

USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO ELETROCARDIOGRAMA NA DETECÇÃO PRECOCE E ESTRATIFICAÇÃO DE RISCO CARDIOVASCULAR: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO ELECTROCARDIOGRAMS FOR EARLY DETECTION AND CARDIOVASCULAR RISK STRATIFICATION: AN INTEGRATIVE REVIEW

Cristiane D'Paula Soares¹, Murilo Ferreira Martins¹, Maria Júlia Rodrigues Barboza¹, José Adelson Alves do Nascimento Júnior².

1.Acadêmico do curso de Medicina da faculdade Afya Faculdade de Ciências Médicas de Garanhuns;

2.Professor do curso de Medicina da Faculdade Afya Faculdade de Ciências Médicas de Garanhuns.

Eixo Temático:01 - Saúde

RESUMO

As doenças cardiovasculares permanecem entre as principais causas de mortalidade mundial, reforçando a necessidade de detecção precoce e estratificação de risco. O eletrocardiograma, exame não invasivo, amplamente disponível e de baixo custo, tem seu potencial ampliado pela inteligência artificial, capaz de identificar padrões não reconhecidos pela interpretação convencional. Objetivou-se analisar evidências sobre o uso da inteligência artificial aplicada ao eletrocardiograma na detecção precoce e estratificação de risco cardiovascular. Realizou-se revisão integrativa, conforme Whittemore e Knafl e PRISMA 2020, com busca na PubMed/MEDLINE entre 2020 e agosto de 2026. Foram incluídos estudos originais com aplicações clínicas da IA-ECG. Dez estudos compuseram a síntese, abordando doenças estruturais, cardiomiopatias, amiloidose, hipertensão pulmonar, fibrilação atrial, valvopatias, doença coronariana e predição de mortalidade. Os modelos apresentaram bom desempenho, porém com heterogeneidade metodológica. Conclui-se que a IA-ECG é promissora, mas requer validação externa, prospectiva e integração segura à prática clínica, antes de sua ampla implementação assistencial.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Eletrocardiografia. Doenças Cardiovasculares. Diagnóstico Precoce. Avaliação de Risco.

ABSTRACT

Cardiovascular diseases remain among the leading causes of mortality worldwide, reinforcing the need for early detection and risk stratification. Electrocardiography, a noninvasive, widely available, and low-cost examination, has had its potential expanded by artificial intelligence, which can identify patterns not recognized by conventional interpretation. This study aimed to analyze evidence on the use of artificial intelligence applied to electrocardiography for early detection and cardiovascular risk stratification. An integrative review was conducted according to Whittemore and Knafl and PRISMA 2020, with a PubMed/MEDLINE search covering 2020 through August 2026. Original studies addressing clinical applications of AI-ECG were included. Ten studies comprised the synthesis, addressing structural heart disease, cardiomyopathies, amyloidosis, pulmonary hypertension, atrial fibrillation, valvular disease, coronary artery disease, and mortality prediction. The models showed good performance, although methodological heterogeneity was observed. AI-ECG is promising but requires external and prospective validation and safe integration into clinical practice before widespread implementation in healthcare.

Keywords: Artificial Intelligence. Electrocardiography. Cardiovascular Diseases. Early Diagnosis. Risk Assessment.

INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares (DCV) constituem um dos principais desafios de saúde pública mundial e permanecem como a principal causa de mortalidade global. Em 2022, estima-se que 19,8 milhões de pessoas tenham morrido em decorrência dessas doenças, correspondendo a aproximadamente 32% das mortes no mundo. Nesse cenário, a

identificação precoce e a estratificação de risco dos indivíduos são fundamentais para possibilitar intervenções oportunas e reduzir complicações e mortes evitáveis (1).

O eletrocardiograma (ECG) destaca-se como exame não invasivo, amplamente disponível e de baixo custo, utilizado na avaliação da atividade elétrica cardíaca. Tradicionalmente, sua interpretação depende da identificação de padrões por profissionais capacitados, podendo apresentar limitações relacionadas à complexidade dos sinais e à variabilidade entre observadores. Entretanto, evidências recentes demonstram que o ECG apresenta informações além daquelas reconhecidas pela interpretação convencional, incluindo padrões associados a alterações estruturais, funcionais e prognósticas cardiovasculares (2).

Nesse contexto, o avanço da inteligência artificial (IA), especialmente por meio de técnicas de aprendizado de máquina e aprendizado profundo, tem ampliado as possibilidades de análise automatizada do ECG. Esses métodos permitem processar grandes volumes de dados e identificar padrões sutis ou não lineares que podem não ser perceptíveis à avaliação humana. Estudos demonstram que algoritmos de IA aplicados ao ECG podem contribuir para a identificação de disfunção ventricular esquerda, fibrilação atrial silenciosa e outras alterações cardiovasculares, além de auxiliar na predição de eventos e estratificação de risco (2–5).

Apesar desses avanços, a aplicação clínica da IA na eletrocardiografia ainda apresenta desafios relacionados à validação dos modelos, generalização dos resultados, qualidade e representatividade dos dados, vieses algorítmicos e interpretabilidade. Dessa forma, torna-se necessário reunir e analisar criticamente as evidências disponíveis sobre sua utilização na detecção precoce e estratificação de risco das DCV. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, as evidências científicas acerca do uso da inteligência artificial aplicada ao eletrocardiograma na detecção precoce e estratificação de risco cardiovascular, considerando suas principais aplicações, desempenho e limitações para a prática clínica.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, conduzida segundo as etapas propostas por Whitemore e Knafl e relatada conforme as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020). A questão norteadora foi: Quais são as evidências científicas disponíveis sobre o uso da inteligência

artificial aplicada ao eletrocardiograma na detecção precoce e estratificação de risco cardiovascular?

A busca foi realizada na base PubMed/MEDLINE, contemplando estudos publicados entre janeiro de 2020 e agosto de 2026. Foram utilizados descritores MeSH e termos livres relacionados à inteligência artificial, eletrocardiografia e doenças cardiovasculares, combinados pelos operadores booleanos AND e OR. A estratégia empregada foi: ("Artificial Intelligence"[Mesh] OR "Machine Learning"[Mesh] OR "Deep Learning" OR "Neural Networks, Computer" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "deep neural network") AND ("Electrocardiography"[Mesh] OR electrocardiogram OR electrocardiograph* OR ECG) AND ("Cardiovascular Diseases"[Mesh] OR "cardiovascular disease*" OR "heart disease*" OR "cardiac disease*") AND ("Early Diagnosis"[Mesh] OR "early diagnos*" OR "early detection" OR screening OR "risk assessment" OR diagnos*). Foram identificados 2.326 registros.

Foram incluídos estudos originais que investigaram a aplicação de IA ao ECG para detecção precoce, rastreamento, diagnóstico, identificação de alterações cardiovasculares subclínicas ou estratificação de risco. Foram excluídas revisões, meta-análises, editoriais, cartas, comentários, protocolos, preprints com publicação posterior correspondente, estudos sem o ECG como elemento central, sem desfecho cardiovascular pertinente ou exclusivamente técnicos, além de duplicatas. A seleção ocorreu por triagem de títulos e resumos, seguida da leitura dos textos completos potencialmente elegíveis. Foram extraídos dados referentes ao desenho do estudo, população, condição cardiovascular, tipo de ECG, técnica de IA, objetivo, métricas de desempenho, validação, resultados e limitações. Os achados foram sintetizados qualitativamente e organizados segundo as principais aplicações da IA-ECG.

RESULTADOS

A busca na PubMed/MEDLINE identificou 2.326 registros. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 10 estudos publicados entre 2021 e 2026 foram incluídos na síntese qualitativa. As pesquisas contemplaram diferentes aplicações da inteligência artificial associada ao eletrocardiograma (IA-ECG), incluindo detecção precoce, rastreamento, diagnóstico e estratificação de risco cardiovascular.

Na detecção precoce e rastreamento, os estudos demonstraram capacidade da IA-ECG de identificar alterações estruturais e funcionais potencialmente não reconhecidas pela interpretação convencional. Dhingra et al. desenvolveram o modelo PRESENT-SHD para rastreamento de múltiplas doenças cardíacas estruturais, com AUROC de 0,886 e validação em diferentes populações (6). Grogan et al. identificaram amiloidose cardíaca por meio do ECG, com AUC de aproximadamente 0,91, enquanto Shrivastava et al. obtiveram AUC de 0,955 para identificação de cardiomiopatia dilatada com fração de ejeção reduzida (7,8). DuBrock et al. demonstraram ainda potencial para detecção de hipertensão pulmonar utilizando ECG de 12 derivações (9).

Para fibrilação atrial, Noseworthy et al. demonstraram prospectivamente que a IA aplicada ao ECG em ritmo sinusal poderia identificar indivíduos com maior probabilidade de apresentar FA, permitindo direcionar o rastreamento (10). Na estratificação de risco, Sau et al. desenvolveram o modelo AIRE, baseado em mais de 1 milhão de ECGs, com capacidade de prever mortalidade, insuficiência cardíaca, doença cardiovascular aterosclerótica e arritmias ventriculares, mantendo desempenho em cinco coortes externas (11).

Quanto às aplicações diagnósticas, Elias et al. demonstraram a capacidade do deep learning de identificar doenças valvares esquerdas, incluindo estenose aórtica e insuficiências aórtica e mitral. Choi et al. encontraram desempenho moderado para doença arterial coronariana obstrutiva, com AUC de 0,693 (12,13). Gustafsson et al. obtiveram C-statistic $\geq 0,95$ para identificação de infarto por oclusão coronariana em mais de 540 mil ECGs de emergência, demonstrando potencial para auxiliar a identificação de pacientes candidatos à reperfusão (14).

Por outro lado, o ensaio clínico pragmático de Adedinsewo et al. avaliou o rastreamento de cardiomiopatias em população obstétrica. Embora a estratégia global de rastreamento tenha aumentado a identificação da doença, o componente específico baseado no ECG não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação ao cuidado usual (15). De forma geral, os estudos demonstraram potencial da IA-ECG para ampliar a detecção e estratificação de risco cardiovascular, embora com desempenho heterogêneo e evidência ainda limitada quanto ao benefício clínico direto de sua implementação.

CONCLUSÃO

As evidências analisadas demonstram que a inteligência artificial aplicada ao eletrocardiograma apresenta potencial relevante para ampliar a capacidade do exame na detecção precoce, rastreamento, diagnóstico e estratificação de risco cardiovascular, permitindo identificar alterações estruturais, funcionais e prognósticas que podem não ser reconhecidas pela interpretação convencional. A revisão contribui para o conhecimento científico ao reunir diferentes aplicações da IA-ECG e evidenciar seu potencial em diferentes condições cardiovasculares, enquanto, na prática clínica, a tecnologia pode auxiliar na identificação de indivíduos de maior risco e no direcionamento de investigações complementares e intervenções oportunas.

Entretanto, a heterogeneidade dos modelos, populações e desfechos, associada às limitações relacionadas à representatividade dos dados, generalização, interpretabilidade e validação clínica, ainda restringe sua incorporação ampla à assistência. Futuras pesquisas devem priorizar validações externas e prospectivas em populações diversas, avaliação do impacto sobre desfechos clínicos e custo-efetividade, além da integração segura dos modelos aos fluxos de cuidado. Assim, o avanço da IA-ECG dependerá não apenas de elevados indicadores de desempenho, mas da demonstração consistente de utilidade clínica, segurança e benefício aos pacientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2025 [cited 2026 Aug 30].
2. Siontis KC, Noseworthy PA, Attia ZI, Friedman PA. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nat Rev Cardiol*. 2021;18(7):465-478. doi:10.1038/s41569-020-00503-2.
3. Attia ZI, Kapa S, Lopez-Jimenez F, McKie PM, Ladewig DJ, Satam G, et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nat Med*. 2019;25(1):70-74. doi:10.1038/s41591-018-0240-2.
4. Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, Asirvatham SJ, Deshmukh AJ, Gersh BJ, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet*. 2019;394(10201):861-867. doi:10.1016/S0140-6736(19)31721-0.
5. Raghunath S, Ulloa Cerna AE, Jing L, vanMaanen DP, Stough J, Hartzel DN, et al. Prediction of mortality from 12-lead electrocardiogram voltage data using a deep neural network. *Nat Med*. 2020;26(6):886-891. doi:10.1038/s41591-020-0870-z.

6. Dhingra LS, Aminorroaya A, Sangha V, Pedroso AF, Shankar SV, Coppi A, et al. Ensemble deep learning algorithm for structural heart disease screening using electrocardiographic images: PRESENT SHD. *J Am Coll Cardiol*. 2025;85(12):1302-1313.
7. Grogan M, Lopez-Jimenez F, Cohen-Shelly M, Dispenzieri A, Attia ZI, Abou Ezzedine OF, et al. Artificial intelligence-enhanced electrocardiogram for the early detection of cardiac amyloidosis. *Mayo Clin Proc*. 2021;96(11):2768-2778.
8. Shrivastava S, Cohen-Shelly M, Attia ZI, Rosenbaum AN, Wang L, Giudicessi JR, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiography to screen patients with dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2021;155:121-127.
9. DuBrock HM, Wagner TE, Carlson K, Carpenter CL, Awasthi S, Attia ZI, et al. An electrocardiogram-based AI algorithm for early detection of pulmonary hypertension. *Eur Respir J*. 2024;64(1):2400192.
10. Noseworthy PA, Attia ZI, Behnken EM, Giblon RE, Bews KA, Liu S, et al. Artificial intelligence-guided screening for atrial fibrillation using electrocardiogram during sinus rhythm: a prospective non-randomised interventional trial. *Lancet*. 2022;400(10359):1206-1212.
11. Sau A, Pastika L, Sieliwonczyk E, Patlatzoglou K, Ribeiro AH, McGurk KA, et al. Artificial intelligence-enabled electrocardiogram for mortality and cardiovascular risk estimation: a model development and validation study. *Lancet Digit Health*. 2024;6(11):e791-e802.
12. Elias P, Poterucha TJ, Rajaram V, Moller LM, Rodriguez V, Bhawe S, et al. Deep learning electrocardiographic analysis for detection of left-sided valvular heart disease. *J Am Coll Cardiol*. 2022;80(6):613-626.
13. Choi SH, Lee HG, Park SD, Bae JW, Lee W, Kim MS, et al. Electrocardiogram-based deep learning algorithm for the screening of obstructive coronary artery disease. *BMC Cardiovasc Disord*. 2023;23(1):287.
14. Gustafsson S, Ribeiro AH, Gedon D, Abreu PEOGB, Pielawski N, Paixão GMM, et al. A deep learning ECG model for identification and localization of occlusion myocardial infarction. *Nat Commun*. 2026;17:4336.
15. Adedinsowo DA, Morales-Lara AC, Afolabi BB, Kushimo OA, Mbakwem AC, Ibiyemi KF, et al. Artificial intelligence guided screening for cardiomyopathies in an obstetric population: a pragmatic randomized clinical trial. *Nat Med*. 2024;30(10):2897-2906. doi:10.1038/s41591-024-03243-9.