

Acurácia Diagnóstica do Escore de Cálcio Coronariano Adquirido com Redução da Dose de Radiação e Reconstrução Iterativa

Diagnostic Accuracy of the Coronary Calcium Score Acquired with Reduced Radiation Dose and Iterative Reconstruction

Daniela Rodrigues Carnaval,¹ Adriano Liebl,² Miguel Morita Fernandes Silva,³ Bruno Marques Sartori,² Caio Nogara de Menezes Couto,² Gabriel Bergonse Garaluz da Silva,² Ítalo Gabriel Beltrame Vazzoler,² Vinícius Maksoud Medeiros,² Rodrigo Julio Cerci³

Hospital Santa Casa de Misericórdia de Curitiba,¹ Curitiba, PR – Brasil

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,² Curitiba, PR – Brasil

Clínica Quanta Diagnóstico e Terapia,³ Curitiba, PR – Brasil

Resumo

Fundamento: O escore de cálcio (EC) é um exame de imagem utilizado para avaliar o risco cardiovascular, por meio da detecção da calcificação arterial coronariana (CAC). No entanto, a exposição à radiação ionizante durante a tomografia computadorizada (TC) tem sido uma preocupação.

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a dose de radiação e a qualidade diagnóstica do EC, utilizando voltagem do tubo reduzida e reconstrução iterativa de imagem.

Métodos: Estudo observacional transversal com pacientes acima de 18 anos. Foram excluídos pacientes com doença arterial coronariana prévia ou recusa em participar. Realizamos duas aquisições de EC (120 kV e 100 kV) com diferentes técnicas de reconstrução iterativa. Dois profissionais interpretaram os exames.

Resultados: Foram avaliados 153 pacientes, e a redução da dose de radiação entre as aquisições com 120 kV e 100 kV foi de 43%. A concordância do grau de CAC entre as diferentes aquisições foi alta, variando de 93,9% a 96,2%. Na análise de Bland-Altman, foi observada uma ligeira superestimação dos resultados na aquisição com 100 kV em comparação com a aquisição com 120 kV.

Conclusão: A aquisição do EC com 100 kV, utilizando reconstrução iterativa Modelo de Reconstrução Iterativa (IMR), resultou em uma significativa redução da dose de radiação. Além disso, a concordância com a aquisição com 120 kV foi alta, indicando que essa abordagem pode ser uma alternativa viável para diminuir a exposição à radiação durante o exame de EC. No entanto, é importante ressaltar a ligeira superestimação dos resultados na aquisição com 100 kV, o que deve ser considerado na interpretação clínica.

Palavras-chaves: Calcificação Vascular; Doença da Artéria Coronária; Doses de Radiação; Tomografia.

Abstract

Background: The calcium score is an imaging test used to evaluate cardiovascular risk by detecting coronary artery calcification (CAC). However, exposure to ionizing radiation during computed tomography (CT) has been a concern.

Objective: The objective of this study was to evaluate radiation dose and the diagnostic quality of the calcium score using reduced tube voltage and iterative image reconstruction.

Methods: This was a cross-sectional, observational study with patients over 18 years of age. Patients with previous coronary artery disease and patients who declined to participate were excluded. We acquired calcium score twice (120 kV and 100 kV) with different iterative reconstruction techniques. Two professionals interpreted the exams.

Results: We evaluated 153 patients, and the reduction in radiation dose between acquisitions with 120 kV and 100 kV was 43%. The agreement of the degree of CAC between the different acquisitions was high, ranging from 93.9% to 96.2%. In Bland-Altman analysis, we observed a slight overestimation of the results in the acquisition with 100 kV compared to the acquisition with 120 kV.

Correspondência: Adriano Liebl •

Pontifícia Universidade Católica do Paraná. R. Imaculada Conceição, 1155. CEP: 80215-901. Prado Velho, Curitiba, PR – Brasil

E-mail: adriano_liebl@hotmail.com

Artigo recebido em 15/08/2023; revisado em 29/08/2023; aceito em 04/09/2023.

Editor responsável pela revisão: Tiago Senra

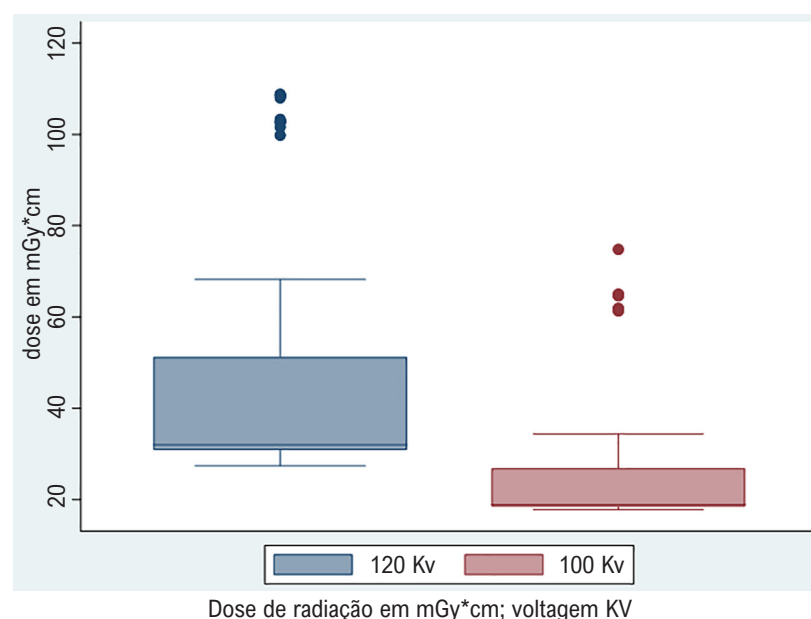
DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20230069>

Conclusion: Calcium score acquired at 100 kV using Iterative Model Reconstruction (IMR) iterative reconstruction resulted in a significant reduction in radiation dose. Furthermore, agreement with acquisition at 120 kV was high, indicating that this approach may be a viable alternative to decrease radiation exposure during calcium score testing. However, it is important to underscore the slight overestimation of the results in the acquisition with 100 kV, which must be considered in the clinical interpretation.

Keywords: Vascular Calcification; Coronary Artery Disease; Radiation Dosage; Tomography.

Full texts in English - <https://www.abcimaging.org/>

Figura Central: Acurácia Diagnóstica do Escore de Cálcio Coronariano Adquirido com Redução da Dose de Radiação e Reconstrução Iterativa



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2023;36(3):e20230069

Comparação dos DLP entre as aquisições de 120 kV e 100 kV

Introdução

As doenças cardiovasculares representam uma das principais causas de mortalidade em todo o mundo, com cerca de 17,3 milhões de óbitos por ano, sendo que entre essas mortes, 7,3 milhões estão associadas à doença aterosclerótica coronariana.¹

O uso de métodos diagnósticos por imagem para detecção mais precoce de doença aterosclerótica coronariana foi intensificado nos últimos anos. Alguns destes métodos utilizam radiação ionizante, trazendo preocupação referente aos seus possíveis efeitos colaterais. A radiação ionizante pode causar danos biológicos para quem é exposto, que são classificados em duas categorias: efeitos estocásticos e determinísticos. Os efeitos estocásticos ocorrem de forma proporcional à dose de radiação recebida, sem existência de limiar, e estão relacionados com o desenvolvimento de câncer e mutações genéticas, sendo o principal efeito causador de riscos à saúde decorrente da radiação. Os efeitos determinísticos são causados pela radiação total que um paciente recebe durante um procedimento, de modo que é causado um dano tecidual

no foco da radiação não compensado pelo reparo celular, o que gera danos, como lesões de pele.^{2,3} Dessa forma, meios de diminuir a dose efetiva de radiação nesses exames vêm se tornando foco de pesquisas por profissionais da área de cardiologia e radiologia em todo o mundo.⁴

O escore de cálcio (EC) é um exame de imagem diagnóstico cardiovascular que utiliza radiação ionizante na sua aquisição. É indicado para a estratificação de risco cardiovascular, detectando o grau de calcificação arterial coronariana (CAC), um sinal patognomônico de doença aterosclerótica coronariana, por meio da tomografia computadorizada (TC) cardíaca.^{5,6} A dose de radiação usada na obtenção do EC costuma ser baixa, cerca de 0,9 a 1,3 mSv, mas pode representar um risco à saúde dos pacientes, se passar a ser utilizada de forma mais ampla como rastreamento de doença cardiovascular.⁴

A qualidade da imagem e a dose de radiação estão positivamente relacionadas. A redução da dose provoca uma diminuição na qualidade da imagem, de tal modo que o excesso de zelo para se obter doses baixas pode gerar

imagens de baixa qualidade.² A redução na dose de radiação aumenta os ruídos da imagem, sendo que o corrente método de reconstrução com retroprojeção filtrada (FBP) é incapaz de gerar consistentemente imagem de qualidade de diagnóstico com correntes reduzidas do tubo de raios-X (mA).⁷ Assim, o método de reconstrução iterativa é uma ótima alternativa para melhorar a qualidade da imagem obtida, pois ela consegue diminuir a quantidade de ruídos e artefatos na imagem que normalmente estão associados com o FBP, o que faz com que a piora na qualidade da imagem decorrente da diminuição da voltagem do tubo seja compensada com a reconstrução de imagem iterativa.⁸

Nesse estudo, objetivamos comparar a dose efetiva de radiação na aquisição do exame de EC com a voltagem do tubo em 120 kV e 100 kV, utilizando diferentes formas de reconstrução e seu impacto na acurácia diagnóstica do exame.

Métodos

População de estudo

Foram incluídos 156 pacientes que realizaram exame de EC em uma clínica de imagem na cidade de Curitiba no período de outubro de 2019 a fevereiro de 2020. Os critérios de inclusão foram: pacientes acima de 18 anos encaminhados para a clínica por especialistas médicos para realizar o exame de EC coronariano. Foram excluídos da pesquisa os pacientes já diagnosticados com doenças coronarianas e/ou que recusaram a participação no estudo. Todos os pacientes encaminhados à clínica de imagem preenchem um questionário antes da realização do exame, fornecendo os seguintes dados: sexo, idade, peso, altura, antecedentes de hipertensão arterial sistêmica, diabetes, dislipidemia, tabagismo, história familiar de doenças cardíaca, infarto agudo do miocárdio, revascularização percutânea e revascularização cirúrgica. Essas informações foram registradas no banco de dados da clínica. Três pacientes foram excluídos da análise porque tinham histórico de infarto agudo do miocárdio prévio (2) ou revascularização percutânea (1), restando 153 participantes para a análise. Todos os participantes forneceram consentimento antes da realização do exame. O estudo foi submetido e aprovado pelo comitê de ética da instituição sob parecer número 3.623.828.

Tipo de estudo

O tipo de estudo é observacional transversal.

Protocolo de aquisição de imagens

A aquisição do EC foi feita por meio de cortes transversais, de até três milímetros de espessura, do coração em TC sincronizada com eletrocardiograma, sem uso de contraste endovenoso. No estudo, os pacientes foram submetidos a duas TC cardíacas seguidas para a obtenção do EC. A primeira com uma voltagem do tubo de 120 kV (padrão ouro) e a outra com voltagem de 100 kV. Ambas foram realizadas com o tomógrafo 256 cortes (Brilliance, Philips, Healthcare, The Netherlands), de modo que o paciente permanecesse na mesma posição durante as duas aquisições e com a corrente ajustada pelo

índice de massa corporal (IMC), sendo a mesma nas duas aquisições (IMC < 30: 30 mAs, IMC entre 30 e 35: 50 mAs e IMC > 35: 100 mAs).

Nas imagens obtidas com 120 kV, foi feita reconstrução de imagem FBP, configurando o padrão ouro de obtenção do EC. Por outro lado, nas imagens adquiridas com 100 kV, foram realizadas a reconstrução FBP e reconstruções iterativas com duas tecnologias: o iDose 6 (Philips, Healthcare, The Netherlands) e IMR 1 (Philips, Healthcare, The Netherlands). Ambos os exames obtidos foram direcionados, cegamente, para dois médicos especialistas para determinação do EC, utilizando software dedicado (Heartbeat CS, Philips, Healthcare, The Netherlands). Em resumo, imagens hiperatenuantes com mais de 130 unidades Hounsfield e área ≥ 3 pixels adjacentes foram destacadas pelo software, e as confinadas na árvore coronariana foram selecionadas pelo médico. O software então calcula a soma destes pontos de acordo com o método de Agatston e determina um escore final.^{6,9} Além disso categorizamos o resultado do EC da seguinte forma: igual a 0, entre 1 e 99, entre 100 e 399 e acima de 399 nas diferentes combinações de voltagem e reconstrução.

Dose de radiação

A dose de radiação é calculada automaticamente após cada aquisição. O padrão utilizado foi o *dose length product* ou produto de comprimento da dose (DLP) que é calculado automaticamente pelo software de aquisição do tomógrafo (iPatient Philips, Healthcare, The Netherlands) e apresentado em relatório ao término do exame. Os DLPs das aquisições de 120 kV e 100 kV de cada paciente foram registrados em planilha do Microsoft Excel para a análise.

Análise estatística

Os dados foram coletados e armazenados em uma planilha do Microsoft Excel. Os resultados foram expressos por médias, medianas, valores mínimos, valores máximos e desvios padrões (variáveis quantitativas) ou por frequências e percentuais (variáveis qualitativas). A análise de dados foi realizada com o auxílio do programa computacional STATA. A dose de radiação utilizada nas aquisições de 120 kV e 100 kV foi comparada por teste de Wilcoxon rank-sum (Mann-Whitney) e a correlação dos valores do grau de CAC analisadas por meio de testes de kappa. Ainda foram utilizadas curvas de Bland-Altman para avaliar a concordância entre as pontuações obtidas no estudo. O valor de $p < 0,05$ foi considerado para indicar diferença estatística.

Para facilitar a interpretação clínica dos resultados, consideramos alterações clinicamente significativas nas categorias de EC entre as diferentes aquisições e reconstruções, aquelas que levariam à mudança de conduta clínica pelas diretrizes, sendo elas: mudança de EC zero para qualquer resultado positivo (1-99, 100-399 ou acima de 399) ou mudança de um EC menor que 100 (1-99) para maior que 100 (100-399 ou acima 399), já que um escore acima de 100 é considerado fator agravante de risco cardiovascular e um escore acima de zero representa presença de aterosclerose coronariana calcificada.

Resultados

Demografia da população estudada

Os exames de 153 pacientes foram analisados e apresentaram uma média de EC de 221,9 Agatstons.

A média de idade da população do estudo foi de $58,9 \pm 13,1$ com IMC médio de $27,8 \pm 4,42$. Fatores de risco para doença cardiovascular estiveram presentes nos participantes da amostra da pesquisa da forma seguinte: hipertensão arterial sistêmica em 65 pacientes (43,3%), diabetes mellitus em 24 (16%), dislipidemia em 57 (38%) e tabagismo em 17 (11,3%). As principais características da população estudada encontram-se na Tabela 1.

Dose de radiação

Houve uma redução da dose de radiação de 43% entre as aquisições de 120 kV e 100 kV ($p < 0,0001$). Para a voltagem de 120 kV, o DLP médio foi de $41 (\pm 19,3)$ mGy*cm; enquanto para a voltagem de 100 kV, foi de $23,8 (\pm 11,4)$ mGy*cm (Figura Central).

Acurácia diagnóstica

Houve boa correlação entre o EC calculado pelos observadores em todas as formas de aquisição e reconstrução. Para 120 kV com FBP, o coeficiente de correlação interobservador foi de 0,99; para 100 kV com FBP a correlação foi de 0,99; para 100 kV com iDose 6 foi de 0,99 e para 100 kV com IMR 1 foi de 0,99; considerando um valor excelente se coeficiente de correlação interclasse entre 0,75 e 1.

A concordância do EC em classificação de Agatston por meio de teste de kappa entre o 120 kV com FBP e 100 kV com IMR foi de 94,2% e índice de kappa de 0,9; para 120 kV com FBP e 100 kV com FBP, foi de 93,8% e índice de kappa de 0,9. Para 120 kV FBP e 100 kV com iDose 6 foi de 96,2% com kappa de 0,93 ($p < 0,001$). Ao estratificarmos a concordância por meio do teste kappa em pacientes com IMC menor ou igual a 25 versus acima de 25, observamos uma queda na concordância nos pacientes mais obesos, conforme a Tabela 2.

A comparação dos resultados na análise de Bland-Altman na voltagem de 120 kV com FBP versus 100 kV com IMR apresentou os seguintes dados: limite de concordância de 95% com pontuações -162,6 a 139,6 e a diferença média de -11,5 (intervalo de confiança [CI] -23,5 a 0,5), como demonstrado na Figura 1. Para voltagem de 120 kV nas reconstruções FBP versus 100 kV com iDose 6, os limites de concordância de 95% foram de -226,6 a 164,8 com a diferença média de -30,8 (CI -46,5 a -15,2; $n = 153$; $p = 0,0001$), conforme demonstrado na Figura 2. Para a voltagem de 120 kV com reconstrução de FBP comparando com a dosagem de 100 kV na mesma reconstrução (FBP), os limites de concordância de 95% foram de -366,9 a 252,7 e a diferença média de -57 (CI -81,8 a -32,3; $p = 0,0001$), conforme demonstrado na Figura 3. Para a reconstrução com IMR 1, houve menor valor de dispersão com diferença média de -11,5. Observou-se uma superestimação do valor para IMR 1; assim, para valores mais elevados de EC, a média

Tabela 1 – Características da população do estudo

Variáveis	N = 156
Idade, média (DP)	58,97 ($\pm 13,13$)
IMC, média (DP)	27,82 ($\pm 4,42$)
Sexo feminino, N (%)	65 (41,6%)
HAS, N (%)	65 (43,8%)
Diabetes, N (%)	24 (16%)
Dislipidemia, N (%)	57 (38%)
Tabagismo atual, N (%)	17 (11,3%)
História familiar, N (%)	34 (22,7%)
IAM, N (%)	2 (1,3%)
Revascularização percutânea, N (%)	1 (0,7%)
Escore cálcio, média (DP)	221,95 ($\pm 563,76$)

DP: desvio padrão; HAS: hipertensão arterial sistêmica; IAM: infarto agudo do miocárdio prévio; IMC: índice de massa corporal.

Tabela 2 – Índice de concordância kappa estratificado por pacientes com IMC menor ou igual a 25 e acima de 25

Índice kappa	Concordância em IMC ≤ 25	Concordância em IMC > 25
120 kV FBP vs 100 kV FBP	95,2% (kappa 0,92)	88,2% (kappa 0,83)
120 kV FBP vs 100 kV iDose6	98,8% (kappa 0,97)	90,8% (kappa 0,86)
120 kV FBP vs 100 kV IMR	94,9% (kappa 0,91)	93,1% (kappa 0,89)

FBP: retroprojeção filtrada; IMC: índice de massa corporal.

de diferenças foi maior. Para reconstrução iDose 6, para um valor de EC de 130 unidades Hounsfield, a dispersão foi -30. Para 100 kV com FBP, para um valor de EC de 157 unidades Hounsfield, a dispersão foi -57.

Quando consideramos mudanças significativas do ponto de vista clínico na categoria de EC entre a aquisição na voltagem 100 kV com IMR comparada com a aquisição padrão ouro (120 kV com FBP), observamos 5 (3,2%) mudanças, sendo 2 (1,3%) mudanças de categoria zero para categoria 1-99 e 3 (1,9%) da categoria 1-99 para categoria 100-399.

Discussão

Em qualquer procedimento que envolva a exposição de um indivíduo à radiação para fins diagnósticos, a técnica aplicada deve promover o máximo de informações visuais usando o mínimo de dose, ou seja, o benefício ao paciente submetido ao exame de radiodiagnóstico deve estar associado às práticas otimizadas que garantam a qualidade da imagem com a menor dose.^{3,10} Algoritmos de reconstrução iterativa podem ser aplicados aos dados de TC cardíaca e podem reduzir o ruído da imagem para permitir melhorias qualidade de imagem e/ou dose de radiação reduzida.^{11,12}

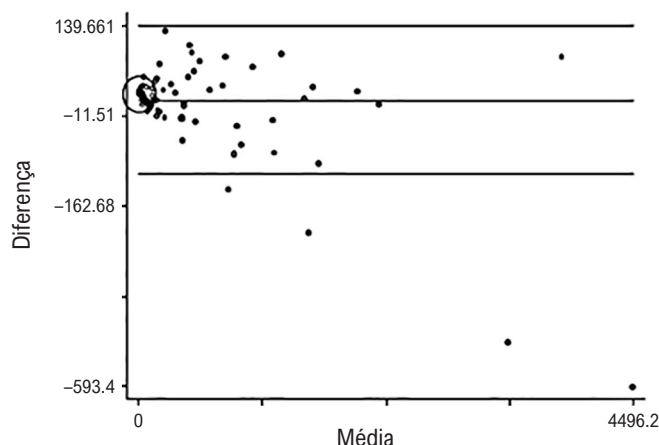


Figura 1 – Gráfico de Bland-Altman comparando os escores de cálcio obtidos com 120 kV e reconstrução FBP versus 100 kV e reconstrução IMR 1

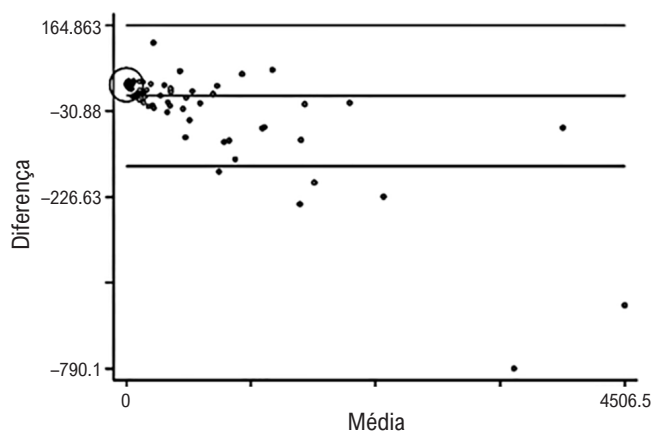


Figura 2 – Gráfico de Bland-Altman comparando os escores de cálcio obtidos com 120 kV e reconstrução FBP versus 100 kV e reconstrução iDose 6

No processo de reconstrução da imagem por TC, os dados de atenuação de um grande número de projeções são matematicamente processados para criar uma imagem do volume examinado. A FBP é o método estabelecido, resultante de um procedimento matemático rápido. Antes da reconstrução, os dados são filtrados para alcançar o equilíbrio adequado entre a resolução espacial e o ruído. As limitações da FBP são reveladas em aquisições de baixa dose de radiação, onde a qualidade da imagem pode ser comprometida por elevados níveis de ruído e de artefatos.¹³ Nos últimos anos, essas limitações foram contornadas com a introdução de métodos de reconstrução iterativa^{7,13} que pode remover ruídos de imagens de baixa dose usando uma variedade de modelos matemáticos¹⁴⁻¹⁶ Martin J. Willemink et al. realizaram uma revisão sistemática da literatura em 380 artigos onde pode-se observar que a reconstrução iterativa reduziu ruídos e artefatos, e melhorou a qualidade

da imagem subjetiva e objetiva em comparação com FBP na mesma dose.^{7,17}

Estudos internacionais mostraram que é possível diminuir a dose efetiva de radiação em até 74% em determinados tomógrafos, mantendo a acurácia diagnóstica do EC. Essa redução da dose de radiação ocorre pela diminuição da voltagem do tubo de 120 kV para 100 kV, de modo que a qualidade da imagem da TC é mantida com a utilização de um novo método de reconstrução.^{18,19}

Em nosso estudo, comparamos FBP com dois métodos de reconstrução iterativa (iDose e IMR), e observamos que é possível realizar o EC com menor dose de radiação, utilizando-se modernas técnicas de reconstrução. Houve uma redução da dose de radiação de 43% entre as aquisições para a voltagem de 120 kV para a voltagem 100 kV.

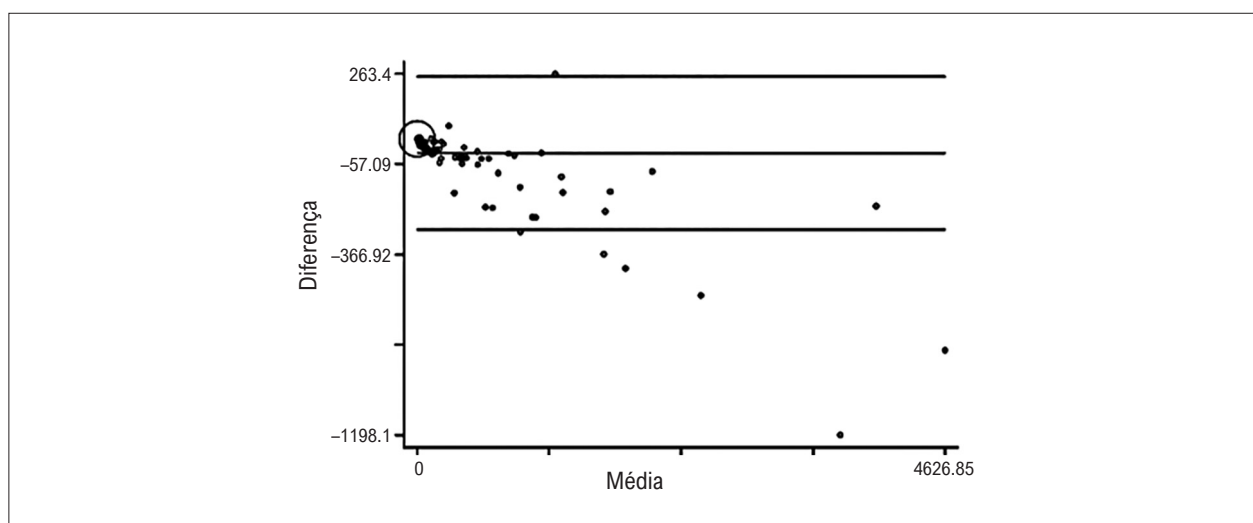


Figura 3 – Gráfico de Bland-Altman comparando os escores de cálcio obtidos com 120 kV e reconstrução FBP versus 100 kV e reconstrução FBP

Em relação à qualidade diagnóstica, observou-se uma elevada concordância (teste kappa acima de 0,9) entre os valores de CAC obtidos pelo método tradicional (120 kV com FBP) e os valores obtidos pelo método testado, tanto 100 kV com iDose 6, quanto 100 kV com IMR 1, demonstrando a manutenção da aplicabilidade clínica do CAC, mesmo adquirido com menores doses de radiação.

Já os gráficos de Bland-Altman demonstraram que de maneira geral existe uma superestimação do valor do CAC quando calculado nas aquisições de 100 kV. A diferença entre as médias é menor quando é utilizada a reconstrução IMR 1, variando de -11,5 (120 kV com IMR 1) até -57,1 (120 kV com FBP). Além disso, observamos que em todas as comparações, quanto mais baixo o CAC, menor é a diferença; e quanto mais elevado o CAC maior é a dispersão. Sendo assim, a aquisição com 100 kV e reconstrução IMR se mostrou a mais adequada para aplicação clínica.

Uma limitação do estudo foi à ocorrência da epidemia do COVID-19 durante a inclusão dos indivíduos, o que limitou o tamanho da amostra. Estudos realizados com maior amostragem podem ajudar a confirmar esses resultados.

Conclusão

A aquisição do EC com voltagem de 100 kV reduz significativamente a dose de radiação. Ao se utilizar a reconstrução iterativa IMR 1 na aquisição com 100 kV, mantém alta concordância e ligeira superestimação dos resultados quando comparada à aquisição com 120 kV e reconstrução FBP tradicional.

Referências

1. Azevedo CF, Rochitte CE, Lima JA. Coronary Artery Calcium Score and Coronary Computed Tomographic Angiography for Cardiovascular Risk Stratification. *Arq Bras Cardiol.* 2012;98(6):559-68. doi: 10.1590/s0066-782x2012000600012.
2. Leyton F, Canevaro L, Dourado A, Castello H, Bacelar A, Navarro MT, et al. Riscos da radiação X e a Importância da proteção Radiológica na Cardiologia Intervencionista: Uma Revisão Sistemática. *Rev Bras Cardiol Invasiva.* 2014;22(1):87-98. doi: 10.1590/0104-1843000000015.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, análise estatística, análise e interpretação dos dados, revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Carnaval DR, Silva MME, Cerci RJ; obtenção de dados: Liebl A, Sartori BM, Couto CNM, Silva GBC, Vazzoler IGB, Medeiros VM; redação do manuscrito: Liebl A, Sartori BM, Couto CNM, Carnaval DR, Silva GBC, Vazzoler IGB, Cerci RJ, Medeiros VM.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná sob o número de protocolo 20501119.5.0000.0096. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

3. Abbata S. SCCT Guidelines on Radiation Dose and Dose-Optimization Strategies in Cardiovascular CT. *Yearb Diagnostic Radiol.* 2012;2012:233. doi: 10.1016/j.yrad.2012.03.023.
4. Sara L, Szarf G, Tachibana A, Shiozaki AA, Villa AV, Oliveira AC, et al. II Guidelines on Cardiovascular Magnetic Resonance and Computed Tomography of the Brazilian Society of Cardiology and the Brazilian College of Radiology. *Arq Bras Cardiol.* 2014;103(6 Suppl 3):1-86. doi: 10.5935/abc.2014S006.
5. Schoenhagen P, Tuzcu EM. Métodos por Imagem da Aterosclerose em Estudos de Progressão/Regressão: Marcador Substituto ou Janela Direta para o Processador Patológico da Aterosclerose? *Arq Bras Cardiol.* 2008;91(6):385-398. doi: 10.1590/S0066-782X2008001800010.
6. Neves P, Andrade J, Monção H. Escore de Cálcio Coronariano: Estado Atual. *Radiol Bras.* 2017;50(3):182-9. doi: 10.1590/0100-3984.2015.0235.
7. Willemink MJ, Leiner T, de Jong PA, de Heer LM, Nievelstein RA, Schilham AM, et al. Iterative Reconstruction Techniques for Computed Tomography Part 2: Initial Results in Dose Reduction and Image Quality. *Eur Radiol.* 2013;23(6):1632-42. doi: 10.1007/s00330-012-2764-z.
8. Renker M, Ramachandra A, Schoepf UJ, Raupach R, Apfalter P, Rowe GW, et al. Iterative Image Reconstruction Techniques: Applications for Cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2011;5(4):225-30. doi: 10.1016/j.jcct.2011.05.002.
9. Barros MVL, Rabelo DR, Nunes MCP, Silva EC, Villamagna AR, Cardoso JMB, et al. Escore de Cálcio na Predição de Eventos Adversos em Pacientes com Suspeita de Doença Coronariana. *Arq Bras Cardiol - Imagem Cardiovascular.* 2014;27(3):191-6. doi: 10.5935/2318-8219.20140021.
10. Saint-Yves TLA, Travassos PCB, Gonçalves EAS, Mecca FA, Silveira TB. Otimização da Relação Dose x Ruído na Imagem em Protocolos de Tomografia Computadorizada de Crânio Pediátrico. *Rev Bras Física Médica.* 2010;4(1):11-4. doi: 10.29384/rbfm.2010.v4.n1.p11-14.
11. Rodrigues MA, Williams MC, Fitzgerald T, Connell M, Weir NW, Newby DE, et al. Iterative Reconstruction Can Permit the Use of Lower X-Ray Tube Current in CT Coronary Artery Calcium Scoring. *Br J Radiol.* 2016;89(1064):20150780. doi: 10.1259/bjr.20150780.
12. Maxfield MW, Schuster KM, McGillicuddy EA, Young CJ, Ghita M, Bokhari SA, et al. Impact of Adaptive Statistical Iterative Reconstruction on Radiation Dose in Evaluation of Trauma Patients. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;73(6):1406-11. doi: 10.1097/TA.0b013e318270d2fb.
13. Lança L. Potencial de Redução de Dose em Tomografia Computorizada com Técnicas de Reconstrução Iterativa. *Proceedings of the 5th Congresso Nacional e 2nd Intercâmbio Internacional dos Profissionais das Técnicas Radiológicas.* 2015 Oct 30-Nov 1. Brasília: Conter; 2015.
14. Juri H, Matsuki M, Itou Y, Inada Y, Nakai G, Azuma H, et al. Initial Experience with Adaptive Iterative Dose Reduction 3D to Reduce Radiation Dose in Computed Tomographic Urography. *J Comput Assist Tomogr.* 2013;37(1):52-7. doi: 10.1097/RCT.0b013e3182742c0e.
15. Chen MY, Steigner ML, Leung SW, Kumamaru KK, Schultz K, Mather RT, et al. Simulated 50 % Radiation Dose Reduction in Coronary CT Angiography Using Adaptive Iterative Dose Reduction in Three-Dimensions (AIDR3D). *Int J Cardiovasc Imaging.* 2013;29(5):1167-75. doi: 10.1007/s10554-013-0190-1.
16. Kurata A, Dharampal A, Dedic A, de Feyter PJ, Krestin GP, Dijkshoorn ML, et al. Impact of Iterative Reconstruction on CT Coronary Calcium Quantification. *Eur Radiol.* 2013;23(12):3246-52. doi: 10.1007/s00330-013-3022-8.
17. Dalmazo J, Elias J Jr, Brocchi MAC, Costa PR, Azevedo-Marques PM. Otimização da Dose em Exames de Rotina em Tomografia Computadorizada: Estudo de Viabilidade em um Hospital Universitário. *Radiol Bras.* 2010;43(4):241-8. doi: 10.1590/S0100-39842010000400008.
18. Tatsugami F, Higaki T, Fukumoto W, Kaichi Y, Fujioka C, Kiguchi M, et al. Radiation Dose Reduction for Coronary Artery Calcium Scoring at 320-Detector CT with Adaptive Iterative Dose Reduction 3D. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2015;31(5):1045-52. doi: 10.1007/s10554-015-0637-7.
19. Choi AD, Leifer ES, Yu J, Shanbhag SM, Bronson K, Arai AE, et al. Prospective Evaluation of the Influence of Iterative Reconstruction on the Reproducibility of Coronary Calcium Quantification in Reduced Radiation Dose 320 Detector Row CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2016;10(5):359-63. doi: 10.1016/j.jcct.2016.07.016.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons