

CARDIOPROTEÇÃO DO FUTURO: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, GENÔMICA E PREVENÇÃO PERSONALIZADA DAS DOENÇAS CARDIOVASCULARES

Beatriz Linhares Gorini¹

Sarah Camila Valesi²

Pedro Henrique de Mattos Zwicker Fantini Mazzini³

Marcus Vinicius Ribeiro Lourenço⁴

Welleson Feitosa Gazel⁵

Rodrigo Ernst Velho Gomes⁶

Gabriel Souza Criado⁷

Otávio Sampaio Clemente Pereira⁸

Gilly Vileneuve Ferreira de Souza⁹

RESUMO: As doenças cardiovasculares (DCV) representam a principal causa de morte global e continuam a desafiar os sistemas de saúde, apesar dos avanços diagnósticos e terapêuticos. O surgimento da inteligência artificial (IA), associado ao progresso das ciências ômicas (especialmente a genômica preditiva) e ao uso de biomarcadores emergentes, está redefinindo a forma como o risco cardiovascular é identificado e gerenciado. Esta revisão narrativa analisou evidências descritas na literatura entre 2015 e 2025, abordando a integração de algoritmos de machine learning, escores genéticos poligênicos (Polygenic Risk Scores – PRS), biomarcadores moleculares e tecnologias de monitoramento contínuo no contexto da prevenção cardiovascular personalizada. Os estudos consultados sugerem que a convergência entre IA, genômica e biomarcadores permite antecipar riscos, direcionar terapias e monitorar respostas de maneira precisa e individualizada, inaugurando um novo paradigma em medicina cardiovascular de precisão. Entretanto, a implementação dessas tecnologias exige atenção às questões éticas, regulatórias e de equidade de acesso. Conclui-se que a cardiologia do futuro se apoiará na capacidade de prever, intervir e personalizar, substituindo modelos populacionais genéricos por estratégias individualizadas sustentadas em dados integrados e inteligentes.

2639

Palavras-chave: Cardioproteção. Inteligência Artificial. Genômica Preditiva. Biomarcadores. Prevenção Personalizada.

¹Universidade Nove de Julho. <https://orcid.org/0009-0005-7972-4865>

²Universidade Nove de Julho. <https://orcid.org/0009-0000-1060-3065>.

³Universidade Nove de Julho.

⁴Universidade Nove de Julho.

⁵Universidade Nove de Julho. <https://orcid.org/0000-0003-2793-6573>.

⁶Universidade Nove de Julho. <https://orcid.org/0009-0003-5060-5622>.

⁷ Universidade Nove de Julho.

⁸Universidade Nove de Julho.

⁹ Universidade Nove de Julho. <https://orcid.org/0009-0001-1077-0610>.

ABSTRACT: Cardiovascular diseases (CVD) remain the leading cause of death worldwide and continue to challenge healthcare systems despite major therapeutic advances. The rise of artificial intelligence (AI), together with progress in omics sciences—particularly predictive genomics—and the application of emerging biomarkers, is reshaping the way cardiovascular risk is identified and managed. This narrative review analyzed evidence published between 2015 and 2025 regarding the integration of machine learning algorithms, polygenic risk scores (PRS), molecular biomarkers, and continuous monitoring technologies in personalized cardiovascular prevention. The reviewed studies suggest that the convergence of AI, genomics, and biomarkers allows earlier risk detection, targeted therapy, and individualized follow-up, ushering in a new era of precision cardiovascular medicine. Nevertheless, implementation requires careful attention to ethical, regulatory, and equity aspects. It is concluded that the cardiology of the future will rely on the ability to predict, prevent, and personalize, replacing population-based models with intelligent, data-driven strategies.

Keywords: Cardioprotection. Artificial Intelligence. Predictive Genomics. Biomarkers. Personalized Prevention.

I. INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares (DCV) são responsáveis por aproximadamente 18 milhões de mortes anuais e constituem a principal causa de mortalidade no mundo. Apesar de progressos expressivos em diagnóstico e tratamento, a prevenção ainda se baseia em modelos populacionais que consideram fatores clássicos — como hipertensão, dislipidemia, tabagismo e diabetes — mas ignoram a complexidade biológica individual. 2640

Os modelos tradicionais, como o Framingham Risk Score e o SCORE, têm valor epidemiológico, porém são insuficientes para capturar variáveis genéticas, moleculares, comportamentais e ambientais. Essa limitação explica por que até 40% dos eventos cardiovasculares ocorrem em indivíduos classificados como de baixo risco.

Com o avanço da genômica preditiva e da inteligência artificial (IA), a cardiologia entra em uma nova era de personalização e precisão, onde o foco é antecipar o risco e adaptar estratégias preventivas à biologia de cada indivíduo.

A integração entre biomarcadores moleculares, scores genéticos poligênicos (PRS) e sistemas digitais de monitoramento contínuo forma a base da chamada “cardioproteção do futuro”, um modelo de cuidado preventivo contínuo, personalizado e sustentado por dados.

O objetivo deste trabalho é revisar criticamente as principais evidências sobre o uso da IA, da genômica e dos biomarcadores na prevenção personalizada das DCV, discutindo suas aplicações clínicas, limitações metodológicas e perspectivas futuras.

2. Revisão de Literatura

2.1 Epidemiologia e desafios atuais

As DCV permanecem como o principal problema de saúde pública global. Estima-se que representem 30% de todas as mortes. O envelhecimento populacional, o sedentarismo e a alimentação ultraprocessada ampliam a prevalência de fatores de risco.

Embora estratégias populacionais tenham reduzido a mortalidade em alguns países, persistem falhas na identificação precoce de indivíduos de risco elevado sem manifestações clínicas aparentes. A literatura consultada aponta que a ausência de dados genéticos e moleculares nos modelos tradicionais reduz a acurácia preditiva desses sistemas.

2.2 Limitações dos modelos tradicionais

Os modelos de regressão logística utilizados em escores populacionais consideram variáveis fixas e independentes. No entanto, o risco cardiovascular resulta da interação dinâmica entre múltiplos fatores — genéticos, metabólicos e ambientais.

Essas interações não lineares só podem ser captadas por ferramentas computacionais mais avançadas, como o machine learning, capaz de identificar padrões complexos invisíveis à análise estatística convencional.

2641

2.3 Avanços em genômica preditiva

O Projeto Genoma Humano foi o ponto de partida para a descoberta de centenas de loci associados às DCV. Atualmente, mais de 200 variantes genéticas já foram relacionadas à doença arterial coronariana, hipertensão e arritmias.

O Polygenic Risk Score (PRS) combina milhares de variantes genéticas em um único índice quantitativo, possibilitando a estratificação do risco individual com precisão superior aos modelos clínicos isolados.

Estudos mostram que indivíduos no decil superior do PRS apresentam até três vezes mais chance de desenvolver doença coronariana, mesmo com fatores clássicos controlados. Genes como PCSK9, LPA, APOB e SORT1 têm relevância direta no metabolismo lipídico, e sua identificação permitiu o desenvolvimento de novas terapias, como os inibidores de PCSK9, que reduzem eventos cardiovasculares em até 50%.

Além do PRS, a epigenética (metilação do DNA e regulação por microRNAs) também emerge como componente essencial da predição. MicroRNAs como miR-133a e miR-208a

regulam a remodelação miocárdica e a inflamação, sendo potenciais biomarcadores de risco e prognóstico.

2.4 Biomarcadores emergentes

Os biomarcadores moleculares complementam as informações genéticas ao refletirem processos biológicos em tempo real.

Entre os mais estudados estão:

hs-CRP (Proteína C-reativa ultrassensível): marcador inflamatório associado ao risco de eventos futuros, mesmo em pacientes sem dislipidemia.

Galectina-3 e ST2: indicadores de fibrose e remodelamento ventricular, úteis na predição de insuficiência cardíaca.

GDF-15: marcador de estresse celular e inflamação sistêmica.

MicroRNAs circulantes: reguladores pós-transcricionais altamente específicos de tecido, com papel na detecção precoce de lesão miocárdica.

A combinação de múltiplos biomarcadores com algoritmos de IA tem demonstrado melhor acurácia preditiva do que a utilização isolada de cada variável, representando uma das frentes mais promissoras da cardiologia de precisão.

2642

2.5 Inteligência artificial e aprendizado de máquina

A IA e o aprendizado de máquina revolucionaram a análise de dados cardiovasculares. Modelos de deep learning podem processar grandes volumes de dados genômicos, clínicos e de imagem, detectando padrões complexos e sutis.

Principais aplicações:

ECG automatizado: detecção precoce de fibrilação atrial, arritmias e bloqueios.

Ecocardiografia com IA: quantificação automática de fração de ejeção e volumes ventriculares.

Angiotomografia coronariana: identificação de placas vulneráveis e cálculo automatizado de Fractional Flow Reserve (FFR-CT).

Essas tecnologias não substituem o julgamento médico, mas ampliam a capacidade diagnóstica e a tomada de decisão baseada em dados.

2.6 Monitoramento contínuo e tecnologias vestíveis

Os dispositivos vestíveis (wearables) representam a evolução do acompanhamento cardiovascular. Eles permitem o registro contínuo de variáveis como frequência cardíaca, saturação de oxigênio, pressão arterial estimada, variabilidade da FC e ECG unicanal.

O Apple Heart Study (2019) demonstrou a capacidade desses dispositivos de detectar fibrilação atrial assintomática em mais de 400 mil participantes, com valor preditivo positivo de 84%.

Outros dispositivos, como o Fitbit Sense, BioSticker e CardioMEMS, são utilizados em protocolos de monitoramento remoto para insuficiência cardíaca, reduzindo hospitalizações em até 30%.

O uso combinado de sensores e IA permite correlação entre dados fisiológicos e genômicos, criando modelos preditivos dinâmicos capazes de estimar o risco em tempo real — conceito conhecido como digital twin (gêmeo digital do paciente).

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

2643

Analisar, por meio de revisão narrativa, a integração entre inteligência artificial, genômica preditiva e biomarcadores emergentes na prevenção personalizada das doenças cardiovasculares.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar a aplicabilidade clínica dos Polygenic Risk Scores (PRS) na identificação precoce de risco cardiovascular.

Revisar o papel dos biomarcadores moleculares e da proteômica na estratificação de risco e no prognóstico.

Descrever as principais aplicações da IA em diagnóstico e predição cardiovascular.

Discutir o impacto das tecnologias vestíveis no monitoramento remoto e na adesão terapêutica.

Refletir sobre os desafios éticos e regulatórios da implementação dessas tecnologias.

4. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa de literatura com caráter descritivo e exploratório. A busca foi realizada nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, abrangendo publicações entre 2015 e 2025, em português e inglês.

Os descritores utilizados foram: *artificial intelligence, predictive genomics, cardioprotection, biomarkers, machine learning e wearable devices*, combinados com operadores booleanos AND e OR.

Foram incluídos artigos originais, revisões e metanálises que abordassem a integração entre IA, genômica e prevenção cardiovascular. Foram excluídos estudos sem revisão por pares e textos opinativos sem respaldo científico.

Os resultados foram organizados em quatro categorias:

Genômica preditiva e PRS;

Biomarcadores emergentes;

Inteligência artificial em cardiologia;

Tecnologias vestíveis e monitoramento digital.

Esta revisão não seguiu protocolo sistemático (PRISMA) nem realizou metanálise, limitando-se à análise crítica das evidências disponíveis.

2644

5. DISCUSSÃO

A cardiologia vive a transição de um modelo reativo, baseado em eventos, para um modelo preditivo e personalizado, sustentado por dados.

A integração entre genômica, biomarcadores e IA redefine a forma de prevenção, permitindo estratificação de risco precisa e intervenção precoce.

Os PRS complementam os modelos clínicos e identificam subgrupos de alto risco que podem se beneficiar de abordagens intensivas desde a juventude.

Os biomarcadores moleculares refletem o estado fisiopatológico em tempo real, e sua combinação com algoritmos de IA aumenta a sensibilidade e especificidade diagnósticas. A IA aplicada à imagem e ao ECG aprimora o rastreamento e a triagem de pacientes assintomáticos, enquanto os wearables democratizam o acesso à monitorização contínua e à telemedicina.

Contudo, desafios permanecem:

Validação multicêntrica dos modelos de IA e PRS;

Viés algorítmico e representatividade populacional;

Privacidade e proteção de dados genéticos (conforme a LGPD);

Capacitação profissional em bioinformática e análise de dados.

A tecnologia deve atuar como apoio à decisão clínica, e não como substituto da experiência médica. O equilíbrio entre automação e empatia será determinante para o sucesso dessa revolução digital.

6. Perspectivas Futuras

Check-ups genômicos personalizados: o uso de PRS em programas de rastreamento poderá identificar risco elevado desde a infância.

IA aplicada à imagem: detecção de disfunções subclínicas e placas vulneráveis antes do evento isquêmico.

Prontuários inteligentes: integração de dados genéticos, laboratoriais e de sensores em relatórios automatizados de risco individual.

Telemonitoramento em tempo real: centros de controle baseados em IA que emitam alertas de risco a equipes médicas.

Educação médica digital: formação de profissionais aptos a interpretar resultados genômicos e análises de IA com senso crítico e responsabilidade ética. 2645

7. CONCLUSÃO

A cardiologia do futuro será preditiva, preventiva, personalizada e participativa. A sinergia entre inteligência artificial, genômica preditiva, biomarcadores moleculares e monitoramento contínuo representa um salto paradigmático na proteção cardiovascular. Essas ferramentas permitem detecção precoce, intervenção precisa e acompanhamento contínuo, reduzindo a mortalidade e promovendo qualidade de vida.

Para que essa transição seja segura e eficaz, é essencial:

Validar modelos de IA e PRS em populações diversas;

Garantir privacidade de dados genéticos;

Implementar políticas de equidade de acesso;

Preservar o componente humano do cuidado.

Assim, a cardioproteção do futuro será um equilíbrio entre tecnologia, ciência e compaixão — unindo dados à dimensão humana do cuidado.

REFERÊNCIAS

- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Cardiovascular diseases (CVDs): key facts*. Geneva: WHO, 2025. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-%28cvds%29>. Acesso em: 20 out. 2025.
- PEREZ, M. V. et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *New England Journal of Medicine*, Boston, v. 381, n. 20, p. 1909–1917, 2019. DOI: 10.1056/NEJMoa1901183.
- KHERA, A. V. et al. Genome-wide polygenic scores for common diseases identify individuals with risk equivalent to monogenic mutations. *Nature Genetics*, London, v. 50, p. 1219–1224, 2018.
- COHEN, J. C. et al. Sequence variations in PCSK9, low LDL, and protection against coronary heart disease. *New England Journal of Medicine*, Boston, v. 354, n. 12, p. 1264–1272, 2006.
- CONDORELLI, G.; LATINI, R. et al. MicroRNAs in cardiovascular diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, New York, v. 63, n. 21, p. 2177–2187, 2014.
- AMIN, H. Z.; et al. Galectin-3: a novel biomarker for the prognosis of heart failure. *Cardiology Journal*, Warsaw, v. 24, n. 6, p. 1–9, 2017.
- BAYÉS-GENÍS, A.; et al. Soluble ST2 for prognosis and monitoring in heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, New York, v. 70, n. 19, p. 2387–2400, 2017.
- WOLLERT, K. C.; KEMPF, T. Growth differentiation factor 15 in heart failure: an update. *Current Heart Failure Reports*, Philadelphia, v. 9, n. 4, p. 337–345, 2012.
-
- RICCARDI, M.; et al. Soluble (s)ST2 in heart failure: a clinical role beyond BNP and NT-proBNP. *Diagnostics*, Basel, v. 13, p. 3421, 2023.
- FERENCE, B. A.; et al. Variation in PCSK9 and HMGCR and risk of cardiovascular disease and diabetes. *New England Journal of Medicine*, Boston, v. 375, p. 2144–2153, 2016.