



O impacto da Inteligência Artificial no diagnóstico e prognóstico da Insuficiência Cardíaca

The impact of Artificial Intelligence on the diagnosis and prognosis of Heart Failure

El impacto de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico y pronóstico de la Insuficiencia Cardíaca

Maria Fernanda Garcia de Almeida¹, Daniele Regina Gianini¹, Maria Julia Santana Santos Cotta², Rayanne Lopes de Medeiros³, Mariana Lima Ayres Angola⁴, Eduarda Caroline Reche⁵, Pedro Vinicius Araújo Viana⁶, Aderaldo Salustriano Santiago Neto⁷, Adriel Machado Toledo⁸, Tarkio Braz Miranda Pereira⁹.

RESUMO

Objetivo: Compreender o papel da inteligência artificial (IA) na detecção, diagnóstico, monitoramento e prognóstico da insuficiência cardíaca (IC). **Métodos:** Trata-se de uma revisão bibliográfica integrativa, na qual foi utilizada a base de dados PubMed Central (PMC). Inicialmente, foram identificados 945 artigos, que foram submetidos a critérios de elegibilidade. Dentre esses, 15 artigos foram selecionados para a elaboração deste estudo. **Resultados:** A IC é uma das principais condições crônicas de caráter cardiovascular, cuja gestão clínica atual requer cada vez mais a adoção de novas tecnologias. Nesse contexto, a inteligência artificial, com a aplicação de algoritmos como machine learning (ML), redes neurais convolucionais (CNN), Support Vector Machine (SVM) e K-Nearest Neighbors (KNN), desempenha um papel de extrema relevância para a otimização e detecção precoce dessa patologia cardíaca. Além de agilidade, esses algoritmos permitem identificar padrões que podem não ser evidentes em análises tradicionais, influenciando na melhoria dos fatores diagnósticos e prognósticos com o objetivo de aprimorar os desfechos clínicos. **Considerações finais:** Portanto, destaca-se que, apesar do enorme potencial da IA como ferramenta para auxiliar no manejo clínico da IC, ainda são necessárias mais pesquisas para garantir a padronização dos modelos, a fim de assegurar sua implementação eficaz na prática clínica.

Palavras-chave: Inteligência artificial, Insuficiência cardíaca, Diagnóstico precoce.

¹ Centro universitário Católico Salesiano Auxilium (UNISALESIANO), Araçatuba - SP

² Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga (FADIP), Mariana - MG

³ Universidade Potiguar (UNP), Natal - RN

⁴ Universidad Nacional de Rosário (UNR), Rosário - AR

⁵ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Erechim - RS

⁶ Universidade Estácio de Sá (UNESA), Rio de Janeiro - RJ

⁷ Universidade Tiradentes (UNIT), Estância - SE

⁸ Faculdade Brasileira De Cachoeiro, Cachoeiro de Itapemirim – ES

⁹ Universidad Abierta Interamericana – UAI. Rosario, Santa Fe – AR.

ABSTRACT

Objective: To understand the role of artificial intelligence (AI) in the detection, diagnosis, monitoring, and prognosis of heart failure (HF). **Methods:** This is an integrative literature review, in which the PubMed Central (PMC) database was used. Initially, 945 articles were identified and subjected to eligibility criteria. Among these, 15 articles were selected for the development of this study. **Results:** HF is one of the main chronic cardiovascular conditions, whose current clinical management increasingly requires the adoption of new technologies. In this context, artificial intelligence, through the application of algorithms such as machine learning (ML), convolutional neural networks (CNN), Support Vector Machine (SVM), and K-Nearest Neighbors (KNN), plays an extremely relevant role in optimizing and early detection of this cardiac pathology. In addition to speed, these algorithms can identify patterns that may not be evident in traditional analyses, influencing the improvement of diagnostic and prognostic factors with the aim of enhancing clinical outcomes. **Final considerations:** Therefore, it is emphasized that despite the enormous potential of AI as a tool to assist in the clinical management of HF, further research is still needed to ensure the standardization of models, in order to ensure their effective implementation in clinical practice.

Keywords: Artificial intelligence, Heart failure, Early diagnosis.

RESUMEN

Objetivo: Comprender el papel de la inteligencia artificial (IA) en la detección, diagnóstico, monitoreo y pronóstico de la insuficiencia cardíaca (IC). **Métodos:** Se trata de una revisión bibliográfica integrativa, en la cual se utilizó la base de datos PubMed Central (PMC). Inicialmente, se identificaron 945 artículos, que fueron sometidos a criterios de elegibilidad. De estos, 15 artículos fueron seleccionados para la elaboración de este estudio. **Resultados:** La IC es una de las principales condiciones crónicas de carácter cardiovascular, cuya gestión clínica actual requiere cada vez más la adopción de nuevas tecnologías. En este contexto, la inteligencia artificial, con la aplicación de algoritmos como machine learning (ML), redes neuronales convolucionales (CNN), Support Vector Machine (SVM) y K-Nearest Neighbors (KNN), desempeña un papel sumamente relevante para la optimización y detección temprana de esta patología cardíaca. Además de la agilidad, estos algoritmos permiten identificar patrones que pueden no ser evidentes en los análisis tradicionales, influyendo en la mejora de los factores diagnósticos y pronósticos con el objetivo de mejorar los resultados clínicos. **Consideraciones finales:** Por lo tanto, se destaca que, a pesar del enorme potencial de la IA como herramienta para ayudar en el manejo clínico de la IC, aún se necesitan más investigaciones para garantizar la estandarización de los modelos, con el fin de asegurar su implementación eficaz en la práctica clínica.

Palabras clave: Inteligencia artificial, Insuficiencia cardíaca, Diagnóstico precoz.

INTRODUÇÃO

A insuficiência cardíaca (IC) é uma condição crônica e progressiva que afeta milhões de pessoas ao redor do mundo, sendo uma das principais causas de morbidade e mortalidade cardiovascular. Com o envelhecimento populacional e o aumento de fatores de risco, como hipertensão e obesidade, a incidência de IC continua a crescer, impondo uma carga significativa aos sistemas de saúde (NAGAVELLI U, et al., 2022).

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) tem emergido como uma ferramenta promissora para aprimorar a detecção, diagnóstico, monitoramento e prognóstico da IC. A IA utiliza algoritmos avançados para analisar grandes volumes de dados clínicos e de exames, permitindo a identificação precoce de padrões e anomalias que podem indicar a presença de IC (OO MM, et al., 2024).

A aplicação da IA na cardiologia tem demonstrado eficácia em diversas áreas, incluindo a análise de eletrocardiogramas (ECG), imagens cardíacas e a interpretação de dados de saúde eletrônicos, auxiliando na detecção e no monitoramento da IC (NAGAVELLI U, et al., 2022). Além disso, a IA pode contribuir de forma significativa para a personalização do tratamento, auxiliando na predição de desfechos clínicos e na

escolha das melhores estratégias terapêuticas para cada paciente (AMIN H, et al., 2021). Esse potencial inovador da IA tem a capacidade de transformar a prática clínica, melhorando o cuidado ao paciente com IC e potencialmente reduzindo as taxas de hospitalização e mortalidade associadas (OO MM, et al., 2024).

Apesar dos avanços significativos no uso da IA para a IC, ainda existem desafios e limitações que impedem sua implementação mais ampla na prática clínica. Uma das principais lacunas na literatura é a falta de padronização e validação externa dos modelos de IA, o que dificulta sua aplicação generalizada e segura em diferentes populações de pacientes (NAGAVELLI U, et al., 2022).

Além disso, muitos estudos concentram-se em aspectos isolados da IC, como detecção ou prognóstico, sem considerar uma abordagem integrada que envolva todas as fases da doença. Essa fragmentação limita a compreensão completa do potencial da IA no manejo mais eficaz e personalizado da IC (OO MM, et al., 2024). Há também uma necessidade urgente de estudos que avaliem a eficácia clínica e o custo-benefício das ferramentas de IA em cenários do mundo real.

Embora muitos modelos de IA tenham mostrado desempenho promissor em ambientes controlados de pesquisa, sua validação e integração na rotina clínica são essenciais para sua adoção bem-sucedida na prática diária. Dessa forma, pesquisas mais abrangentes são necessárias para explorar como a IA pode ser incorporada de maneira eficaz na gestão da IC, desde a detecção precoce até o acompanhamento contínuo e a tomada de decisões terapêuticas (AMIN H, et al., 2021; LANG FM, et al., 2024).

Estudos recentes indicam que a IA tem o potencial de melhorar significativamente o diagnóstico e o monitoramento da IC. Algoritmos de aprendizado de máquina foram aplicados com sucesso na análise de ECGs e na interpretação de imagens cardíacas para identificar sinais precoces de disfunção ventricular. Além disso, a IA mostrou-se eficaz na predição de desfechos clínicos, como risco de hospitalização e mortalidade, auxiliando na estratificação de risco e personalização do tratamento.

Essa abordagem baseada em dados não apenas melhora a precisão diagnóstica, mas também oferece suporte para intervenções mais direcionadas e eficazes. No entanto, para que esses avanços sejam plenamente aproveitados, é essencial abordar as lacunas existentes na pesquisa e promover uma integração mais ampla da IA na prática clínica (NAGAVELLI U, et al., 2022). O objetivo desta revisão foi explorar o papel da IA na detecção, diagnóstico, monitoramento e prognóstico da insuficiência cardíaca, sintetizando as principais descobertas da literatura e identificando as lacunas e desafios atuais.

MÉTODOS

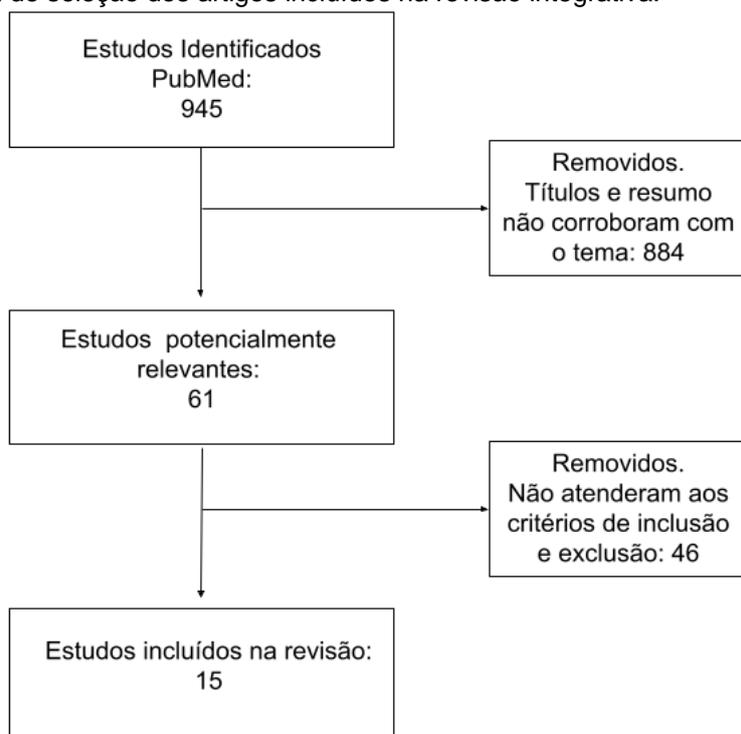
Esta revisão integrativa foi desenvolvida seguindo os critérios da estratégia PVO, que significa: População ou Problema, Variáveis e Desfecho. Foram analisados pacientes com insuficiência cardíaca, expostos à atuação da IA, com o objetivo de avaliar melhorias na detecção, diagnóstico, monitoramento e prognóstico da insuficiência cardíaca com o uso dessa ferramenta.

A pergunta de pesquisa norteadora foi: "Como a Inteligência Artificial está sendo utilizada no manejo da insuficiência cardíaca, e quais são seus impactos na detecção precoce, diagnóstico preciso e personalização do tratamento?".

As buscas foram realizadas na base de dados PubMed Central (PMC). Utilizaram-se os seguintes termos de pesquisa, em combinação com operadores booleanos (AND, OR, NOT), através da seguinte estratégia de busca: (("artificial intelligence" [MeSH Terms]) AND ("heart failure" [MeSH Terms] OR "heart" AND "failure" OR "heart failure")). A busca inicial resultou em 945 artigos, que foram submetidos aos critérios de seleção.

Os critérios de inclusão foram: artigos em inglês; publicados entre 2019 e 2024; que abordavam as temáticas propostas; estudos do tipo revisão e meta-análise; e que estavam disponíveis na íntegra. Os critérios de exclusão incluíram: artigos duplicados, disponíveis apenas em forma de resumo, estudos que não tratavam diretamente da proposta de pesquisa e aqueles que não atendiam aos demais critérios de inclusão. Após a aplicação desses critérios, 15 artigos foram selecionados para compor o presente estudo.

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos artigos incluídos na revisão integrativa.



Fonte: Almeida MFG, et al., 2024.

RESULTADOS

Após a execução da estratégia de pesquisa, foram identificados 945 artigos. Com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 61 estudos foram selecionados inicialmente, dos quais 46 foram excluídos devido à duplicidade na seleção. Assim, 15 artigos foram incluídos para análise completa, conforme ilustrado na (Figura 1). Os resultados foram organizados no (Quadro 1) e descritos de forma detalhada.

Quadro 1 - Síntese dos principais achados dos estudos selecionados sobre o papel da inteligência artificial na insuficiência cardíaca.

Revista	Autores (Ano)	Principais Achados
Sensors	Muhammed U, et al. (2022)	O estudo propôs uma estrutura de saúde inteligente baseada em IoT e nuvem para prever a sobrevivência de pacientes com IC. O modelo CNN alcançou precisão de 92,89%, sugerindo que a combinação de IoT e aprendizado profundo pode otimizar os cuidados em tempo real.
Computational and Mathematical Methods in Medicine	Senan EM, et al. (2021)	Aplicou-se engenharia de características e modelos de aprendizado para prever IC. A Floresta Aleatória teve os melhores resultados, com 95% de precisão em um conjunto de dados e 100% em outro, indicando alta eficácia para previsão de IC.
JACC: Heart Failure	Jing L, et al. (2020)	Utilizando aprendizado de máquina (ML), o estudo previu mortalidade em 1 ano em 13.238 pacientes com IC, destacando o XGBoost como o modelo mais eficiente (AUC: 0,77), superando a regressão logística. O ML pode priorizar intervenções e melhorar a gestão da IC.
BMC Medicine	Amativa B, et al. (2021)	Revisão sistemática que avaliou 97 estudos sobre ML em doenças cardiovasculares. Concluiu que, apesar do potencial, muitos estudos apresentaram limitações na validação e eficácia, sugerindo que o uso clínico ainda é restrito.

ESC Heart Failure	Tohyama T, et al. (2021)	Coorte retrospectivo com 10.175 pacientes com IC. O modelo preditivo SMART-HF mostrou melhor desempenho em comparação a modelos tradicionais, destacando-se por sua simplicidade e eficácia na estratificação de risco em IC.
Methodist DeBakey Cardiovasc J	Lang FM et al. (2022)	A revisão enfatizou os desafios na adoção clínica de IA e ML para a recuperação miocárdica, sugerindo a necessidade de mais estudos para superar barreiras e integrar essas tecnologias na prática clínica.
Open Heart	Togo S, et al. (2023)	Desenvolveu um modelo de rede neural para classificar a gravidade da IC em pacientes com cardiomiopatia hipertrófica (CMH), alcançando uma precisão de 75%. O aprendizado profundo se mostrou promissor para classificar a gravidade da IC em CMH.
Sensors	Botros J, et al. (2022)	Desenvolveu modelos preditivos com CNN e SVM para detecção automática de IC a partir de ECGs. Os modelos alcançaram mais de 99% de precisão, sensibilidade e especificidade, destacando a viabilidade de monitoramento em tempo real por dispositivos portáteis.
The Lancet	Banerjee A, et al. (2023)	O estudo validou externamente cinco subtipos de IC, utilizando aprendizado de máquina em grandes coortes. As análises mostraram diferentes perfis de mortalidade e hospitalização para cada subtipo, com um protótipo de aplicativo desenvolvido para uso clínico.
Future Cardiology	Gladding PA, et al. (2021)	O estudo "NanoHF" demonstrou o potencial do aprendizado de máquina multiômica para estratificação personalizada de pacientes com IC, sugerindo novas direções para o gerenciamento de HFrEF.
European Journal of Heart Failure	Wu J, et al. (2024)	Estudo de coorte que revelou maior mortalidade associada à idade e comorbidades em IC com fração de ejeção preservada (HFpEF). Pacientes sem diagnóstico formal de HFpEF apresentaram pior prognóstico.
Wiley	Celik A, et al. (2023)	IA aplicada a radiografias de tórax detectou IC com uma precisão preditiva de 77%. O estudo demonstrou o valor da IA no diagnóstico precoce, especialmente em casos de IC com fração de ejeção preservada.
Plos One	Kwon J, et al. (2019)	O modelo DAHF, baseado em aprendizado profundo, apresentou superioridade na predição de mortalidade em pacientes com IC aguda, com AUC de 0,880. O estudo valida o DAHF como uma ferramenta útil para a tomada de decisões clínicas.
Digital Health and Informatics Innovations	Ganesan R, et al. (2024)	Usando Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs), modelos de ML foram aplicados para prever a gravidade da IC, mostrando que é viável usar EHRs primários para diagnóstico precoce.
BMC Medical Informatics and Decision Making	Wang K, et al. (2023)	O estudo identificou que variáveis como hospitalizações, idade e biomarcadores são preditores importantes de insuficiência cardíaca crônica, destacando a eficácia do ML na avaliação de risco de mortalidade em 3 anos.

Fonte: Almeida MFG, et al. 2024.

DISCUSSÃO

Os estudos recentes indicam um potencial significativo da IA na detecção, diagnóstico e gestão da IC, embora sua implementação clínica ainda enfrente diversos desafios. O trabalho de Banerjee A, et al. (2021) realizou uma extensa revisão de 97 estudos que aplicaram métodos de ML para definir subtipos e prever riscos em doenças cardiovasculares, incluindo IC. A análise revelou grande variação nas fontes de dados, tamanho da população estudada e métodos de ML utilizados. A maioria dos estudos se concentrou em ambientes específicos, como clínicas ambulatoriais ou hospitais, o que limita a generalização dos resultados. Além disso, os autores apontaram que apenas uma pequena parcela dos estudos incluiu validação externa

(12,5% nos estudos de definição de subtipo e 5,3% nos estudos de previsão de risco), uma etapa crucial para testar a aplicabilidade de modelos em diferentes cenários clínicos.

Outro ponto crítico identificado foi a falta de avaliação do impacto clínico e custo-efetividade da IA na prática médica, uma vez que menos de 16% dos estudos exploraram os benefícios diretos para os pacientes. No estudo de Celik A, et al. (2023), a IA foi aplicada de forma prática na análise de radiografias de tórax, visando o diagnóstico precoce da IC. A pesquisa envolveu 10.100 radiografias, nas quais a IA identificou sinais clássicos de IC, como o aumento da razão cardiotorácica (CTR) e o derrame pleural, elementos essenciais que muitas vezes passam despercebidos em avaliações visuais humanas.

O algoritmo utilizado alcançou um valor preditivo positivo de 77% e um valor preditivo negativo de 91%, indicando uma alta precisão diagnóstica. Dos pacientes identificados com potenciais sinais de IC, 82% foram diagnosticados com a condição após testes confirmatórios, evidenciando a eficácia da IA na triagem de casos que poderiam necessitar de avaliação clínica mais detalhada. Um achado significativo do estudo foi a identificação de pacientes com IC de fração de ejeção preservada, um subtipo particularmente difícil de diagnosticar nos estágios iniciais devido à falta de sintomas específicos. A habilidade da IA em detectar esses casos com precisão aponta para seu valor no auxílio ao diagnóstico e ao manejo precoce da IC, melhorando os desfechos clínicos e a qualidade de vida dos pacientes.

Wu J, et al. (2024) reforçam que a IA já está revolucionando várias áreas da medicina cardiovascular, com impactos expressivos no diagnóstico e gerenciamento da IC. O estudo destaca que a IA utiliza ferramentas como ML e Deep Learning (DL) para realizar análises complexas de dados que seriam inviáveis para um ser humano. Os modelos de CNN desenvolvidos para a IC demonstraram uma precisão de 85% no diagnóstico, uma melhoria significativa em comparação com métodos tradicionais. A IA não apenas auxilia na interpretação de dados de imagem, como ecocardiografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética cardíaca, mas também pode analisar gravações de ECG com rapidez e precisão.

Gladding PA, et al. (2021) ressaltam, contudo, que a implementação da IA ainda enfrenta desafios, como a necessidade de sistemas regulatórios robustos e a integração dos algoritmos nas práticas clínicas cotidianas. A revisão conclui que, embora a IA tenha alcançado avanços significativos, o foco futuro deve estar em aumentar a acurácia, interpretar os resultados com transparência e aprimorar o uso da IA como ferramenta complementar, ao invés de substituir a expertise humana no diagnóstico e tratamento da IC.

Superação dos Métodos Tradicionais com Machine Learning

No estudo de Frederick ML, et al. (2024), o uso de algoritmos de ML mostrou-se significativamente superior às metodologias tradicionais, como a Equação Programada de Coorte Agrupada e o modelo de risco de mortalidade MAGGIC, que se baseiam em pontuações fixas e análises lineares. Os autores destacam que os métodos tradicionais apresentam limitações ao lidar com a natureza complexa e multifatorial da insuficiência cardíaca crônica (ICC), muitas vezes ignorando a interação não linear entre as diversas variáveis clínicas.

Em contraste, o ML permite a análise de grandes volumes de dados clínicos e a identificação de padrões complexos que podem ser fundamentais para o diagnóstico e prognóstico. Essa capacidade de processar dados heterogêneos e não lineares, como biomarcadores, características demográficas e histórico médico, torna os algoritmos de ML mais adaptáveis e precisos no contexto da ICC.

Além de aprimorar o diagnóstico, o estudo também ressalta que a IA, por meio do ML, é eficiente na identificação de reações adversas ao tratamento da IC. Isso é crucial para o manejo clínico, uma vez que muitos pacientes com IC sofrem com efeitos colaterais associados a medicamentos, o que pode comprometer a aderência ao tratamento e piorar o prognóstico.

Os algoritmos de ML conseguem identificar esses padrões de reações adversas mais rapidamente do que os métodos convencionais, permitindo aos profissionais de saúde ajustar as terapias de forma mais personalizada. Frederick ML, et al. (2024) sugerem ainda que o uso de "drivers mecanicistas" nos modelos de ML contribui para o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas, possibilitando intervenções precoces e precisas baseadas em dados complexos, como variabilidade da frequência cardíaca, pressão arterial e marcadores genéticos. Dessa forma, a IA não apenas aprimora a prática clínica atual, mas também abre caminhos para o desenvolvimento de estratégias inovadoras de tratamento.

Corroborando esses achados, Tohyama T, et al. (2021) demonstram que a aplicação de ML para a estratificação de risco em IC oferece vantagens significativas em relação aos métodos tradicionais. No desenvolvimento do modelo SMART-HF, os autores combinaram algoritmos de ML com o Algoritmo de Controle de Doenças japonês para criar uma ferramenta mais robusta e precisa na previsão de mortalidade em pacientes com IC.

Uma das características inovadoras do SMART-HF é sua capacidade de utilizar dados simples obtidos de uma breve anamnese, o que facilita sua implementação em ambientes clínicos diversos, incluindo aqueles com recursos limitados. Comparativamente, o modelo SMART-HF superou o modelo MAGGIC em precisão, apresentando uma taxa de previsão de mortalidade de 0,8 em pacientes com menos de 80 anos, em contraste com 0,728 no MAGGIC.

Desempenho Superior no Diagnóstico com Redes Neurais

Em outro estudo, Botros J, et al. (2022) investigaram o uso da IA na análise de ECG para o diagnóstico de IC, utilizando CNN. O classificador CNN alcançou uma sensibilidade de 99,50% e uma especificidade de 99,11%, resultando em uma precisão diagnóstica impressionante de 99,31%. Esses resultados indicam que a IA possui um potencial significativo para superar os métodos tradicionais de diagnóstico, fornecendo uma avaliação precisa e rápida do estado cardíaco dos pacientes.

O estudo reforça a ideia de que, com dados robustos e um treinamento adequado do modelo, as CNN podem ser incorporadas na prática clínica para aprimorar a identificação precoce da IC. De forma semelhante, Togo S, et al. (2023) aplicaram algoritmos de IA em ECGs de 12 derivações para classificar a gravidade da IC em pacientes com cardiomiopatia hipertrófica (CMH). O estudo utilizou a técnica de aprendizagem por transferência, que permite a reutilização de conhecimentos previamente adquiridos por modelos para melhorar a eficiência do diagnóstico em diferentes cenários clínicos.

Com essa abordagem, alcançaram uma sensibilidade de 0,875 na detecção de casos graves de IC, tanto em pacientes com CMH quanto em indivíduos sem essa condição. Embora os resultados sejam promissores, os autores destacam que o número reduzido de casos analisados pode comprometer a robustez e a confiabilidade das conclusões, enfatizando a necessidade de estudos futuros com amostras maiores.

Aplicações de IA em Registros Eletrônicos de Saúde

O estudo de Senan EM, et al. (2021) reforça o uso promissor de algoritmos de aprendizado de máquina, como Random Forest, SVM e KNN, na identificação de características críticas em pacientes com IC. Esses algoritmos são ferramentas robustas na classificação de dados clínicos complexos, ajudando a identificar padrões ocultos que podem passar despercebidos por métodos tradicionais.

O sistema desenvolvido pelo estudo alcançou uma acurácia impressionante de 97,62% e uma sensibilidade de 95,35%, comprovando que a IA é uma ferramenta poderosa para otimizar o diagnóstico, especialmente em condições desafiadoras como a IC, onde a variabilidade dos sinais clínicos e o curso imprevisível da doença dificultam uma avaliação precisa. A aplicação dessas técnicas pode auxiliar na detecção precoce da IC e, conseqüentemente, melhorar os desfechos clínicos ao permitir intervenções mais rápidas e personalizadas.

Jing L, et al. (2020) corroboram o potencial da IA no manejo da insuficiência cardíaca ao demonstrar que modelos preditivos, como o XGBoost, têm uma capacidade significativa de prever a mortalidade em um ano de pacientes com IC. Esse algoritmo de aprendizado de máquina, conhecido por sua eficiência e alto desempenho em grandes volumes de dados, não apenas previu com precisão os desfechos clínicos, mas também forneceu insights valiosos sobre quais intervenções terapêuticas podem ser mais eficazes para cada grupo de risco. O estudo destacou a importância da IA na estratificação de risco, que permite aos profissionais de saúde priorizar pacientes de acordo com seu risco de mortalidade e necessidades clínicas, otimizando os recursos disponíveis e assegurando que as intervenções sejam aplicadas de maneira mais direcionada e eficaz.

Contudo, o estudo também ressalta a necessidade de validações externas para garantir que esses modelos possam ser aplicados de forma confiável em diferentes populações e sistemas de saúde. Isso é especialmente relevante em contextos onde os padrões de cuidado, os recursos disponíveis e os perfis de pacientes podem variar significativamente, o que dificulta a generalização dos achados de um ambiente específico para outros. A personalização das intervenções, baseada em previsões feitas por IA, tem o potencial de transformar o manejo da IC, mas desafios relacionados à adaptação dessas tecnologias para diferentes contextos clínicos ainda precisam ser superados.

Amatava B, et al. (2021) realizaram uma revisão sistemática abrangente sobre o uso de aprendizado de máquina (ML) na definição de subtipos e na predição de risco para várias doenças cardiovasculares, incluindo a insuficiência cardíaca. A revisão examinou uma vasta gama de estudos, focando no papel do ML na segmentação de pacientes em subtipos com base em suas características clínicas e biomarcadores, o que é crucial para a personalização do tratamento e a melhora do prognóstico.

Embora o uso de ML tenha demonstrado avanços significativos, permitindo uma maior precisão na estratificação de risco e na definição de subtipos, a revisão aponta algumas limitações importantes. Entre elas, a falta de validação externa adequada, o que impede que os modelos desenvolvidos sejam amplamente aplicáveis em diferentes cenários clínicos. A variabilidade nos métodos empregados também foi uma barreira identificada, pois muitos estudos utilizam abordagens heterogêneas, o que dificulta a comparação direta dos resultados e a padronização de práticas baseadas em ML.

O estudo conclui que, embora os avanços na aplicação de IA e ML em doenças cardiovasculares sejam promissores, ainda são necessários mais esforços para padronizar os modelos, garantir sua validação em diferentes contextos clínicos e, assim, assegurar a eficácia e segurança dessas ferramentas no manejo da insuficiência cardíaca.

IA no Diagnóstico e Prognóstico da IC

Ganesan R, et al. (2024) conduziram uma análise detalhada sobre a aplicação de aprendizado de máquina (ML) na previsão da gravidade da IC, utilizando registros eletrônicos de saúde (EHRs) como base de dados. O algoritmo CatBoost destacou-se por sua alta acurácia na classificação da gravidade da IC, com resultados particularmente eficazes em pacientes classificados nas Classes II e IV da New York Heart Association (NYHA).

Uma das grandes inovações desse estudo foi o uso da técnica SHAP (Shapley Additive Explanations), que permitiu uma maior interpretabilidade dos modelos preditivos, tornando possível compreender quais variáveis influenciaram diretamente as previsões. Variáveis como frequência respiratória, pressão arterial e fração inspirada de oxigênio (FiO₂) foram identificadas como extremamente relevantes para a previsão da gravidade da doença, destacando-se como fatores preditivos críticos.

Embora o estudo demonstre o grande potencial do aprendizado de máquina para melhorar o diagnóstico precoce e a estratificação da IC, os autores alertam sobre a necessidade de validação adicional em diferentes centros de saúde e populações. A validação externa seria essencial para garantir que os resultados alcançados sejam generalizáveis e aplicáveis a diversas configurações clínicas, além de assegurar que a acurácia observada possa ser mantida em diferentes contextos.

No estudo de Muhammed U, et al. (2022), a combinação de IA com a IoT e tecnologias de computação em nuvem possibilitou o desenvolvimento de uma plataforma inovadora para o monitoramento remoto e contínuo de pacientes com insuficiência cardíaca. A IA, por meio da Rede Neural Convolutiva (CNN), demonstrou um desempenho superior em comparação com outros modelos de aprendizado de máquina, como MLP (Multilayer Perceptron), RNN (Recurrent Neural Network) e LSTM (Long Short-Term Memory). Essa tecnologia permitiu a análise em tempo real de dados de saúde coletados remotamente, otimizando o monitoramento e a resposta às mudanças no estado clínico dos pacientes.

No entanto, o estudo apontou algumas limitações importantes: o conjunto de dados utilizado era pequeno e desequilibrado, o que comprometeu o desempenho do treinamento dos modelos. A falta de dados robustos

afetou a capacidade do algoritmo de generalizar os resultados, o que reforça a necessidade de mais estudos com bancos de dados maiores e mais equilibrados para validar a eficácia dessa abordagem em cenários clínicos mais amplos.

O estudo de Kwon J, et al. (2019) focou no desenvolvimento e validação do algoritmo DAHF, baseado em aprendizado profundo, com o objetivo de prever a mortalidade em pacientes com insuficiência cardíaca aguda (ICA). O DAHF demonstrou um desempenho superior quando comparado aos modelos preditivos tradicionais, como o GWTG-HF (Get With The Guidelines-Heart Failure) e o MAGGIC (Meta-Analysis Global Group in Chronic Heart Failure). Embora o DAHF tenha superado esses modelos em precisão preditiva, os autores ressaltam que as variáveis utilizadas estavam restritas ao banco de dados KorAHF (Registro Coreano de Insuficiência Cardíaca), o que limita a generalização dos resultados para populações de outros países ou regiões.

Por fim, Wang K, et al. (2023) avaliaram a efetividade de diferentes modelos de ML na previsão de mortalidade em pacientes com insuficiência cardíaca crônica (ICC), ao longo de três anos. O estudo identificou sete variáveis-chave, como idade, número de hospitalizações, classificação da função cardíaca NYHA, taxa de filtração glomerular e níveis de BNP (Peptídeo Natriurético tipo B), que desempenharam papéis cruciais na avaliação de risco e predição de desfechos adversos.

O uso de técnicas interpretáveis de aprendizado de máquina, como valores SHAP, permitiu aos pesquisadores entender a contribuição individual de cada variável para o resultado predito, proporcionando maior transparência ao modelo. No entanto, o estudo destacou que, apesar de o ML oferecer ferramentas poderosas para a predição de mortalidade, a interpretação clínica dos modelos nem sempre é adequada para orientar decisões médicas de forma direta. Isso pode, em alguns casos, limitar a participação ativa do paciente em seu próprio tratamento, uma vez que o entendimento e a comunicação dos resultados nem sempre são simples.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A IA tem se destacado como uma ferramenta complementar crucial no diagnóstico, monitoramento e prognóstico da IC, especialmente com o avanço da tecnologia na saúde. Algoritmos como machine learning, redes neurais convencionais, Support Vector Machine e K-Nearest Neighbors têm mostrado resultados positivos, possibilitando a identificação de padrões não evidentes em análises tradicionais e contribuindo para a melhoria dos fatores diagnósticos e prognósticos. A combinação da IA com outras tecnologias, como a Internet das Coisas, e o uso de técnicas de aprimoramento, como o SHAP, têm aumentado a eficácia e a interpretabilidade dos modelos. No entanto, apesar de seu grande potencial, ainda são necessários mais estudos para validar esses algoritmos em diferentes cenários de saúde e populações heterogêneas, visando à implementação eficaz da IA na prática clínica.

REFERÊNCIAS

1. AMATIVA B, et al. Machine learning for subtype definition and risk prediction in heart failure, acute coronary syndromes and atrial fibrillation: systematic review of validity and clinical utility. *BMC Medicine*, 2021;19: 85.
2. AMIN H, et al. Future perspective of heart failure care: benefits and bottlenecks of artificial intelligence and eHealth. *Future Cardiology*, 2021; 17(6): 917-921.
3. BANERJEE A, et al. Identifying subtypes of heart failure from three electronic health record sources with machine learning: an external, prognostic, and genetic validation study. *Lancet Digit Health* 2023; 5: 370-79.
4. BOTROS J, et al. CNN and SVM-Based Models for the Detection of Heart Failure Using Electrocardiogram Signals. *Sensors*, 2022; 22: 22239190.
5. CELIK A, et al. The diagnostic value of chest X-ray scanning by the help of Artificial Intelligence in Heart Failure (ART-IN-HF). *Clinical cardiology*, 2023; 46: 1562–1568.
6. FARAH Y, et al. Artificial intelligence in the diagnosis and detection of heart failure: the past, present, and future. *Reviews in cardiovascular medicine*, 2021; 22(4): 1095-1113.
7. FREDERICK ML, et al. Role of Artificial Intelligence and Machine Learning to Create Predictors, Enhance Molecular Understanding, and Implement Purposeful Programs for Myocardial Recovery. *Methodist DeBakey Cardiovasc J*, 2024; 20(4): 76-87.

8. GANESAN R, et al. Explainable Machine Learning Based Prediction of Severity of Heart Failure Using Primary Electronic Health Records. *Studies in health technology and informatics*, 2024; 316: 542-546.
9. GLADDING PA, et al. Multiomics, virtual reality and artificial intelligence in heart failure. *Future cardiology*, 2021; 17(8): 1335-1347.
10. JING L, et al. A Machine Learning Approach to Management of Heart Failure Populations. 2020 By the American College of Cardiology foundation. Published by Elsevier, 2020; 8(7): 578-587.
11. KWON J, et al. Artificial intelligence algorithm for predicting mortality of patients with acute heart failure. *PloS one*, 2019; 14(7): 219302.
12. LANG FM, et al. Role of Artificial Intelligence and Machine Learning to Create Predictors, Enhance Molecular Understanding, and Implement Purposeful Programs for Myocardial Recovery. *Methodist Debaquey Cardiovasc J*, 2024; 20(4): 76-87.
13. MUHAMMED U, et al. IoT Based Smart Monitoring of Patients' with Acute Heart Failure. *Sensors*, 2022; 22(7): 2431.
14. NAGAVELLI U, et al. Machine Learning Technology-Based Heart Disease Detection Models. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022; 2022(1): 7351061.
15. OO MM, et al. Artificial intelligence-assisted automated heart failure detection and classification from electronic health records. *ESC Heart Fail*, 2024; 11(5): 2769-2777.
16. SENAN EM, et al. Score and Correlation Coefficient-Based Feature Selection for Predicting Heart Failure Diagnosis by Using Machine Learning Algorithms. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021; 2021(1): 8500314.
17. TOGO S, et al. Model for classification of heart failure severity in patients with hypertrophic cardiomyopathy using a deep neural network algorithm with a 12-lead electrocardiogram. *Open Heart*, 2023; 10(2): 2414.
18. TOHYAMA T, et al. Machine learning-based model for predicting 1 year mortality of hospitalized patients with heart failure. *ESC heart failure*, 2021; 8(5): 4077-4085.
19. WANG K, et al. Interpretable prediction of 3-year all-cause mortality in patients with heart failure caused by coronary heart disease based on machine learning and SHAP. *Computers in biology and medicine*, 2021; 137: 104813.
20. WU J, et al. Artificial intelligence methods for improved detection of undiagnosed heart failure with preserved ejection fraction. *European Journal of Heart Failure*, 2024; 26(2): 302-310.