

AVANÇOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CARDIOLOGIA: UMA REVISÃO ABRANGENTE

ADVANCES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CARDIOLOGY: A COMPREHENSIVE REVIEW

Victor Balceiro Legname Martins¹
Laysla Rangel Freitas Thom²
Júlia Mayse Soares Gonçalves³
Afrânio Côgo Destefani⁴

RESUMO: **Introdução:** A cardiologia é um campo crucial da medicina, e os avanços da inteligência artificial (IA) estão moldando significativamente sua prática. Esta revisão abrange diversas aplicações da IA na cardiologia, desde o diagnóstico até o tratamento e monitoramento de doenças cardiovasculares. **Objetivo:** O objetivo desta revisão bibliográfica é explorar as diversas aplicações da inteligência artificial na cardiologia, abrangendo áreas como diagnóstico cardiovascular, predição de eventos cardíacos, interpretação de eletrocardiogramas (ECG), personalização do tratamento, monitoramento remoto e otimização de procedimentos cardíacos. **Método:** Trata-se de revisão abrangente seleção dos artigos foi realizada uma busca na base de dados Biblioteca Virtual de Saúde (BVS). Para a busca utilizou-se os descritores baseados no Decs, e assim montou a estratégia de busca: “Inteligência artificial” AND “Cardiologia” AND “Aprendizado de máquina”. **Resultados:** Exploramos como a IA está sendo utilizada para analisar imagens médicas, prever eventos cardíacos, interpretar eletrocardiogramas, personalizar tratamentos, monitorar pacientes remotamente e otimizar procedimentos cardíacos. Discutimos também as considerações éticas, regulatórias e de segurança associadas à implementação da IA na prática clínica. **Conclusão:** Esta revisão destaca o potencial da IA para melhorar os cuidados cardiológicos, ao mesmo tempo que destaca a importância de abordar desafios éticos e garantir a segurança dos pacientes.

2442

Palavras-chave: Inteligência artificial. Cardiologia. Aprendizado de máquina.

¹Médico Residente em Clínica Médica do Hospital Militar de Área de São Paulo (HMASP)

²Discente do curso de enfermagem. Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória (EMESCAM). Vitória, ES.

³Discente do curso de enfermagem. Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória (EMESCAM). Vitória, ES.

⁴Docente do curso de enfermagem. Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória (EMESCAM). Vitória, ES.

ABSTRACT: Introduction: Cardiology is a crucial field of medicine, and advances in artificial intelligence (AI) are significantly shaping its practice. This review covers various applications of AI in cardiology, from diagnosis to treatment and monitoring of cardiovascular diseases. **Objective:** The objective of this literature review is to explore the various applications of artificial intelligence in cardiology, covering areas such as cardiovascular diagnosis, prediction of cardiac events, interpretation of electrocardiograms (ECG), personalization of treatment, remote monitoring, and optimization of cardiac procedures. **Method:** This is a comprehensive review, and selection of articles, a search was carried out in the Virtual Health Library (VHL) database. For the search, we used descriptors based on Decs, and thus created the search strategy: “Artificial intelligence” AND “Cardiology” AND “Machine learning”. **Results:** We explore how AI is being used to analyze medical images, predict cardiac events, interpret electrocardiograms, personalize treatments, monitor patients remotely, and optimize cardiac procedures. We also discuss the ethical, regulatory, and safety considerations associated with implementing AI in clinical practice. **Conclusion:** This review highlights the potential of AI to improve cardiology care, while also highlighting the importance of addressing ethical challenges and ensuring patient safety.

Keywords: Artificial intelligence. Cardiology. Machine learning.

INTRODUÇÃO

2443

A cardiologia desempenha um papel fundamental na saúde pública, lidando com a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças do coração e vasos sanguíneos, que representam uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. Com o avanço da tecnologia, a inteligência artificial (IA) emergiu como uma ferramenta poderosa com o potencial de transformar a prática clínica em cardiologia. A capacidade da IA de analisar grandes volumes de dados, identificar padrões complexos e gerar insights clínicos precisos tem impulsionado seu uso em uma variedade de aplicações cardiovasculares.

O objetivo desta revisão bibliográfica é explorar as diversas aplicações da inteligência artificial na cardiologia, abrangendo áreas como diagnóstico cardiovascular, previsão de eventos cardíacos, interpretação de eletrocardiogramas (ECG), personalização do tratamento, monitoramento remoto e otimização de procedimentos cardíacos. Por meio da análise crítica da literatura atual, esta revisão busca fornecer uma compreensão abrangente do estado atual, desafios e perspectivas futuras da integração da IA na prática clínica em cardiologia.

Ao examinar as aplicações da IA na cardiologia, esta revisão também abordará considerações éticas, regulatórias e de segurança associadas ao seu uso, destacando a importância de abordagens responsáveis para garantir a eficácia e segurança dos sistemas de IA. Além disso, serão discutidas as oportunidades e desafios que surgem com a implementação da IA na medicina cardiovascular, bem como as implicações para a prática clínica e o cuidado ao paciente.

No contexto de um campo tão dinâmico e em evolução como a cardiologia, a compreensão do papel da IA é essencial para aproveitar todo o seu potencial na melhoria do diagnóstico, tratamento e prognóstico das doenças cardiovasculares. Ao revisar criticamente a literatura atual, esta revisão busca fornecer uma base sólida para pesquisadores, clínicos e formuladores de políticas interessados no uso da inteligência artificial para avançar a saúde cardiovascular.

MÉTODO

Trata-se de revisão abrangente elaborada a partir das seguintes etapas: estabelecimento da hipótese e objetivos da revisão; estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de artigos, definição das informações a serem extraídas dos artigos selecionados; análise dos resultados; discussão e apresentação dos resultados e a apresentação da revisão, realizada no período de março de 2024.

2444

Para nortear a revisão, formulou-se o seguinte questionamento: Quais os avanços da Inteligência Artificial na cardiologia?

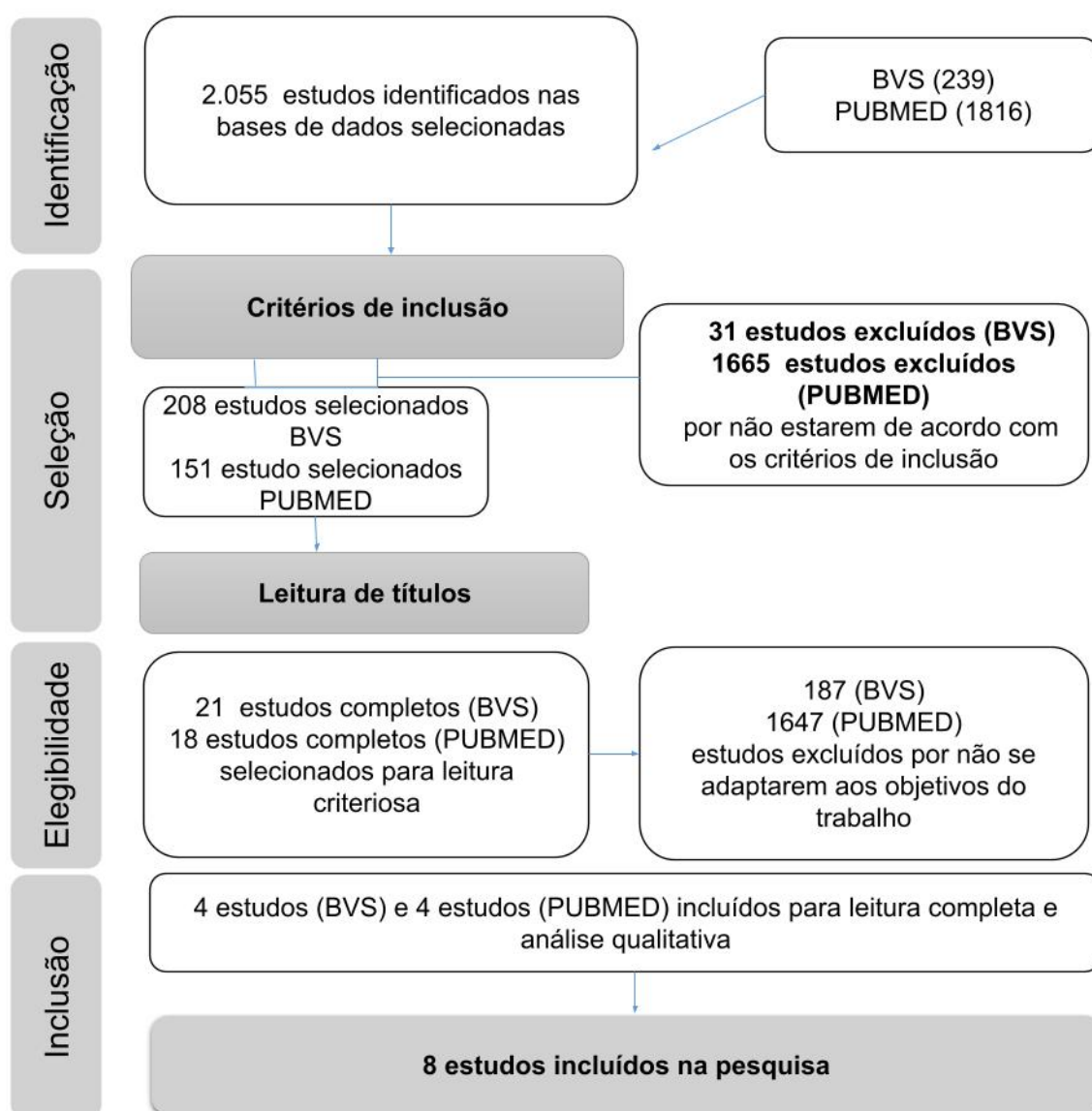
Para a busca utilizou-se os descritores baseados no Decs, e assim montou a estratégia de busca: “Inteligência artificial” AND “Cardiologia” AND “Aprendizado de máquina”. Os critérios de inclusão definidos para a presente revisão foram: Artigos completos, os idiomas inglês, espanhol e português, dados associados e publicados no período de 2019 a 2023. Deste modo, teses, mestrados e dissertações foram excluídos deste estudo.

RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 239 estudos na Biblioteca Virtual de Saúde (BVS). No processo de inclusão, 208 estudos foram selecionados, onde, posteriormente, na leitura de título, 21 estudos foram selecionados para a leitura completa. Após aplicação dos critérios e avaliação criteriosa dos manuscritos, estudos foram excluídos por não se adequarem aos

critérios de elegibilidade, assim ficaram 8 artigos para a leitura completa, sendo que 4 compuseram a escrita final. Além da base de dados BVS, obtiveram-se também resultados de busca na PUBMED. Foram encontrados 1816 documentos, destes 151 foram selecionados. Subsequente, em leitura de título 18 foram selecionados para a leitura completa. Posteriormente a avaliação minuciosa, foram excluídos os documentos que não estavam em conformidade aos critérios elegíveis, desta forma restaram 8 artigos para a leitura completa, onde 4 integraram a amostra final, conforme demonstra figura abaixo.

Figura 1. Fluxograma de seleção dos estudos para análise da revisão integrativa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

DISCUSSÃO

Aplicação da IA no Diagnóstico Cardiovascular

A aplicação da no diagnóstico cardiovascular representa uma área de grande avanço e promessa na medicina moderna. Os avanços na IA permitiram o desenvolvimento de algoritmos sofisticados capazes de analisar uma variedade de exames de imagem, como ecocardiogramas, ressonâncias magnéticas cardíacas e tomografias computadorizadas angiográficas (1).

Esses algoritmos são treinados em grandes conjuntos de dados para reconhecer padrões e características específicas que podem indicar a presença de anomalias cardíacas (2). Por exemplo, a IA pode identificar defeitos estruturais do coração, doença arterial coronariana e disfunção ventricular com alta precisão, muitas vezes superando a capacidade de diagnóstico dos médicos(3).

Um dos principais benefícios da aplicação da IA no diagnóstico cardiovascular é a capacidade de agilizar o processo de diagnóstico, permitindo aos médicos identificar rapidamente problemas cardíacos e iniciar o tratamento adequado (4). Isso é especialmente importante em casos de emergência, como ataques cardíacos, onde o tempo é essencial (5).

2446

Além disso, a IA também pode ser utilizada para ajudar na interpretação de exames de imagem para planejar procedimentos cirúrgicos com mais precisão (6). Por exemplo, algoritmos de IA podem gerar modelos 3D das estruturas cardíacas, permitindo aos cirurgiões visualizar a anatomia do paciente de forma mais detalhada e simular procedimentos antes da intervenção real (7).

No entanto, existem desafios a serem enfrentados na implementação da IA no diagnóstico cardiovascular (8). Questões relacionadas à interpretabilidade dos algoritmos, garantia da qualidade dos dados de treinamento e integração eficaz com os sistemas clínicos são algumas das preocupações que precisam ser abordadas para garantir o sucesso dessa tecnologia na prática clínica (9).

No geral, a aplicação da IA no diagnóstico cardiovascular oferece novas perspectivas e oportunidades para melhorar a detecção precoce e o tratamento de doenças cardíacas (10). Com mais pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos, é provável que a IA desempenhe um papel ainda mais significativo na prática clínica em cardiologia, beneficiando assim os pacientes e profissionais de saúde (11).

Predição de Eventos Cardíacos

A predição de eventos cardíacos é uma área crucial na cardiologia, pois permite a identificação precoce de pacientes em risco de complicações graves, como ataques cardíacos, acidentes vasculares cerebrais (AVCs) e insuficiência cardíaca (12). A IA tem desempenhado um papel cada vez mais importante no desenvolvimento de modelos preditivos precisos e personalizados (13).

Os algoritmos de IA são capazes de analisar grandes conjuntos de dados clínicos e biomarcadores para identificar padrões sutis que estão associados a um maior risco de eventos cardiovasculares (14). Esses modelos preditivos levam em consideração uma variedade de fatores de risco, como idade, sexo, histórico médico, resultados de exames laboratoriais e dados de imagem (15).

Um dos principais benefícios da aplicação da IA na predição de eventos cardíacos é a capacidade de identificar pacientes de alto risco que podem se beneficiar de intervenções preventivas ou tratamento mais intensivo (16). Por exemplo, os modelos preditivos podem ajudar os médicos a identificar pacientes com síndrome coronariana aguda que têm maior probabilidade de desenvolver complicações durante a internação hospitalar (17).

2447

Estudos recentes têm demonstrado que os algoritmos de IA podem superar os métodos tradicionais de predição, identificando padrões que podem passar despercebidos aos médicos (18). Por exemplo, pesquisadores desenvolveram um modelo de IA capaz de prever o risco de eventos cardíacos em pacientes com alta precisão, identificando padrões que os métodos convencionais não conseguiram detectar (19).

No entanto, a implementação bem-sucedida da IA na predição de eventos cardíacos enfrenta desafios significativos. Questões relacionadas à interpretabilidade dos modelos, validação externa em diferentes populações e integração com sistemas de saúde eletrônicos são alguns dos obstáculos que precisam ser abordados (20,21).

Interpretação de ECGs

A interpretação precisa de ECGs é fundamental para o diagnóstico e manejo de uma variedade de condições cardiovasculares (22). Nos últimos anos, a IA emergiu como uma ferramenta promissora para auxiliar na análise de ECGs, oferecendo a capacidade de detectar arritmias, isquemia e outras anomalias cardíacas de maneira rápida e precisa (23).

Os algoritmos de IA são treinados em grandes conjuntos de dados de ECGs para reconhecer padrões complexos que podem ser indicativos de condições cardíacas anormais (24). Esses modelos de IA são capazes de identificar sinais sutis que podem passar despercebidos durante a interpretação humana, melhorando assim a sensibilidade e especificidade do diagnóstico (25).

Um dos principais benefícios da aplicação da IA na interpretação de ECGs é a capacidade de fornecer diagnósticos mais precisos e rápidos (26). Por exemplo, um estudo demonstrou a eficácia de um algoritmo de IA na detecção de fibrilação atrial em ECGs de curto prazo obtidos de dispositivos portáteis (27). O algoritmo foi capaz de identificar a presença de fibrilação atrial com uma sensibilidade e especificidade comparáveis às dos cardiologistas especializados (28).

Além da detecção de arritmias, a IA também está sendo aplicada na interpretação de ECGs para identificar padrões sugestivos de isquemia miocárdica e outras anormalidades cardíacas (29). Esses avanços têm o potencial de agilizar o processo de diagnóstico, permitindo uma intervenção mais rápida e eficaz para pacientes com condições cardiovasculares agudas (30).

No entanto, assim como em outras áreas da aplicação da IA na cardiologia, existem desafios a serem enfrentados na interpretação de ECGs com IA (19). Questões relacionadas à interpretabilidade dos algoritmos, padronização dos métodos de treinamento e validação externa em diferentes populações são alguns dos aspectos que precisam ser considerados.

Personalização do Tratamento

A personalização do tratamento é essencial na abordagem das doenças cardiovasculares, pois considera as variabilidades individuais dos pacientes (19,31). Nesse contexto, a IA tem sido aplicada para desenvolver terapias personalizadas com base em uma variedade de dados, incluindo informações genéticas, clínicas e de imagem (32).

Um dos principais avanços na personalização do tratamento cardiovascular com IA é a medicina de precisão, que utiliza algoritmos sofisticados para analisar dados genômicos e identificar padrões que podem prever a resposta do paciente a determinados tratamentos (33). Por exemplo, estudos têm demonstrado que a IA pode ser usada para identificar biomarcadores genéticos associados à eficácia de medicamentos específicos, como estatinas ou anti-hipertensivos (34).

Além da genética, a IA também é empregada na análise de dados clínicos e de imagem para guiar a seleção de tratamentos individualizados (27). Por exemplo, algoritmos de IA podem analisar ecocardiogramas ou ressonâncias magnéticas cardíacas para identificar características específicas que podem influenciar a escolha do tratamento, como a gravidade da disfunção ventricular ou a presença de lesões ateroscleróticas (35).

Um exemplo notável é o campo da cardiologia intervencionista, onde a IA está sendo utilizada para auxiliar na seleção de stents coronarianos e na otimização de procedimentos de angioplastia (36). Algoritmos de IA são capazes de analisar imagens angiográficas para identificar lesões coronarianas complexas e prever o resultado do procedimento com alta precisão, ajudando os médicos a tomar decisões mais informadas durante o tratamento (5).

Apesar dos avanços promissores, a implementação da personalização do tratamento com IA enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de validar e validar os modelos preditivos em grandes populações e garantir a segurança e a privacidade dos dados do paciente.

Monitoramento Remoto

O monitoramento remoto da saúde cardíaca é uma área em rápido crescimento impulsionada pela tecnologia, e a IA desempenha um papel fundamental nesse contexto. Dispositivos vestíveis e aplicativos móveis equipados com IA estão permitindo o monitoramento contínuo da saúde cardíaca dos pacientes, oferecendo insights em tempo real e alertando sobre possíveis problemas (24).

Um dos principais benefícios do monitoramento remoto é a detecção precoce de eventos cardiovasculares adversos. Algoritmos de IA são capazes de analisar dados de sensores integrados em dispositivos vestíveis, como frequência cardíaca, variabilidade da frequência cardíaca e padrões de atividade física, para identificar sinais de alerta, como arritmias cardíacas ou elevações na pressão arterial (37).

Além disso, a IA pode ser usada para personalizar o monitoramento com base nas necessidades individuais de cada paciente. Por exemplo, algoritmos de IA podem aprender os padrões de saúde de um paciente ao longo do tempo e ajustar os parâmetros de monitoramento para otimizar a detecção de eventos cardiovasculares relevantes (38).

Outra aplicação importante da IA no monitoramento remoto é a análise de dados de sintomas relatados pelos pacientes. Aplicativos móveis equipados com IA podem usar algoritmos de processamento de linguagem natural para identificar padrões nos relatórios de sintomas dos pacientes e alertar os profissionais de saúde sobre possíveis problemas emergentes (39).

Apesar dos benefícios promissores, o monitoramento remoto da saúde cardíaca com IA enfrenta desafios significativos, incluindo a precisão dos algoritmos de IA, a integração com sistemas de saúde eletrônicos e questões de privacidade e segurança dos dados do paciente.

Otimização de Procedimentos Cardíacos

A otimização de procedimentos cardíacos é uma área crítica na cardiologia, onde a precisão e eficácia dos procedimentos podem ter um impacto significativo nos resultados clínicos dos pacientes. A IA está sendo cada vez mais aplicada para melhorar a execução de procedimentos cardíacos, oferecendo suporte aos médicos durante a intervenção e auxiliando na tomada de decisões em tempo real (40).

Um dos principais benefícios da IA na otimização de procedimentos cardíacos é a capacidade de fornecer orientação precisa durante a navegação por vasos sanguíneos e durante a implantação de dispositivos, como stents coronarianos. Algoritmos de IA podem analisar imagens angiográficas em tempo real e fornecer informações detalhadas sobre a anatomia vascular, ajudando os médicos a selecionar o melhor curso de ação durante o procedimento (3).

Além disso, a IA também está sendo aplicada para prever e mitigar complicações durante procedimentos cardíacos. Algoritmos de IA podem analisar uma variedade de dados, incluindo características do paciente, anatomia vascular e resultados de exames prévios, para identificar pacientes de alto risco e desenvolver estratégias para minimizar complicações, como dissecação arterial ou reestenose (41).

Um exemplo notável é o uso de IA na otimização de procedimentos de ablação por cateter para o tratamento de arritmias cardíacas. Algoritmos de IA podem analisar dados de eletrofisiologia cardíaca em tempo real e fornecer orientações precisas sobre o posicionamento do cateter e a aplicação de energia, melhorando assim a eficácia do procedimento e reduzindo o risco de complicações (42).

Apesar dos benefícios promissores, a implementação da IA na otimização de procedimentos cardíacos enfrenta desafios significativos, incluindo a integração com sistemas de imagem e angiografia, a validação em ensaios clínicos e questões de segurança e privacidade dos dados do paciente.

Considerações Éticas, Regulatórias e de Segurança

A implementação da IA na cardiologia levanta uma série de considerações éticas, regulatórias e de segurança que precisam ser cuidadosamente abordadas para garantir o uso responsável e eficaz dessa tecnologia na prática clínica (43).

Do ponto de vista ético, a transparência e interpretabilidade dos algoritmos de IA são questões fundamentais. Os modelos de IA podem ser complexos e difíceis de entender, o que pode dificultar a explicação de suas decisões aos pacientes e a validação por outros profissionais de saúde. Garantir a transparência e interpretabilidade dos algoritmos é essencial para promover a confiança e aceitação da IA na comunidade médica e entre os pacientes (44).

Além disso, questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados do paciente são de extrema importância. Os algoritmos de IA dependem de grandes conjuntos de dados clínicos para treinamento e validação, o que levanta preocupações sobre a confidencialidade e proteção dos dados pessoais dos pacientes. É fundamental garantir que os dados de saúde sejam coletados, armazenados e utilizados de acordo com as melhores práticas de privacidade e segurança de dados (45).

Do ponto de vista regulatório, a implementação da IA na prática clínica requer a conformidade com as diretrizes e regulamentações locais e internacionais. Os dispositivos médicos baseados em IA devem passar por rigorosos processos de aprovação regulatória para garantir sua segurança e eficácia antes de serem introduzidos no mercado. Além disso, é necessário desenvolver diretrizes claras e padrões de qualidade para orientar o desenvolvimento e uso responsável de algoritmos de IA em cardiologia (46).

Outro aspecto importante é a equidade e justiça na implementação da IA na cardiologia. É essencial garantir que o acesso à tecnologia de IA e seus benefícios sejam distribuídos de forma equitativa, evitando disparidades no acesso ao diagnóstico e tratamento cardiovascular (47).

CONCLUSÃO

A IA está desempenhando um papel cada vez mais significativo na transformação da prática clínica em cardiologia, oferecendo uma série de benefícios em termos de diagnóstico, tratamento e monitoramento de doenças cardiovasculares. Ao longo desta revisão bibliográfica, exploramos diversas aplicações da IA na cardiologia, abrangendo desde o diagnóstico precoce até a personalização do tratamento e a otimização de procedimentos cardíacos.

Os avanços na análise de imagens médicas, previsão de eventos cardíacos, interpretação de ECGs, personalização do tratamento, monitoramento remoto e otimização de procedimentos cardíacos demonstram o vasto potencial da IA para melhorar os cuidados cardiológicos. Essas aplicações têm o potencial de aumentar a precisão e eficiência do diagnóstico, proporcionar tratamentos mais personalizados e otimizar a realização de procedimentos cardíacos, resultando em melhores resultados para os pacientes.

No entanto, à medida que a IA continua a ser integrada na prática clínica, é importante abordar considerações éticas, regulatórias e de segurança para garantir seu uso responsável e benéfico. A transparência e interpretabilidade dos algoritmos, a proteção da privacidade e segurança dos dados do paciente, a conformidade regulatória e a equidade no acesso à tecnologia são aspectos cruciais que precisam ser cuidadosamente considerados.

À medida que avançamos para o futuro, é essencial continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento de IA na cardiologia, buscando abordagens inovadoras e soluções tecnológicas que possam melhorar ainda mais os cuidados cardíacos. Com o compromisso contínuo de médicos, pesquisadores, formuladores de políticas e desenvolvedores de tecnologia, é possível aproveitar todo o potencial da IA para enfrentar os desafios crescentes das doenças cardiovasculares e melhorar a saúde cardiovascular da população global.

REFERÊNCIAS

1. AHUJA AS. The impact of artificial intelligence in medicine on the future role of the physician. *PeerJ*. 2019;2019(10).
2. MANLHIOT C, van den Eynde J, Kutty S, Ross HJ. A Primer on the Present State and Future Prospects for Machine Learning and Artificial Intelligence Applications in Cardiology. Vol. 38, *Canadian Journal of Cardiology*. 2022.

3. KOULAOUZIDIS G, Jadczyk T, Iakovidis DK, Koulaouzidis A, Bisnaire M, Charisopoulou D. Artificial Intelligence in Cardiology—A Narrative Review of Current Status. Vol. 11, *Journal of Clinical Medicine*. 2022.
4. OLENDER ML, De La Torre Hernández JM, Athanasiou LS, Nezami FR, Edelman ER. Artificial intelligence to generate medical images: Augmenting the cardiologist's visual clinical workflow. *European Heart Journal - Digital Health*. 2021;2(3).
5. MOLENAAR MA, Selder JL, Nicolas J, Claessen BE, Mehran R, Bescós JO, et al. Current State and Future Perspectives of Artificial Intelligence for Automated Coronary Angiography Imaging Analysis in Patients with Ischemic Heart Disease. Vol. 24, *Current Cardiology Reports*. 2022.
6. GALA D, Behl H, Shah M, Makaryus AN. The Role of Artificial Intelligence in Improving Patient Outcomes and Future of Healthcare Delivery in Cardiology: A Narrative Review of the Literature. Vol. 12, *Healthcare (Switzerland)*. 2024.
7. Danilov A, Aronow WS. Artificial Intelligence in Cardiology: Applications and Obstacles. Vol. 48, *Current Problems in Cardiology*. 2023.
8. VAN Den Eynde J, Kutty S, Danford DA, Manlhiot C. Artificial intelligence in pediatric cardiology: Taking baby steps in the big world of data. Vol. 37, *Current Opinion in Cardiology*. 2022.
9. LOPEZ-Jimenez F, Attia Z, Arruda-Olson AM, Carter R, Chareonthaitawee P, Jouni H, et al. Artificial Intelligence in Cardiology: Present and Future. Vol. 95, *Mayo Clinic Proceedings*. 2020.
10. Seetharam K, Shrestha S, Sengupta PP. Cardiovascular Imaging and Intervention Through the Lens of Artificial Intelligence. *Interventional Cardiology: Reviews, Research, Resources*. 2021;16.
11. YEO KK. Artificial intelligence in cardiology: did it take off? *Russian Journal for Personalized Medicine*. 2023;2(6).
12. MUZAMMIL MA, Javid S, Afridi AK, Siddineni R, Shahabi M, Haseeb M, et al. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography for accurate diagnosis and management of cardiovascular diseases. Vol. 83, *Journal of Electrocardiology*. 2024.
13. PERL L, Loebel N, Kornowski R. Artificial Intelligence in Cardiology. Vol. 26, *Israel Medical Association Journal*. 2024.
14. NGUYEN MB, Villemain O, Friedberg MK, Lovstakken L, Rusin CG, Mertens L. Artificial intelligence in the pediatric echocardiography laboratory: Automation, physiology, and outcomes. Vol. 2, *Frontiers in Radiology*. 2022.
15. KRITTANAWONG C, Kaplin S, Sharma SK. Artificial intelligence on interventional cardiology. Em: *Artificial Intelligence in Clinical Practice: How AI Technologies Impact Medical Research and Clinics*. 2023.
16. THOMFORD NE, Bope CD, Agamah FE, Dzobo K, Owusu Ateko R, Chimusa E, et al. Implementing Artificial Intelligence and Digital Health in Resource-Limited Settings? Top 10 Lessons We Learned in Congenital Heart Defects and Cardiology. *OMICS*. 2020;24(5).

17. LEDZIŃSKI Ł, Grzešk G. Artificial Intelligence Technologies in Cardiology. Vol. 10, Journal of Cardiovascular Development and Disease. 2023.
18. JIANG F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. Vol. 2, Stroke and Vascular Neurology. 2017.
19. GU L. AI in Cardiology and Cardiac Surgery. Em: AI in Clinical Medicine: A Practical Guide for Healthcare Professionals. 2023.
20. PALERMI S, Vecchiato M, Saglietto A, Niederseer D, Oxborough D, Ortega-Martorell S, et al. Unlocking the potential of artificial intelligence in sports cardiology: does it have a role in evaluating athlete's heart? Vol. 31, European Journal of Preventive Cardiology. 2024.
21. JUAREZ-Orozco LE, Klén R, Niemi M, Ruijsink B, Daquarti G, van Es R, et al. Artificial Intelligence to Improve Risk Prediction with Nuclear Cardiac Studies. Vol. 24, Current Cardiology Reports. 2022.
22. FILHO EM de S, Fernandes F de A, Soares CL de A, Seixas FL, Dos Santos AASMD, Gismondi RA, et al. Artificial intelligence in cardiology: Concepts, tools and challenges- "the horse is the one who runs, you must be the jockey". Vol. 114, Arquivos Brasileiros de Cardiologia. 2020.
23. Rahman MM, Rivolta MW, Badilini F, Sassi R. A Systematic Survey of Data Augmentation of ECG Signals for AI Applications. Sensors. 2023;23(11).
24. DEY D, Slomka PJ, Leeson P, Comaniciu D, Shrestha S, Sengupta PP, et al. Artificial Intelligence in Cardiovascular Imaging: JACC State-of-the-Art Review. Vol. 73, Journal of the American College of Cardiology. 2019.
25. ELUL Y, Rosenberg AA, Schuster A, Bronstein AM, Yaniv Y. Meeting the unmet needs of clinicians from AI systems showcased for cardiology with deep-learning-based ECG analysis. Proc Natl Acad Sci U S A. 2021;118(24).
26. OTAKI Y, Miller RJH, Slomka PJ. The application of artificial intelligence in nuclear cardiology. Vol. 36, Annals of Nuclear Medicine. 2022.
27. LANGLAIS ÉL, Thériault-Lauzier P, Marquis-Gravel G, Kulbay M, So DY, Tanguay JF, et al. Novel Artificial Intelligence Applications in Cardiology: Current Landscape, Limitations, and the Road to Real-World Applications. Vol. 16, Journal of Cardiovascular Translational Research. 2023.
28. MAURIZI N, Skalidis I, Auberson D, Mahendiran T, Fournier S, Abbe E, et al. Can smart devices and AI in cardiology improve clinical practice? Rev Med Suisse. 2023;19(828).
29. BART NK, Pepe S, Gregory AT, Denniss AR. Emerging Roles of Artificial Intelligence (AI) in Cardiology: Benefits and Barriers in a 'Brave New World'. Vol. 32, Heart Lung and Circulation. 2023.

30. SALIHU A, Gadiri MA, Skalidis I, Meier D, Auberson D, Fournier A, et al. Towards AI-assisted cardiology: a reflection on the performance and limitations of using large language models in clinical decision-making. Vol. 19, *EuroIntervention*. 2023.
31. Karatzia L, Aung N, Aksentijevic D. Artificial intelligence in cardiology: Hope for the future and power for the present. Vol. 9, *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022.
32. GIANANTI D, Monoscalco L. A smartphone-based survey in mHealth to investigate the introduction of the artificial intelligence into cardiology. Vol. 7, *mHealth*. 2021.
33. ISAKSEN JL, Baumert M, Hermans ANL, Maleckar M, Linz D. Artificial intelligence for the detection, prediction, and management of atrial fibrillation. Vol. 33, *Herzschrittmachertherapie und Elektrophysiologie*. 2022.
34. GALA D, Makaryus AN. The Utility of Language Models in Cardiology: A Narrative Review of the Benefits and Concerns of ChatGPT-4. Vol. 20, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023.
35. AKKUS Z, Aly YH, Attia IZ, Lopez-Jimenez F, Arruda-Olson AM, Pellikka PA, et al. Artificial intelligence (ai)-empowered echocardiography interpretation: A state-of-the-art review. *J Clin Med*. 2021;10(7).
36. DORADO-Díaz PI, Sampedro-Gómez J, Vicente-Palacios V, Sánchez PL. Aplicaciones de la inteligencia artificial en cardiología: el futuro ya está aquí. *Rev Esp Cardiol*. 2019;72(12).
37. D’COSTA A, Zatale A. AI and the cardiologist: When mind, heart and machine unite. *Open Heart*. 2021;8(2).
38. MOTWANI M. 2022 Artificial intelligence primer for the nuclear cardiologist. Vol. 30, *Journal of Nuclear Cardiology*. 2023.
39. CİNTEZA E, Vasile CM, Busnatu S, Armat I, Spinu AD, Vatasescu R, et al. Can Artificial Intelligence Revolutionize the Diagnosis and Management of the Atrial Septal Defect in Children? Vol. 14, *Diagnostics*. 2024.
40. BRISK R, Bond R, McEneaney D. Education of artificial intelligence for cardiovascular clinicians. Em: *Intelligence-Based Cardiology and Cardiac Surgery: Artificial Intelligence and Human Cognition in Cardiovascular Medicine*. 2023.
41. NG B, Nayyar S, Chauhan VS. The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Clinical Cardiac Electrophysiology. Vol. 38, *Canadian Journal of Cardiology*. 2022.
42. Choi DJ, Park JJ, Ali T, Lee S. Artificial intelligence for the diagnosis of heart failure. *NPJ Digit Med*. 2020;3(1).
43. PINTO-Coelho L. How Artificial Intelligence Is Shaping Medical Imaging Technology: A Survey of Innovations and Applications. Vol. 10, *Bioengineering*. 2023.

44. DAY TG, Kainz B, Hajnal J, Razavi R, Simpson JM. Artificial intelligence, fetal echocardiography, and congenital heart disease. Vol. 41, Prenatal Diagnosis. 2021.
45. WANG H, Zu Q, Lu M, Chen R, Yang Z, Gao Y, et al. Application of Medical Knowledge Graphs in Cardiology and Cardiovascular Medicine: A Brief Literature Review. Vol. 39, Advances in Therapy. 2022.
46. SUBHAN S, Malik J, Haq A ul, Qadeer MS, Zaidi SMJ, Orooj F, et al. Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Interventional Cardiology. Vol. 48, Current Problems in Cardiology. 2023.
47. VAN den Eynde J, Lachmann M, Laugwitz KL, Manlhiot C, Kutty S. Successfully implemented artificial intelligence and machine learning applications in cardiology: State-of-the-art review. Vol. 33, Trends in Cardiovascular Medicine. 2023.