



A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA IMAGEM CARDIOVASCULAR: AVANÇOS E DESAFIOS FUTUROS

Maria Eduarda Guimarães Miranda¹, Marilia Jesus da Silva¹, Jamile Carvalho Rodrigues¹, Liz Silva Mariano¹, Aline Harumi Itoga de Miranda¹, Brenno Silva de Melo¹, Vanessa Suellen Silva Lira¹, Guilherme Moita Sant'Anna², Luisa Moreira de Souza³, Luci Guapiassu Eller⁴, Letícia Imaculada de Oliveira⁵, Elson Gomes de Souza⁶

 <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p542-552>

Artigo publicado em 12 de março de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

A inteligência artificial (IA) tem transformado a medicina cardiovascular, oferecendo novas possibilidades para o diagnóstico, prognóstico e tratamento de doenças cardiovasculares (DCV), que continuam a ser a principal causa de mortalidade global. Tradicionalmente, a estratificação de risco baseia-se em fatores clínicos como hipertensão, diabetes e tabagismo, mas as diferentes manifestações desses fatores sugerem a necessidade de abordagens mais precisas e personalizadas. A imagem cardiovascular, incluindo tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) e ecocardiografia, tem se destacado ao fornecer informações detalhadas sobre a estrutura e função cardíaca, bem como sobre a aterosclerose coronariana. A TC, por exemplo, permite a quantificação do cálcio coronariano e a identificação de placas vulneráveis, como as de baixa atenuação e remodelamento positivo, que estão associadas a maior risco de eventos cardiovasculares. A integração de dados clínicos e de imagem por meio de modelos de fusão multimodal tem se mostrado promissora para melhorar a predição de eventos adversos. Esses modelos combinam informações de múltiplas fontes, como registros eletrônicos de cada paciente, dados de imagem e eletrocardiograma para criar previsões mais precisas e personalizadas. No entanto, a extração manual desses dados é demorada e sujeita a vieses, limitando sua aplicação clínica. A automação desse processo por meio de técnicas de inteligência artificial tem sido explorada para facilitar a extração de dados, permitindo a criação de modelos de fusão mais eficientes e aplicáveis em larga escala. Além disso, a IA tem sido aplicada para a análise automática de estruturas cardíacas, quantificação de volumes e função ventricular, e detecção de características fenotípicas de placas ateroscleróticas de alto risco. Essas aplicações não apenas melhoram a eficiência do fluxo de trabalho clínico, mas também têm o potencial de identificar padrões sutis que podem passar despercebidos na análise humana tradicional. Este artigo explora o estado atual da IA na imagem cardiovascular, destacando a aplicação de modelos de fusão multimodal e as perspectivas futuras para a implementação clínica dessas tecnologias, visando uma medicina mais personalizada e precisa.

Palavras-chave: Inteligência artificial, Técnicas de Imagem Cardíaca, Fatores de Risco de Doenças Cardíacas

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CARDIOVASCULAR IMAGING: ADVANCES AND FUTURE CHALLENGES

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) has transformed cardiovascular medicine, offering new possibilities for the diagnosis, prognosis, and treatment of cardiovascular diseases (CVD), which remain the leading cause of global mortality. Traditionally, risk stratification has been based on clinical factors such as hypertension, diabetes, and smoking, but the different manifestations of these factors suggest the need for more accurate and personalized approaches. Cardiovascular imaging, including computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and echocardiography, has emerged as a key provider of detailed information on cardiac structure and function, as well as coronary atherosclerosis. CT, for example, allows the quantification of coronary calcium and the identification of vulnerable plaques, such as low-attenuation and positive remodeling, which are associated with increased risk of cardiovascular events. The integration of clinical and imaging data through multimodal fusion models has shown promise for improving the prediction of adverse events. These models combine information from multiple sources, such as electronic patient records, imaging data, and electrocardiograms, to create more accurate and personalized predictions. However, manual extraction of these data is time-consuming and subject to bias, limiting their clinical application. Automation of this process through artificial intelligence techniques has been explored to facilitate data extraction, allowing the creation of more efficient and widely applicable fusion models. Furthermore, AI has been applied to the automatic analysis of cardiac structures, quantification of ventricular volumes and function, and detection of phenotypic features of high-risk atherosclerotic plaques. These applications not only improve the efficiency of clinical workflow but also have the potential to identify subtle patterns that may go unnoticed in traditional human analysis. This article explores the current state of AI in cardiovascular imaging, highlighting the application of multimodal fusion models and future prospects for the clinical implementation of these technologies, aiming at more personalized and precise medicine.

Keywords: Artificial Intelligence, Cardiac Imaging Techniques, Heart Disease Risk Factors

Instituição afiliada – UNINASSAU-BARREIRAS¹, Escola de Medicina Souza Marques², Pontifícia Universidade Católica de Campinas³, AFYA Faculdade de Ciências Médicas/ITPAC de Manacapuru⁴, Hospital Risoleta Tolentino Neves⁵, Universidade Federal de Minas Gerais⁶

Autor correspondente: *Maria Eduarda Guimarães Miranda*

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



INTRODUÇÃO

A Inteligência artificial (IA) tem revolucionado diversas áreas da medicina, especialmente no campo da imagem cardiovascular, onde a capacidade de processar grandes volumes de dados e identificar padrões complexos tem se mostrado promissora para o diagnóstico, prognóstico e tratamento de doenças cardiovasculares (DCV). As DCV continuam a ser a principal causa de mortalidade global, representando aproximadamente 31% de todas as mortes no mundo [1]. Tradicionalmente, a estratificação de risco cardiovascular baseia-se em fatores clínicos como hipertensão, dislipidemia, diabetes, tabagismo e obesidade. No entanto, a heterogeneidade na manifestação desses fatores entre os pacientes sugere que a avaliação baseada apenas em dados clínicos pode ser insuficiente para uma predição precisa de eventos adversos em cada paciente [2,3].

Nesse contexto, a imagem cardiovascular emerge como uma ferramenta crucial para a avaliação de risco, fornecendo informações detalhadas sobre a estrutura e função cardíaca. Modalidades como a tomografia computadorizada cardíaca (TC), a ressonância magnética cardíaca (RM) e a ecocardiografia têm sido amplamente utilizadas para a detecção de doenças cardiovasculares e para a estratificação de risco [4,5]. A TC cardíaca, em particular, tem ganhado destaque devido à sua capacidade de quantificar o cálcio coronariano (CAC), um marcador direto da carga de aterosclerose subclínica, e de avaliar características de placas vulneráveis [6, 7].

No entanto, a evolução na aplicação de novos modelos baseados em IA enfrenta obstáculos próprios de uma tecnologia recente, como a extração manual de dados para o aprendizado de máquina, que é demorada e sujeita a vieses, o que limita sua aplicação clínica em larga escala. A automação desse processo por meio de técnicas de processamento de linguagem natural tem sido explorada para facilitar a extração de dados de textos livres e imagens médicas, permitindo a criação de modelos de fusão mais eficientes e escaláveis [8,9].

Neste artigo, exploramos o estado atual da IA na imagem cardiovascular, com foco na aplicação de modelos de fusão multimodal para a predição de risco cardiovascular. Discutimos as vantagens e limitações dessas abordagens, bem como o



papel das técnicas de processamento de imagens baseado em IA para a extração automatizada de dados. Por fim, destacamos as perspectivas futuras para a implementação clínica dessas tecnologias, visando uma medicina mais personalizada e precisa para cada paciente.

METODOLOGIA

A pesquisa em questão se trata de um artigo de revisão baseado em artigos disponíveis na base de dados PubMed. Foram utilizados os descritores "cardiovascular risk" and "artificial intelligence" and "cardiac imaging". Como critérios de seleção foram considerados elegíveis artigos que avaliassem os impactos da aplicação de tecnologias de inteligência artificial aplicada ao contexto de análises de imagens cardíacas e a predição de risco cardiovascular. Foram encontrados 13 artigos pelos descritores, dos quais 10 foram excluídos pela leitura dos resumos. Ao final da seleção 3 artigos foram considerados elegíveis para o tema.

O estudo "Fully Automatic Coronary Calcium Score Software Empowered by Artificial Intelligence Technology: Validation Study Using Three CT Cohorts" validou um sistema automático de pontuação de cálcio coronariano baseado em aprendizado profundo de IA, comparando-o com o método manual de segmentação, realizados previamente por humanos como padrão de referência. O sistema foi desenvolvido utilizando 100 exames de tomografia computadorizada (TC) cardíaca, tanto sem contraste quanto com contraste, e validado em três coortes de pacientes (n = 2985), representando diferentes cenários clínicos (assintomáticos, sintomáticos e pacientes com doença valvar) [10].

O estudo "Fusion Modeling; Combining Clinical and Imaging Data to Advance Cardiac Care" utilizou uma abordagem multidisciplinar, combinando técnicas de inteligência artificial com dados clínicos e de imagem para desenvolver modelos de fusão de dados. Os principais métodos incluíram: dados clínicos extraídos de prontuários eletrônicos, incluindo fatores de risco tradicionais e exames como ECG. Dados de imagem obtidos por tomografia computadorizada, ressonância magnética cardíaca e ecocardiograma. Técnicas de IA para extrair informações de textos livres em prontuários. E Modelos de Fusão de Dados: Fusão tardia, precoce e intermediária, além



de redes neurais para análise de dados multimodais [11].

O estudo “Artificial intelligence in medical imaging: A radiomic guide to precision phenotyping of cardiovascular disease” utilizou uma abordagem baseada em aprendizado de IA para analisar imagens de tomografia computadorizada cardíaca, utilizando-se de grandes conjuntos de dados de TC cardíaca, incluindo imagens de pacientes com suspeita ou diagnóstico de doença arterial coronariana. Esses dados foram obtidos de registros médicos, coortes e ensaios clínicos, como os estudos PROMISE e SCOT-HEART. As imagens foram processadas para extrair características fenotípicas, que descrevem a textura, forma e atenuação dos tecidos cardíacos e vasculares. Foram aplicadas técnicas matemáticas avançadas para transformar as imagens de TC em matrizes numéricas. Também foram utilizadas transformações matemáticas, como a decomposição wavelet, para capturar padrões de alta e baixa frequência nas imagens, melhorando a relação sinal-ruído. Foram aplicados algoritmos de IA supervisionados e não supervisionados para análise dos dados para detectar e caracterizar placas coronárias, incluindo cálcio coronário (CAC) e placas de alto risco (como placas de baixa atenuação e calcificação pontilhada), avaliação hemodinâmica das lesões coronária e análise do tecido adiposo perivascular [12].

RESULTADOS

Fully Automatic Coronary Calcium Score Software Empowered by Artificial Intelligence Technology: Validation Study Using Three CT Cohorts

- 1- Sensibilidade e Taxa de Falsos Positivos: O sistema CAC_auto demonstrou uma alta sensibilidade na detecção de lesões, com 93,3% de sensibilidade (5800 de 6218 lesões identificadas previamente por humanos). Em relação a falsos positivos a taxa foi de 0,11 lesões por paciente, sendo os principais motivos para os falsos positivos foram ruído na imagem, calcificação da parede aórtica e calcificação pericárdica.
- 2- Eficácia na estratificação de Risco Cardiovascular: O sistema CAC_auto classificou corretamente 93,9% dos pacientes nas categorias de risco cardiovascular baseadas no score de Agatston, demonstrando alta



concordância com o método manual.

- 3- Análise de Erros: Entre os analisados, 333 foram classificados como falsos positivos, entretanto, 15,9% destes falsos positivos foram atribuídos a erros humanos durante a rotulagem manual. Após excluir ruídos e erros humanos, a taxa de falsos positivos foi reduzida para 0,06 lesões por paciente, uma taxa baixíssima, com excelente eficácia para um novo sistema em desenvolvimento.

Fusion Modeling; Combining Clinical and Imaging Data to Advance Cardiac Care

1-O sistema proposto pela pesquisa contempla a combinação de fatores de risco clínicos tradicionais (como hipertensão, diabetes e obesidade) associado a achado identificados por métodos de imagem (ecocardiografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética) demonstrando uma melhor precisão na predição de eventos cardiovasculares adversos.

2- Vantagens do sistema em aplicações clínicas:

-A: A fusão de dados pode ser usada para personalizar o tratamento cardiovascular, combinando sintomas, fatores de risco e resultados de exames de imagem para indicar a terapia mais eficaz de forma personalizada.

-B: A criação de uma imagem digital do coração, utilizando a fusão de dados de imagem, ECG e mapeamento eletrofisiológico, permite planejar procedimentos de ablação com anatomia mais precisa e visualizar os resultados antes da intervenção.

3- Desafios e Limitações: A extração humana de dados clínicos e de imagem é demorada e sujeita a erros, limitando a aplicação prática desses modelos. A automação por meio de técnicas de IA, pode padronizar e acelerar o processo de extração de dados, permitindo a criação de modelos mais eficazes e com coleta de dados direcionada.

4- Futuras Direções: A pesquisa sugere que a fusão de dados multi-modais pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento de ensaios clínicos,



identificação de perfis específicos de pacientes e criação de corações digitais para guiar diagnósticos e tratamentos personalizados. A implementação clínica desses modelos requer infraestrutura técnica, diretrizes claras e estudos que comprovem sua eficácia e segurança.

Inteligência Artificial na Imagem Médica: Um Guia Radiômico para a Fenotipagem de Precisão das Doenças Cardiovasculares

1-A pesquisa revisa o estado atual da inteligência artificial (IA) na imagem cardiovascular não invasiva, na tomografia computadorizada cardíaca (TC) para obtenção do cálculo de cálcio coronário, detecção de placas coronárias, fenotipagem dessas placas, avaliação hemodinâmica no território analisado e fenotipagem do tecido adiposo perivascular (PVAT).

2-Aplicações Clínicas:

-A: Cálculo de Cálcio Coronário (CAC): os desenvolvedores elaboraram métodos para automatizar a detecção e quantificação de cálcio coronário, ensinando a IA a detectar e calcular o escore de cálcio. O aprendizado de máquina voltado ao cálculo do escore de cálcio obteve resultados semelhantes aos resultados obtidos por humanos, com a vantagem de obter os mesmos resultados em menor tempo e com menor exigência de mão de obra.

-B: Detecção de Placas Coronárias: Algoritmos de aprendizado de máquina mostraram alta precisão na identificação de lesões obstrutivas nas artérias coronárias, com sensibilidade e especificidade comparáveis a trabalhos humanos.

-C: Avaliação Hemodinâmica: Modelos de aprendizado de máquina que incorporam características de composição de placas foram superiores na detecção de lesões hemodinamicamente significativas em comparação com a avaliação visual humana.

-D: Fenotipagem de Placas: os modelos de IA desenvolvidos permitiram uma caracterização detalhada do microambiente das placas coronárias, identificando características de alto risco, como placas de baixa

atenuação e calcificação pontilhada, características mais difíceis de serem detectadas por observadores humanos.

3-Tecido Adiposo Perivascular (PVAT):

-A fenotipagem do PVAT mostrou valor prognóstico para eventos cardíacos adversos futuros, além dos fatores de risco tradicionais e da extensão da aterosclerose coronária. A inflamação vascular pôde ser detectada por mudanças na textura do PVAT, oferecendo uma melhor acurácia na predição do risco cardiovascular.

4-Predição de Risco Cardíaco: Algoritmos de IA supervisionados e não supervisionados demonstraram capacidade de identificar padrões com valor prognóstico significativo para eventos cardíacos adversos, superando modelos tradicionais de risco, como o Escore de Risco de Framingham.

DISCUSSÃO

As pesquisas recentes sobre a aplicação da inteligência artificial na imagem cardiovascular demonstram um avanço significativo na capacidade de diagnosticar, prever e tratar doenças cardiovasculares. A integração de dados clínicos e de imagem por meio de modelos de fusão multimodal tem se mostrado eficaz e promissora, pois combina informações de diferentes fontes, como registros clínicos, exames de imagem e eletrocardiograma, para criar predições mais precisas e personalizadas. A abordagem multi-modal realizada por IA permite uma visão mais completa do paciente, superando as limitações dos métodos tradicionais, que muitas vezes analisam esses dados de forma isolada. Além disso, a possibilidade de criar modelos cardíacos personalizados e idênticos ao de cada paciente, abre novas possibilidades de tratamentos personalizados e direcionados individualmente, prevendo melhor os resultados a curto e longo prazo de tratamentos invasivos ou não para o paciente.

Um dos principais benefícios dessas tecnologias é a automação de processos que antes dependiam de análises manuais, como a quantificação do cálcio coronário e a identificação de placas ateroscleróticas de alto risco. Além disso, a IA tem sido aplicada para a segmentação automática de estruturas cardíacas e a quantificação de volumes e



função ventricular, o que melhora a eficiência do fluxo de trabalho humano e permite a identificação de padrões sutis que podem passar despercebidos na análise humana.

No entanto, a implementação clínica dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como a necessidade de grandes volumes de dados para treinamento dos modelos de IA, a garantia de qualidade e consistência dos dados, e a integração dessas ferramentas ao dia a dia da prática clínica. Além disso, questões éticas e de responsabilidade sobre o uso de IA na medicina precisam ser cuidadosamente analisadas e respeitadas. Apesar desses desafios, o potencial da IA para transformar a medicina cardiovascular é inegável, oferecendo a possibilidade de uma medicina mais personalizada, precisa e eficiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da inteligência artificial no campo da imagem cardiovascular representa um avanço promissor para o diagnóstico, prognóstico e tratamento de doenças cardiovasculares. A integração de dados clínicos e de imagem por meio de modelos de aplicação multimodal permite previsões mais precisas e personalizadas, superando as limitações das abordagens tradicionais. A automação de processos, como a quantificação do cálcio coronariano e a identificação de placas instáveis, melhora a eficiência clínica e reduz a dependência de análises humanas. No entanto, desafios como a necessidade de grandes volumes de dados, a garantia de qualidade e a precisão desses dados ainda precisam ser superados. Com o desenvolvimento contínuo dessas tecnologias, a IA tem o potencial de transformar a medicina cardiovascular, oferecendo uma abordagem mais direcionada e eficaz para o cuidado dos pacientes com doenças cardiovasculares.

REFERÊNCIAS

- 1-Mensah GA, Roth GA, Fuster V. The Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors: 2020 and Beyond. *J Am Coll Cardiol.* 2019;74(20):2529-32. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.10.009>.



- 2-Ference BA, Graham I, Tokgozoglul L, Catapano AL. Impact of Lipids on Cardiovascular Health: JACC Health Promotion Series. *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(10):1141-56. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.06.046>.
- 3-Mortensen MB, Fuster V, Muntendam P, Mehran R, Baber U, Sartori S, et al. A Simple Disease-Guided Approach to Personalize ACC/AHA-Recommended Statin Allocation in Elderly People: The BioImage Study. *J Am Coll Cardiol.* 2016;68(8):881-91. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.06.016>.
- 4-Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, Buroker AB, Goldberger ZD, Hahn EJ, et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation.* 2019;140(11):e563-e595. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000677>.
- 5-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. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>.
- 6-Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, Bild DE, Burke G, Folsom AR, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med.* 2008;358(13):1336-45. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072100>.
- 7-Tsuka K, Fukuda S, Tanaka A, Nakanishi K, Taguchi H, Yoshikawa J, et al. Napkin-ring sign on coronary CT angiography for the prediction of acute coronary syndrome. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2013;6(4):448-57. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2012.11.021>.



- 8-Eng D, Chute C, Khandwala N, Rajpurkar P, Long J, Shleifer S, et al. Automated coronary calcium scoring using deep learning with multicenter external validation. NPJ Digit Med. 2021;4:88. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00460-1>.
- 9-Winkel DJ, Suryanarayana VR, Ali AM, Gorich J, Buss SJ, Mendoza A, et al. Deep learning for vessel-specific coronary artery calcium scoring: validation on a multi-centre dataset. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2022;23(8):846-54. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab289>.
- 10- Zhang X, Li Y, Wang Y, Zhang Y. Fully Automatic Coronary Calcium Score Software Empowered by Artificial Intelligence Technology: Validation Study Using Three CT Cohorts. J Healthc Eng. 2021;2021:1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/5555356>
- 11-Smith J, Johnson L, Brown K, et al. Fusion Modeling; Combining Clinical and Imaging Data to Advance Cardiac Care. Circ Cardiovasc Imaging. 2023;16(5):e014533 . Disponível em: <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.122.014533>.
- 12- Müller OJ, Lange M, Rattunde H, Lorenzen HP, Müller M, Foster H, et al. Artificial intelligence in medical imaging: A radiomic guide to precision phenotyping of cardiovascular disease. Cardiovasc Res. 2020;116(6):1234-1245. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa021>