

Avaliação de Isquemia Miocárdica com o Uso Integrado da Multimodalidade

Assessment of Myocardial Ischemia with the Integrated Use of Multimodality Imaging

Thiago Nunes Pereira Leite,¹ Luís Henrique Wolff Gowdak²

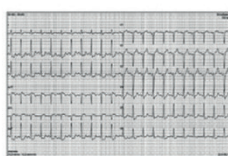
UFPI, Hospital Universitário,¹ Teresina, PI – Brasil

Universidade de São Paulo, Serviço de Hemodinâmica e Cardiologia Intervencionista, InCor,² São Paulo, SP – Brasil

Figura Central: Avaliação de Isquemia Miocárdica com o Uso Integrado da Multimodalidade



ECG de exercício



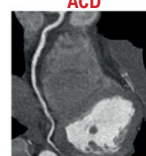
ADAE



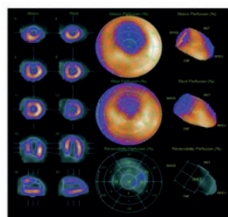
ATC
ACXE



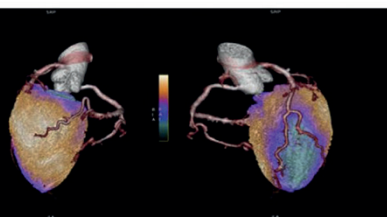
ACD



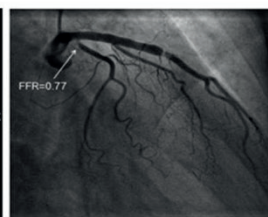
SPECT estresse/reposo



ATC-SPECT



ACI → ICP na ADAE



Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2024;37(2):e20240037

Exemplo de avaliação multimodal de investigação de DAC em paciente com síndrome coronariana crônica. ACD: artéria coronária direita; ACI: angiografia coronária invasiva; ACXE: artéria circumflexa esquerda; ADAE: artéria descendente anterior esquerda; ATC: angiotomografia coronariana; ECG: eletrocardiograma; ICP: intervenção coronária percutânea; SPECT: tomografia computadorizada por emissão de fóton único.

Resumo

A isquemia miocárdica, caracterizada pela redução do suprimento de oxigênio ao miocárdio, é uma manifestação comum da doença arterial coronariana (DAC), uma das principais causas de morbidade e mortalidade global. A detecção precoce e precisa da isquemia miocárdica é fundamental para a estratificação de risco, planejamento de tratamento e melhoria dos desfechos clínicos. Nos

últimos anos, os avanços nas modalidades de imagem cardíaca proporcionaram uma avaliação mais abrangente da isquemia miocárdica. Este artigo revisa os recentes avanços na avaliação e detecção da isquemia miocárdica com foco no uso integrado da multimodalidade. Discute as principais técnicas disponíveis, suas vantagens e limitações, e seu papel na prática clínica atual, além das perspectivas futuras nesta área. As modalidades de imagem cardíaca na avaliação da isquemia miocárdica incluem eletrocardiografia de esforço, ecocardiografia com estresse, tomografia computadorizada por emissão de fóton único, tomografia por emissão de pósitrons, ressonância magnética cardíaca e angiotomografia coronariana. A seleção de exames de imagem deve considerar a probabilidade pré-teste (PPT) de DAC e as características clínicas dos pacientes. Modalidades funcionais não invasivas são preferíveis para pacientes com probabilidade intermediária de DAC. A integração dessas modalidades pode melhorar a sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica, oferecendo uma avaliação mais completa da

Palavras-chave

Isquemia; Doença da Artéria Coronariana; Ecocardiografia

Correspondência: Thiago Nunes Pereira Leite •

UFPI, Hospital Universitário, Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, s/n. CEP: 64049-550. Ininga, Teresina, PI – Brasil

E-mail: thiagonpl26@gmail.com

Artigo recebido em 23/05/2024; revisado em 23/05/2024;

aceito em 23/05/2024

Editor responsável pela revisão: Marcelo Dantas

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20240037>

condição cardiovascular do paciente e possibilitando um planejamento terapêutico mais personalizado.

Em conclusão, a abordagem multimodal na avaliação da isquemia miocárdica aprimora a detecção precoce, a estratificação de risco e o planejamento terapêutico. A combinação de várias modalidades de imagem permite uma visão holística da condição cardiovascular, melhorando a precisão diagnóstica e os desfechos clínicos em pacientes com suspeita ou com diagnóstico estabelecido de DAC.

Introdução

A isquemia miocárdica, definida como a redução do suprimento de oxigênio ao miocárdio, é uma manifestação comum da doença arterial coronariana (DAC). A DAC é uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo e pode se apresentar clinicamente de diversas formas, desde indivíduos assintomáticos com doença estável até aqueles com angina sintomática com diferentes graus de limitação funcional, incluindo síndromes isquêmicas miocárdicas instáveis e morte súbita.

A DAC representa um desafio significativo para os sistemas de saúde globalmente. A detecção precoce e precisa da isquemia miocárdica desempenha um papel fundamental na estratificação de risco, no planejamento do tratamento e na melhoria dos desfechos clínicos em pacientes com suspeita ou diagnóstico já estabelecido de DAC. Nas últimas décadas, tem havido avanços substanciais nas modalidades de imagem cardíaca, proporcionando uma avaliação mais abrangente e precisa da isquemia miocárdica. A abordagem multimodal, que integra essas múltiplas técnicas de imagem, emerge como uma estratégia promissora para melhorar a sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica na avaliação da isquemia miocárdica.

Neste artigo, revisamos os recentes avanços na avaliação e detecção da isquemia miocárdica com foco no uso integrado da multimodalidade, destacando as principais técnicas disponíveis, suas vantagens e limitações, e seu papel na prática clínica atual. Além disso, discutimos as perspectivas e direções emergentes nesta área, visando aprimorar ainda mais a detecção e o manejo da isquemia miocárdica.

Modalidades de imagem cardíaca na avaliação da isquemia miocárdica

As características fisiopatológicas distintivas da DAC podem ser avaliadas com várias modalidades de imagem, como eletrocardiografia de esforço, ecocardiografia com estresse, tomografia computadorizada por emissão de fóton único, tomografia por emissão de pósitrons, ressonância magnética cardíaca e angiotomografia coronariana. Na escolha de um exame de imagem específico, é preciso considerar os múltiplos fatores que interagem no desenvolvimento da síndrome coronariana aguda e da DAC crônica. A técnica de imagem preferida para confirmar o diagnóstico de DAC aguda ou crônica e orientar o tratamento dependerá da apresentação clínica, das características do paciente, da disponibilidade local e da experiência do centro clínico.¹ Este artigo tem como objetivo fornecer orientação sobre como selecionar a abordagem de imagem ideal na investigação de pacientes com suspeita clínica de DAC.

Probabilidade pré-teste (PPT) e seleção de exames de imagem

As diretrizes europeias e americanas recomendam o escore clínico de Duke e os modelos revisados de Diamond e Forrester como ferramentas clínicas preferidas para calcular a PPT de DAC obstrutiva em pacientes sintomáticos sem diagnóstico prévio. Como os exames de imagem utilizados para o diagnóstico de DAC possuem características de desempenho diferentes, é comum selecionar preferencialmente testes com alta sensibilidade em grupos de alta prevalência da doença e com alta especificidade em grupos de menor prevalência, a fim de reduzir resultados falsos negativos e falsos positivos, respectivamente.¹

Os testes diagnósticos são mais úteis e recomendados quando a probabilidade de DAC é intermediária. De acordo com as mais atuais diretrizes americanas e europeias, pacientes com PPT intermediária de DAC devem ser submetidos à avaliação inicial com testes diagnósticos anatômicos ou funcionais não invasivos para avaliação de DAC. Pacientes com PPT muito baixa (< 5%) podem não necessitar de avaliação (um teste positivo seria provavelmente falso positivo) e os pacientes com PPT elevada (> 85%) podem necessitar de avaliação direta com cineangiografografia (um teste negativo provavelmente seria falso negativo). Em pacientes com PPT de 5% a 15%, também pode-se lançar mão de testes anatômicos ou funcionais em pacientes selecionados de acordo com a situação clínica (Figura 1).

Modalidades de imagem funcional não invasivas

Os exames de imagem funcional não invasivos servem não apenas para diagnosticar a presença de DAC, mas também para orientar a tomada de decisão clínica e são preferíveis em pacientes com PPT mais próxima do teto da probabilidade intermediária. A documentação de isquemia envolvendo mais de 10% do miocárdio do ventrículo esquerdo ou em padrão multiarterial são achados que definem o alto risco, pois a redução da isquemia pode impactar favoravelmente os sintomas e os desfechos clínicos.²

Outro esquema sugerido pelo American College of Cardiology/American Heart Association para escolha do melhor método de investigação de DAC baseia-se nas características clínicas e fatores de risco individuais dos pacientes, como pode ser visto na Figura 2.

Modalidades de imagem cardíaca

Eletrocardiografia de esforço

Vantagens:

- Não invasiva e amplamente disponível.
- Baixo custo em comparação com outras técnicas de imagem.
- Possibilidade de identificar alterações isquêmicas durante o exercício.
- Pode ser facilmente combinada com outros exames de rotina.

Artigo de Revisão

	Angina típica		Angina atípica		Sem angina		Dispneia	
Idade/sexo	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres
30-39	3%	5%	4%	3%	1%	1%	0%	3%
40-49	22%	10%	10%	6%	3%	2%	12%	3%
50-59	32%	13%	17%	6%	11%	3%	20%	9%
60-69	44%	16%	26%	11%	22%	6%	27%	14%
70+	52%	27%	34%	19%	24%	10%	32%	12%
Teste de imagem de escolha	Nenhum teste ECC/ATC Teste funcional Angiografia invasiva							

Figura 1 – PPT de DAC epicárdica (Diamond e Forrester modificado) e testes de imagem sugeridos. PPT: muito baixa: 0% a 5%; baixa 5% a 15%; intermediária: 15% a 85%; alta: > 85%. ATC: angiogramografia coronariana; ECC: escore de cálcio coronário.

Cenário clínico	ECG em esteira	PM nuclear de estresse	Eco de estresse	RMC de estresse	ECC	ATC	Cat	Nenhum teste
1. ■ Sintomas anginosos menos prováveis com explicação não cardíaca	R (3)	R (2)	R (2)	R (2)	R (3)	R (1)	R (1)	A (8)
2. ■ Sintomas anginosos menos prováveis, idade < 50 anos e 0 ou 1 fator de risco cardiovascular	P (4)	R (3)	R (3)	R (3)	P (4)	R (3)	R (1)	A (7)
3. ■ Sintomas anginosos menos prováveis, idade igual ou superior a 50 anos e/ou ≥ 2 fatores de risco cardiovascular	P (6)	P (6)	P (6)	P (5)	P (6)	P (5)	R (2)	P (4)
4. ■ Sintomas anginosos prováveis, idade < 50 anos e 0 ou 1 fator de risco cardiovascular	A (7)	A (7)	A (7)	A (7)	P (6)	A (7)	R (3)	R (3)
5. ■ Sintomas anginosos prováveis, idade igual ou superior a 50 anos e/ou ≥ 2 fatores de risco cardiovascular	A (7)	A (8)	A (8)	A (7)		A (7)	A (7)	R (1)

Figura 2 – Avaliação multimodal para investigação de DAC baseada em cenários clínicos em pacientes sintomáticos. Fatores de risco cardiovascular: diabetes mellitus, tabagismo, histórico familiar de DAC prematura, hipertensão, dislipidemia. A: adequado; ATC: angiogramografia coronariana; Cat: cateterismo cardíaco; DAC: doença arterial coronariana; ECC: escore de cálcio coronário; ECG: eletrocardiograma; P: pode ser adequado; PM: perfusão miocárdica; R: raramente adequado; RMC: ressonância magnética cardíaca; eco: ecocardiografia.

Limitações:

- Sensibilidade e especificidade limitadas, especialmente em pacientes com DAC multiarterial ou subtipos de angina atípica.
- Dependência da capacidade física do paciente para atingir a frequência cardíaca alvo.
- Dificuldade em interpretar resultados em pacientes com anormalidades de base no eletrocardiograma, como bloqueios de ramo, distúrbios de condução, sobrecarga ventricular ou síndrome de pré-excitação.³

Ecocardiografia de estresse

Vantagens:

- Não utiliza radiação ionizante.

- Pode fornecer informações sobre a função contrátil do miocárdio durante o estresse, alterações valvares, e alterações no pericárdio.
- Pode ser realizado com estresse farmacológico ou exercício.
- Alta resolução temporal, permitindo a avaliação dinâmica das paredes cardíacas.

Limitações:

- Dependência da qualidade do ultrassom e da habilidade do operador.
- Limitada pela janela acústica do paciente.
- Menor sensibilidade em pacientes com obesidade e/ou doença pulmonar obstrutiva crônica.
- Incapacidade de analisar a perfusão miocárdica.

Cintilografia miocárdica

Vantagens:

- Alta sensibilidade na detecção de isquemia miocárdica.
- Capacidade de avaliar a perfusão miocárdica em repouso e estresse.
- Poder em diferenciar isquemia reversível de irreversível.
- Possibilidade de quantificar a extensão e a gravidade da isquemia.

Limitações:

- Exposição à radiação ionizante.
- Dependência de radiofármacos com possíveis efeitos colaterais.
- Maior tempo para a aquisição das imagens (fases de repouso e estresse).
- Menor resolução espacial em comparação com outras modalidades de imagem.

Ressonância magnética cardíaca

Vantagens:

- Método de mais alta resolução espacial e contraste tecidual.
- Não utiliza radiação ionizante.
- Capacidade de avaliar a perfusão miocárdica, função ventricular e viabilidade miocárdica em uma única sessão.
- Excelente visualização de estruturas anatômicas e tecidos moles.

Limitações:

- Alto custo e disponibilidade limitada em comparação com outras técnicas.
- Dependência da colaboração do paciente devido ao tempo prolongado de exame e necessidade de imobilidade.
- Menor sensibilidade na detecção de obstruções coronarianas comparada à cintilografia miocárdica.
- Possíveis artefatos de movimento que podem comprometer a interpretação das imagens.

Angiotomografia de coronárias

Vantagens:

- Alta sensibilidade e especificidade para a detecção de DAC significativa.
- Valor preditivo negativo elevado – elevado poder de descartar DAC em pacientes com baixa a intermediária PPT.
- Exame não invasivo com tempo de aquisição rápido.
- Permite a avaliação da presença, extensão e caracterização das placas ateroscleróticas, incluindo a quantificação de cálcio coronariano.
- Amplamente disponível em muitos centros médicos e hospitais.

- Apesar de não avaliar isquemia diretamente em sua forma convencional, pode ser realizado com análise conjunta de reserva fracionada de fluxo, fornecendo informação anatômica e funcional.

Limitações:

- Exposição à radiação ionizante (efeito cumulativo).
- Necessidade de contraste iodado - risco para pacientes com alergia ao iodo ou com insuficiência renal.
- A presença de extensas calcificações coronarianas pode limitar a resolução da angiotomografia coronariana, dificultando a avaliação precisa da luz arterial e a determinação da gravidade da estenose
- Menor utilidade em pacientes com alta probabilidade de DAC – resultado negativo é menos provável e a necessidade de confirmação por angiografia invasiva permanece alta.
- A qualidade das imagens pode ser afetada por fatores como frequência cardíaca elevada, arritmias ou incapacidade do paciente de manter a respiração durante o exame.
- Custo relativamente elevado.

Análise quantitativa e qualitativa de placas ateroscleróticas

O conhecimento de que certos fenótipos de placas estão mais intimamente associados à sua ruptura e ao infarto do miocárdio tem despertado um intenso interesse no conceito de placa vulnerável e no desenvolvimento de novos métodos para detectar placas com características adversas em pacientes com DAC estável. Os esforços iniciais basearam-se em estratégias de imagem invasivas, utilizando predominantemente ultrassonografia intravascular e tomografia de coerência óptica, e mais recentemente com imagem não invasivas, através do aprimoramento da angiotomografia coronária. Por meio desses métodos, a carga aterosclerótica coronária total pode ser quantificada, bem como os tipos de placas (calcificadas ou não calcificadas, placa fibrosa, fibrogordurosa e placa de baixa atenuação com marcador de núcleo necrótico). Essas medidas quantitativas da carga de placa parecem robustas, com baixa variabilidade entre observadores e boa reprodutibilidade nas varreduras com avaliação de ultrassom intravascular.⁴

A quantificação de placas de baixa atenuação, em particular, mostra-se promissora como um marcador de carga adversa de placa e como indicador prognóstico. O conceito de placa vulnerável e carga de placa adversa ou vulnerável parece ser uma variável contínua de pior prognóstico ao longo da vasculatura coronária. Um estudo recente demonstrou que a carga de placa de baixa atenuação foi o mais forte preditor de evolução adversa em pacientes com dor torácica estável: pacientes com carga de placa de baixa atenuação superior a 4% tiveram cinco vezes mais probabilidade de sofrer um infarto fatal ou não fatal. Esta associação ocorreu independentemente dos escores de risco cardiovascular, do escore de cálcio coronário de Agatston e da presença de DAC obstrutiva.⁵

Integração das modalidades de avaliação de DAC

Triagem inicial

A avaliação inicial pode começar com testes mais simples, amplamente disponível e de mais baixo custo como a eletrocardiografia de esforço, desde que seja apropriado para o paciente. Isso permite uma triagem inicial de pacientes com suspeita de isquemia miocárdica e com PPT intermediária. Pacientes com eletrocardiogramas de base não interpretáveis no esforço, resultados inconclusivos ou com fatores de risco significativos podem ser encaminhados para avaliação adicional por modalidade diferente de teste.²

Avaliação anatomofuncional e de perfusão miocárdica

A ecocardiografia de estresse pode ser realizada para avaliar a função contrátil do miocárdio durante o estresse induzido pelo exercício ou agentes farmacológicos em comparação com a função em repouso. Isso oferece informações valiosas sobre a presença e a extensão da isquemia miocárdica. A ressonância magnética cardíaca também pode ser empregada para avaliar a função ventricular, perfusão miocárdica e viabilidade do tecido em uma única sessão. Sua alta resolução espacial e contraste tecidual fornecem uma avaliação detalhada da anatomia e função cardíaca.

A cintilografia miocárdica é uma técnica nuclear que permite avaliar a perfusão miocárdica em repouso e estresse, identificando áreas de isquemia reversível e irreversível. A combinação de cintilografia miocárdica com outras modalidades, como ecocardiografia de estresse ou ressonância magnética cardíaca, pode fornecer uma avaliação mais abrangente da perfusão miocárdica e da função cardíaca. Todos esses métodos podem ser utilizados em conjunto, respeitando suas características e particularidades, de forma complementar na investigação de DAC em um paciente, como exemplificado na Figura Central.

Avaliação da viabilidade miocárdica

A ressonância magnética cardíaca é particularmente útil na avaliação da viabilidade miocárdica, permitindo diferenciar entre tecido viável e não viável após um evento isquêmico agudo. A combinação de ressonância magnética cardíaca com outras modalidades de avaliação de isquemia pode ajudar na identificação de pacientes com potencial benefício de revascularização miocárdica.

Benefícios da integração dos diversos métodos de imagem

1. A combinação de várias modalidades de imagem pode aumentar a sensibilidade e especificidade na detecção de isquemia miocárdica, melhorando a acurácia diagnóstica.
2. A integração de técnicas permite uma avaliação mais abrangente da anatomia, função e perfusão cardíaca, fornecendo uma visão holística da condição cardiovascular do paciente.
3. A combinação de informações obtidas de diferentes modalidades de imagem pode ajudar na estratificação de risco mais precisa, identificando pacientes com

maior probabilidade de eventos cardiovasculares adversos (Figura 3).

4. A integração de várias modalidades de avaliação permite um planejamento terapêutico mais personalizado, adaptado às necessidades individuais de cada paciente.

Conclusão

A integração de várias modalidades de avaliação de isquemia miocárdica na investigação clínica dos pacientes representa uma abordagem promissora para aprimorar a detecção precoce, estratificação de risco e planejamento terapêutico. Ao combinar e complementar informações de diferentes técnicas de imagem, os médicos podem obter uma visão mais completa da condição cardiovascular do paciente, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões clínicas informadas e a otimização dos desfechos clínicos.

A avaliação da isquemia miocárdica desempenha um papel crucial no manejo de pacientes com DAC. O uso integrado da multimodalidade oferece uma abordagem abrangente e precisa para a detecção e caracterização da isquemia miocárdica, permitindo uma estratificação de risco mais refinada, diagnóstico precoce e otimização do manejo terapêutico. Embora cada técnica de imagem tenha suas vantagens e limitações específicas, a combinação e complementaridade entre elas podem melhorar significativamente a precisão diagnóstica e os desfechos clínicos em pacientes com suspeita ou diagnóstico estabelecido de DAC. A integração de biomarcadores, o uso de novas tecnologias e o desenvolvimento de novas modalidades de imagem devem promover avanços na avaliação da isquemia miocárdica, melhorando assim a qualidade do cuidado cardiovascular em todo o mundo.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, redação do manuscrito e revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Leite TNP, Gowdak LHW.

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 artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

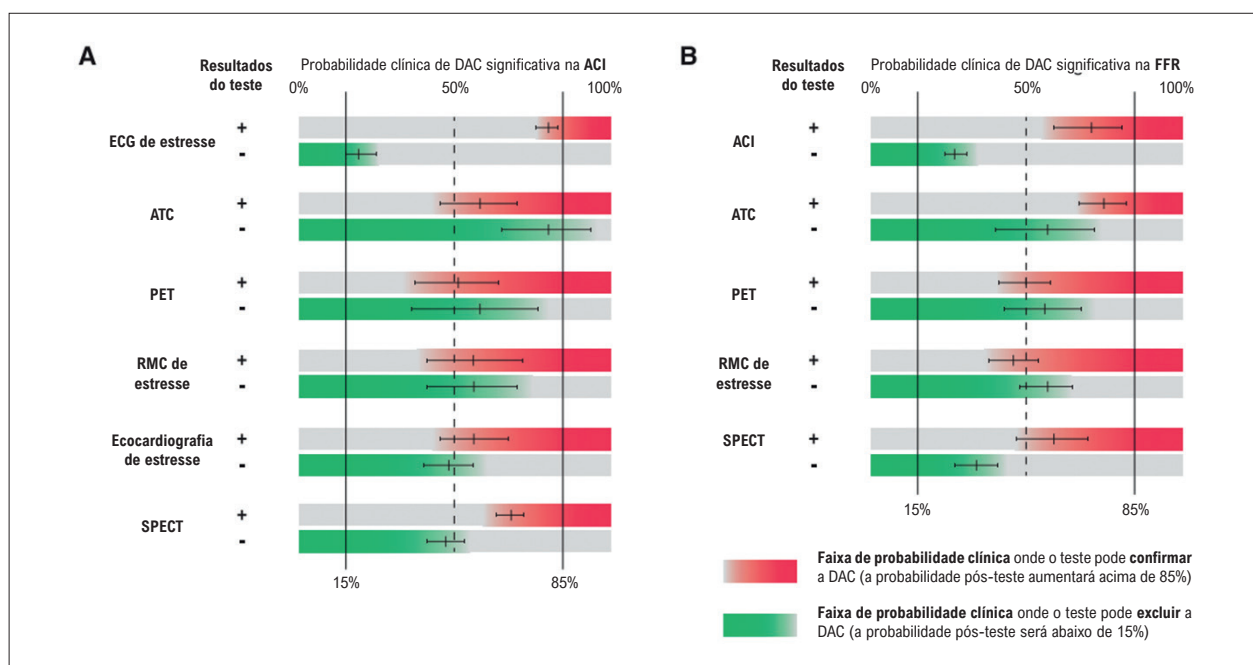


Figura 3 – Faixas de probabilidade clínica de DAC nas quais um determinado teste pode confirmar (vermelho) ou excluir (verde) DAC obstrutiva. (A) O padrão de referência é a avaliação anatômica por meio de angiografia coronária invasiva. (B) O padrão de referência é a avaliação funcional usando reserva de fluxo fracionada. ACI: angiografia coronária invasiva; ATC: angiotomografia coronariana; DAC: doença arterial coronariana; ECG: eletrocardiograma; FFR: reserva de fluxo fracionada; PET: tomografia por emissão de pósitrons; RMC: ressonância magnética cardíaca; SPECT: tomografia computadorizada por emissão de fóton único.⁶

Referências

- Edvardsen T, Asch FM, Davidson B, Delgado V, Maria A, Dilsizian V, et al. Non-invasive Imaging in Coronary Syndromes: Recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography, in Collaboration with the American Society of Nuclear Cardiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(2):e6-e33. doi: 10.1093/ehjci/jeab244.
- Winchester DE, Maron DJ, Blankstein R, Chang IC, Kirtane AJ, Kwong RY, et al. ACC/AHA/ASE/ASNC/ASPC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2023 Multimodality Appropriate Use Criteria for the Detection and Risk Assessment of Chronic Coronary Disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2023;25(1):58. doi: 10.1186/s12968-023-00958-5.
- Lopez DM, Divakaran S, Gupta A, Bajaj NS, Osborne MT, Zhou W, et al. Role of Exercise Treadmill Testing in the Assessment of Coronary Microvascular Disease. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15(2):312-21. doi: 10.1016/j.jcmg.2021.07.013.
- Kwiecinski J, Tzolos E, Williams MC, Dey D, Berman D, Slomka P, et al. Noninvasive Coronary Atherosclerotic Plaque Imaging. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2023;16(12):1608-22. doi: 10.1016/j.jcmg.2023.08.021.
- Williams MC, Kwiecinski J, Doris M, McElhinney P, D'Souza MS, Cadet S, et al. Low-Attenuation Noncalcified Plaque on Coronary Computed Tomography Angiography Predicts Myocardial Infarction: Results from the Multicenter SCOT-HEART Trial (Scottish Computed Tomography of the HEART). *Circulation*. 2020;141(18):1452-62. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044720.
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, et al. 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Chronic Coronary Syndromes. *Eur Heart J*. 2020;41(3):407-77. doi: 10.1093/eurheartj/ehz425.

