrizes internacionais (*ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography*) são exibidos no quadro 1⁽¹⁾.

Quadro 1. Indicações da angiotomografia computadorizada de coronárias

| Indicação | Características clínicas | Escore* |
|---|--|---------|
| Pacientes com sintomas não agudos | Eletrocardiograma interpretável E paciente capaz de realizar esforço físico | A-7** |
| | Eletrocardiograma não interpretável OU paciente incapaz de realizar esforço físico | A-8 |
| Agudo (urgência/emergência) Pacientes sintomáticos | Eletrocardiograma normal e biomarcadores cardíacos normais | A-7 |
| | Eletrocardiograma não diagnóstico OU biomarcadores cardíacos inconclusivos | A-7 |
| Utilização de angiotomografia computadorizada no ambiente de resultados de testes progressos – eletrocardiograma de teste ergométrico progressivo | Dor torácica aguda de origem incerta | U-6*** |
| | Eletrocardiograma do teste ergométrico normal e continuidade dos sintomas | A-7 |
| | Eletrocardiograma do teste ergométrico prévio e escore de Duke – paciente em risco intermediário | A-7 |
| | Discordância entre o teste ergométrico e os resultados de exames de imagem | A-8 |
| Avaliação de risco pós-revascularização (cirurgia aberta ou angioplastia) | Avaliação do escore de cálcio por meio de tomografia > 100 em sintomáticos ou entre 100-400 | A-8 |
| | Paciente com cirurgia de revascularização do miocárdio e sintomático (equivalente isquêmico) | A-8 |
| Avaliação de estrutura cardíaca | Paciente assintomático com angioplastia prévia por <i>stent</i> ≥3,0mm no tronco da coronária esquerda | A-8 |
| | Avaliação de anomalias das artérias coronárias e outros vasos arteriais e/ou venosos torácicos | A-9 |
| | Avaliação do adulto com cardiopatia congênita complexa | A-8 |
| Avaliação de estrutura cardíaca e função – avaliação de estruturas intra e extracardíacas | Avaliação de morfologia ventricular e função sistólica | A-7 |
| | Caracterização de valvas cardíacas nativas ou protéticas (suspeita de disfunção valvar) | A-8 |
| | Avaliação de massa cardíaca (suspeita de tumor ou trombo) | A-8 |
| Avaliação pré-operatória | Pré-operatório de implante de marca-passo biventricular | A-8 |
| | Avaliação das artérias coronárias em pré-operatório de cirurgia cardíaca | A-8 |

Adaptado de: ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography⁽¹⁾.

*Escore 7 a 9: o teste é geralmente aceito e é uma abordagem racional e razoável para a indicação; escore 4 a 6: o teste pode ser geralmente aceito e pode ser uma abordagem razoável para a indicação; escore 1 a 3: o teste geralmente não é aceito e não é uma abordagem razoável para a indicação; **A: teste apropriado para indicação específica; *** U: utilização do teste com validade incerta para indicação específica.

PREPARAÇÃO DE PACIENTE PARA ANGIOTC DE CORONÁRIAS

Pacientes encaminhados para angioTC de coronária podem receber betabloqueadores por via oral ou intravenosa para reduzir a frequência cardíaca, a não ser que haja contraindicações, como insuficiência cardíaca, asma ou anormalidades na condução atrioventricular⁽⁵⁾. Os protocolos de doses de betabloqueadores utilizados em nossa instituição são detalhados no quadro 2.

Quadro 2. Protocolos institucionais para diminuição da frequência cardíaca com betabloqueadores orais e intravenosos

| FC (batimentos/minuto) | Dose de betabloqueadores |
|------------------------|---|
| <55 | Não há |
| 55<FC<60 | 5mg IV de tartarato de metoprolol (Seloken®), se necessário |
| 60<FC<70 | 5-15mg IV de tartarato de metoprolol (Seloken®) 15 minutos antes da tomografia |
| 70<FC<80 | 40mg de hidrocloreto de propranolol (Inderal®) oral ou tartarato de metoprolol (Seloken®) 5-15mg IV, 15-45 minutos antes da tomografia |
| 80<FC<90 | 100mg de tartarato de metoprolol (Seloken®) oral ou 40mg de hidrocloreto de propranolol (Inderal®) oral pelo menos 1 hora antes da tomografia |
| FC>90 | 100mg de tartarato de metoprolol (Seloken®) oral pelo menos 1 hora antes da tomografia |

IV: via intraveno; FC: frequência cardíaca.

O dinitrato de isossorbida sublingual (3,75mg) é administrado rotineiramente pouco antes da aquisição das imagens da angioTC de coronárias se não houver contraindicações, tais como hipertensão pulmonar, estenose aórtica grave, uso de inibidores de fosfodiesterase tipo 5 (como o uso de citrato de sildenafil nas últimas 24 horas, ou tadalafil nas últimas 72 horas) e enxaqueca⁽⁵⁾.

TOMÓGRAFO

Em nossa instituição as angioTC de coronárias são realizadas em 320-TC (*Aquilion ONE, Toshiba Medical Systems, Tochigi-ken, Japan*). Todos os pacientes são examinados com aquisição prospectiva acoplada ao eletrocardiograma (ECG), independentemente da frequência cardíaca no momento do exame. Essa técnica utiliza o reconhecimento da onda R do ECG, com estimativa do intervalo R-R, e aquisição sequencial (não helicoidal) sem movimentação da mesa do tomógrafo durante a obtenção das imagens (aquisição do tipo *step-and-shoot*), além da reconstrução única de feixe cônico⁽⁶⁾.

O planejamento da aquisição da angioTC no tomógrafo é baseado no índice de massa corporal (IMC) para aplicação dos valores mais baixos possíveis de kV e mA para cada paciente (Quadro 3), utilizando o *Sure*

Quadro 3. Parâmetros de aquisição do tomógrafo com 320 fileiras de detectores para três diferentes tipos de protocolo de angiotomografia computadorizada de coronárias

| Exame | Detectores/colimação/velocidade da rotação do tubo | Kilovoltagem (kV) | Intensidade da corrente do tubo (mA) | FOV (mm) | Extensão no eixo z (mm) | Pitch | Wide Volume | Filtro | Fases do intervalo RR | Software de modulação de dose | Injeção de MC |
|---|--|--|---|----------|-------------------------|---|-------------|--------------------------------------|--|---|--|
| Angiotomografia computadorizada de coronárias – aquisição prospectiva | 320/0,5/0,35 | 80-135 | <i>Sure Exposure 3D CTA Standard</i> | (M) 220 | 120 | 0 | Desligado | <i>Cardiac Stent (AIDR-Standard)</i> | 70, 75 e 80% | Prosp CTA (<i>Sure Cardio</i>) | Fluxo: 4,5-5mL/s Volume de MC: 75mL |
| Angiotomografia computadorizada de coronárias de paciente submetido à cirurgia de revascularização do miocárdio | 320/0,5/0,35 | 80-135 | <i>Sure Exposure 3D CTA Standard</i> | (M) 220 | 232 | 0 | Ligado | <i>Cardiac Stent (AIDR-Standard)</i> | 70, 75 e 80% | Prosp CTA (<i>Sure Cardio</i>) | Fluxo: 4,5-5mL/s Volume de MC: 100mL |
| Próteses aórticas | 80/0,5/0,35 | 100 kV quando IMC <30 120 kV quando IMC >30 | 1ª sequência: <i>Sure Exposure 3D CTA Standard</i> 2ª sequência: <i>Sure Exposure Low Dose</i> | (M) 220 | — | 1ª sequência: <i>standard</i> 2ª sequência*: <i>fast</i> | Desligado | <i>Body Standard and Lung</i> | Angiotomografia de coronárias: 25 a 85%; Angiotomografia de aorta: volume da aorta torácica e abdominal até bifurcação das artérias ilíacas | CTA/CFA continua (<i>Sure Cardio</i>) | Fluxo: 4,5-5mL/s Volume de MC é igual a 10 unidades acrescido do tempo de aquisição |

*Pitch helicoidal variável permite a divisão dos parâmetros de aquisição. A aquisição do segmento torácico da angiotomografia computadorizada é acoplada ao eletrocardiograma. A aquisição do segmento abdominal é realizada sem o acoplamento ao eletrocardiograma, o que é automaticamente desligado, o que permite a aquisição do exame utilizando apenas uma manobra de apneia do paciente, e a diminuição do volume do meio de contraste administrado.

Sure Exposure 3D®, *SureCardio*® e *AIDR-Standard*® são marcas registradas e os dados foram disponibilizados pela *Toshiba Medical Systems* (Tochigi-ken, Japan).

FOV: campo de visão; MC: meio de contraste; IMC: índice de massa corporal; CTA: angiotomografia computadorizada de coronárias; CFA: avaliação da função cardíaca.

Exposure 3D[®] (Tochigi-ken, *Japan*) com sistema de controle de exposição automático⁽⁷⁾.

A cobertura do eixo-z varia de 10 a 16cm, e a extensão no eixo craniocaudal de 12 a 14cm é utilizada em cerca de 75% dos pacientes. Os valores padrão dos tomógrafos disponibilizados pelos fabricantes são exibidos no quadro 3. Não há movimento da mesa durante a aquisição das imagens, então o *pitch* é igual a zero. A reconstrução das imagens utiliza o algoritmo “*half*”, que aumenta a resolução temporal para 175ms⁽⁸⁾, e o *Xact+* ligado, que corrige o ângulo do feixe cônico do tubo de raios X do 320-CT.

O meio de contraste iodado não iônico (Henetix[®] 350mg/mL, Guerbet, Lille, France) é injetado utilizando o sistema de injeção de dupla via, com variação do volume de 50 a 100mL, conforme o IMC do paciente e a indicação da angioTC de coronária, seguido por 50mL de solução salina em bólus⁽⁵⁾.

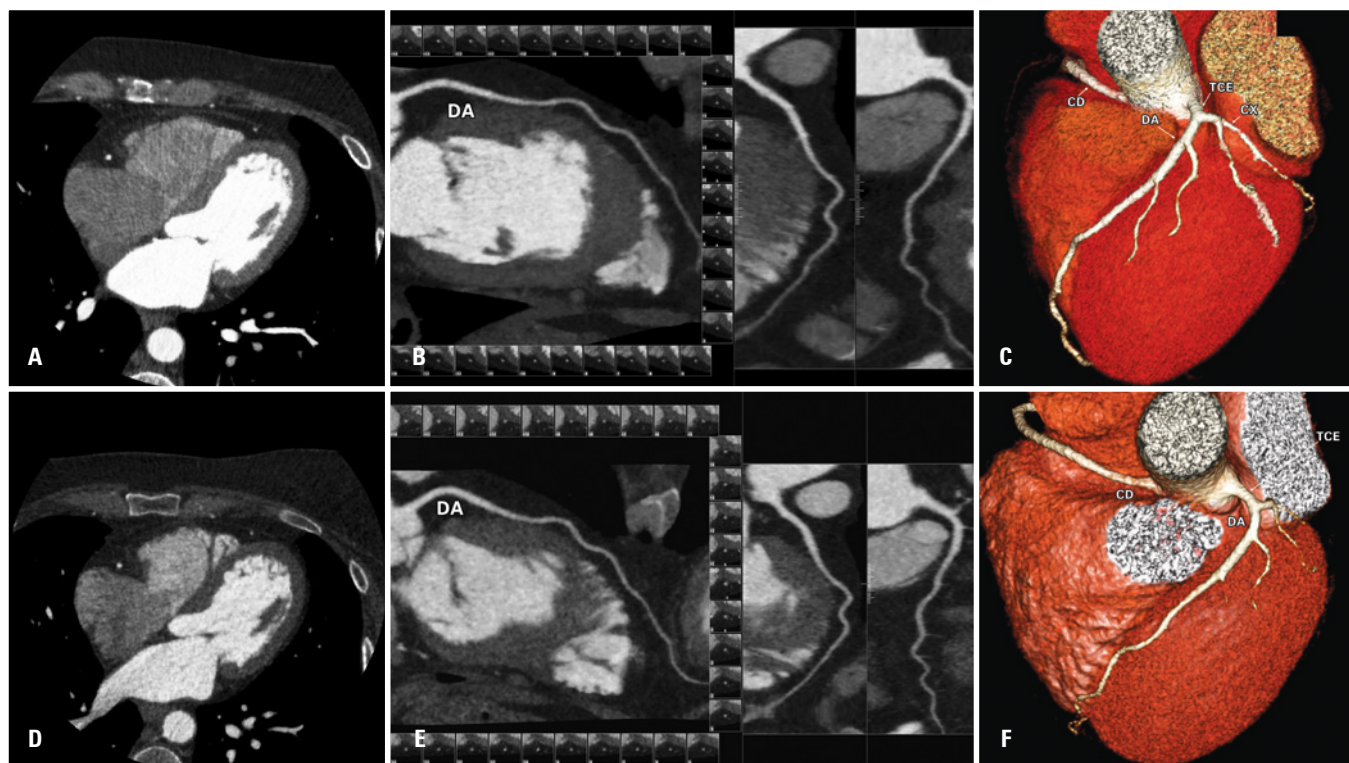
ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE DOSE: RECONSTRUÇÃO ITERATIVA

As imagens da TC são formadas a partir das reconstruções de projeções de radiação em múltiplos ângu-

los detectadas pelo tomógrafo, com retroprojeção (BP, *backprojection*) ou retroprojeção filtrada (FBP - *filtered backprojection*), associadas a reconstruções iterativas desde 1970⁽⁴⁾. O termo “iterativo” refere-se ao método de aproximações sucessivas até a concordância satisfatória com uma imagem inicial, selecionada de forma arbitrária. Desse modo, por definição, as reconstruções iterativas repetem o processo de reconstrução inúmeras vezes e são muito mais lentas do que os métodos analíticos⁽⁴⁾.

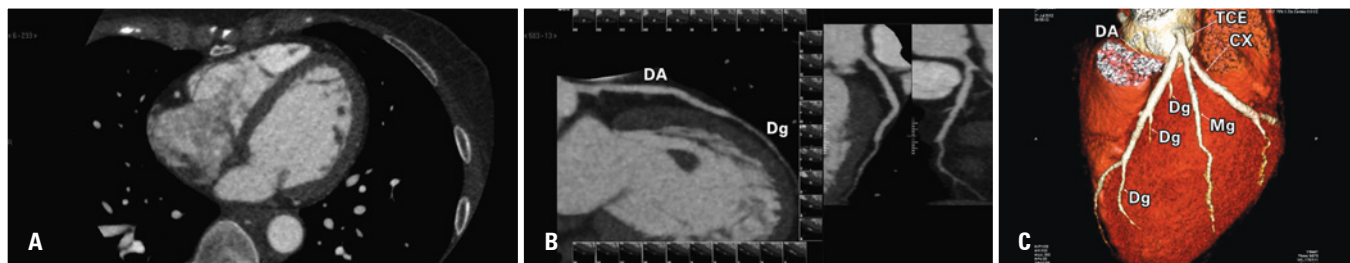
O aumento da TC de baixa dose implica na redução do número de fótons atingindo os detectores, resultando em diminuição da relação sinal-ruído e em maior número de artefatos lineares de alta densidade (artefatos *strike*)^(8,9).

O AIDR-3D é um algoritmo de reconstrução iterativa composto por diversas operações e que foi recentemente introduzido no mercado pela *Toshiba Medical Systems* (Tochigi-ken, *Japan*). O objetivo das operações no espaço de dados das projeções da radiação adquiridas é reduzir os artefatos lineares de alta densidade (artefatos *strike*), causados pela redução do número de fótons e por fótons com energia reduzida. Então, um filtro 3D para suavização da imagem é aplicado aos valores de contagem dos fótons, cujo desempenho é au-



DA: artéria descendente anterior; CD: coronária direita; TCE: tronco da coronária esquerda; CX: artéria circunflexa.

Figura 1. Comparação de dois exames de angiotomografia computadorizada de coronária do mesmo paciente, o primeiro sem AIDR-3D (Figuras A-C) e o segundo com AIDR-3D (Figuras D-F). O ruído é diferente nas imagens axiais (Figuras A e D), mas as reformatações em MIP curvo (Figuras B e E) e em 3D *volume-rendering* (Figuras C e F) têm características similares. A dose de radiação efetiva estimada apenas para a série contrastada da angiotomografia computadorizada de coronária e para o exame completo foram respectivamente de 6,6mSv e 8,8mSv (exame sem AIDR-3D), e de 1,97mSv e 3,9mSv (exame com AIDR-3D)



DA: artéria descendente anterior; TCE: tronco da coronária esquerda; Dg: ramo diagonal; CX: artéria circunflexa; Mg: ramo marginal obtuso.

Figura 2. Exame de angiotomografia computadorizada de coronária com AIDR-3D. Imagem axial (A), reformatações em MIP curvo (B) e em 3D-VR (C). A dose de radiação efetiva estimada apenas para a série contrastada da angiotomografia computadorizada de coronárias e para o exame completo foi respectivamente de 0,43mSv e 1,02mSv

mentado posteriormente por modelos estatísticos de ruído e do tomógrafo. Entrementes, as operações do AIDR-3D ocorrem no domínio da reconstrução das imagens, com o intuito de reduzir o ruído da imagem iterativamente⁽⁸⁾. O processo final envolve uma mistura ponderada das reconstruções iterativa e primária, para criar uma imagem reconstruída com o AIDR-3D. O resultado dessa combinação são imagens com aspecto tomográfico típico, como se fossem simplesmente adquiridas com os parâmetros de aquisição do tomógrafo, sem mecanismos para a redução da dose de radiação⁽¹⁰⁾ (Figura 1). Atualmente, o AIDR-3D pode ser aplicado a todos os protocolos de aquisição de imagem utilizados na prática clínica diária, sendo capaz de eliminar até 50% do ruído da imagem e resultando em redução da dose de até 65%⁽⁸⁾ (Figura 2).

CONCLUSÃO

Em conclusão, a dose de radiação da angiotomografia computadorizada de coronárias pode ser significativamente reduzida, seguindo o princípio “ALARA” (“as low as reasonable achievable”, “tão baixo quanto razoavelmente exequível”), combinando a indicação de exame com técnicas bem documentadas para a diminuição da dose de radiação, como o uso de betabloqueadores, a redução do kV e o uso de aplicativos de reconstrução iterativa para redução da dose de radiação, como o AIDR-3D.

REFERENCIAS

1. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O’Gara P, Rubin GD. American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force; Society of Cardiovascular Computed Tomography; American

College of Radiology; American Heart Association; American Society of Echocardiography; American Society of Nuclear Cardiology; North American Society for Cardiovascular Imaging; Society for Cardiovascular Angiography and Interventions; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Cardiovasc. Comput Tomogr.* 2010;4(6):407.e1-33.

2. Zhang C, Zhang Z, Yan Z, Xu L, Yu W, Wang R. 320-row CT coronary angiography: effect of 100-kV tube voltages on image quality, contrast volume, and radiation dose. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2011;27(7):1059-68.
3. Dewey M, Zimmermann E, Deissenrieder F, Laule M, Dübel HP, Schlattmann P, et al. Noninvasive coronary angiography by 320-row computed tomography with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy: comparison of results with cardiac catheterization in a head-to-head pilot investigation. *Circulation.* 2009;120(10):867-75.
4. Fleischmann D, Boas FE. Computed tomography—old ideas and new technology. *Eur Radiol.* 2011;21(3):510-7.
5. Maurer MH, Zimmermann E, Schlattmann P, Germershausen C, Hamm B, Dewey M. Indications, imaging technique, and reading of cardiac computed tomography: survey of clinical practice. *Eur Radiol.* 2012;22(1):59-72.
6. Hsieh J, Londt J, Vass M, Li J, Tang X, Okerlun D. Step-and-shoot data acquisition and reconstruction for cardiac x-ray computed tomography. *Med Phys.* 2006;33(11):4236-48.
7. Lee CH, Goo JM, Ye HJ, Ye SJ, Park CM, Chun EJ, et al. Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT era: from basics to practice. *Radiographics.* 2008;28(5):1451-9.
8. Yoo RE, Park EA, Lee W, Shim H, Kim YK, Chung JW, et al. Image quality of Adaptive Iterative Dose Reduction 3D of coronary CT angiography of 640-slice CT: comparison with filtered back-projection. *Int. J Cardiovasc Imaging.* 2013; 29(3):669-76.
9. Singh S, Kalra MK, Gilman MD, Hsieh J, Pien HH, Digumarthy SR, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction technique for radiation dose reduction in chest CT: a pilot study. *Radiology.* 2011;259(2):565-73.
10. Hara AK, Paden RG, Silva AC, Kujak JL, Lawder HJ, Pavlicek W. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;193(3):764-71.