

REMODELAMENTO CARDÍACO INDUZIDO PELO EXERCÍCIO FÍSICO: ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS DO CORAÇÃO DO ATLETA

EXERCISE-INDUCED CARDIAC REMODELING: PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS OF THE ATHLETE'S HEART

Heloisa Maria de Souza Leite Neta¹, Kaylane Beatriz Lima Santana¹, Maria Clara de Hollanda Malta Gaia Cajueiro¹, Maria Beatriz Nunes Bandeira de Melo¹, Jessyca Lane Fausto Lira², Ana Kelly de Vasconcelos Clemente¹

¹ Acadêmica do curso de Medicina da Afya Faculdade de Ciências Médicas de Maceió; ² Professora do curso de Medicina da Afya Faculdade de Ciências Médicas de Maceió.

E-mail da autora principal e correspondente: anaclemente@alunos.afya.com.br

Eixo Temático: 01 – Saúde

RESUMO

O treinamento físico regular promove adaptações cardiovasculares progressivas decorrentes da exposição repetida às alterações hemodinâmicas impostas pelo exercício, fenômeno relacionado ao remodelamento cardíaco fisiológico e à formação do denominado coração do atleta. Objetivou-se analisar as principais adaptações estruturais e funcionais cardiovasculares decorrentes do treinamento físico regular, destacando os mecanismos fisiológicos envolvidos nesse remodelamento. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada na base PubMed/MEDLINE, considerando publicações entre 2020 e 2026, em português ou inglês, envolvendo seres humanos e diretamente relacionadas às adaptações cardíacas fisiológicas associadas ao treinamento. A literatura demonstra que o exercício agudo eleva a demanda metabólica e o débito cardíaco, com participação do aumento do retorno venoso, da pré-carga, do volume sistólico e da frequência cardíaca. A repetição desses estímulos associa-se a modificações crônicas, incluindo aumento proporcional das dimensões das câmaras cardíacas e da massa miocárdica, além de adaptações funcionais e autonômicas que favorecem o desempenho cardiovascular. O padrão de remodelamento é heterogêneo e varia conforme modalidade esportiva, intensidade e volume de treinamento, sexo, tamanho corporal e histórico de treinamento. Conclui-se que o coração do atleta representa uma adaptação fisiológica integrada ao exercício crônico, e não uma alteração anatômica isolada, permitindo maior adequação do sistema cardiovascular às demandas do esforço.

Palavras-chave: Atletas. Exercício. Coração. Adaptação Fisiológica.

ABSTRACT

Regular physical training promotes progressive cardiovascular adaptations resulting from repeated exposure to the hemodynamic changes imposed by exercise, a phenomenon related to physiological cardiac remodeling and the development of the so-called athlete's heart. This study aimed to analyze the main structural and functional cardiovascular adaptations resulting from regular physical training, highlighting the physiological mechanisms involved in this remodeling. This is an integrative literature review conducted in PubMed/MEDLINE, considering publications from 2020 to 2026, in Portuguese or English, involving humans and directly related to physiological cardiac adaptations associated with training. The literature shows that acute exercise increases metabolic demand and cardiac output, with contributions from increased venous return, preload, stroke volume, and heart rate. Repetition of these stimuli is associated with chronic changes, including proportional increases in cardiac chamber dimensions and myocardial mass, as well as functional and autonomic adaptations that support cardiovascular performance. The remodeling pattern is heterogeneous and varies according to sport modality, training intensity and volume, sex, body size, and training history. It is concluded that the athlete's heart represents an integrated physiological adaptation to chronic exercise, rather than an isolated anatomical change, allowing greater cardiovascular adjustment to the demands of physical effort.

Keywords: Athletes. Exercise. Heart. Adaptation, Physiological.

INTRODUÇÃO

O exercício físico impõe ao sistema cardiovascular a necessidade de ajustar continuamente a oferta de oxigênio e nutrientes aos tecidos metabolicamente ativos. Durante o esforço, o aumento da frequência cardíaca e do volume sistólico eleva o débito cardíaco, enquanto alterações no retorno venoso e na resistência vascular contribuem para adequar o fluxo sanguíneo às demandas do organismo. Quando esses estímulos ocorrem de forma repetida ao

longo do treinamento, podem produzir adaptações cardiovasculares persistentes, denominadas remodelamento cardíaco induzido pelo exercício.¹

O conjunto dessas adaptações é tradicionalmente denominado coração do atleta e compreende modificações estruturais e funcionais decorrentes do treinamento repetitivo. Entre os achados descritos estão aumento das dimensões das câmaras cardíacas, mudanças na espessura das paredes e na massa miocárdica, além de ajustes funcionais que acompanham as exigências do exercício.^{2,3} A interpretação desse fenótipo deve considerar o conjunto das alterações e o contexto esportivo, e não uma característica anatômica isolada.

O remodelamento não ocorre de maneira uniforme. Modalidade esportiva, intensidade, duração e volume do treinamento, além de sexo, tamanho corporal e histórico de treinamento, influenciam a magnitude e a distribuição das alterações cardíacas.^{2,4} A compreensão dessa variabilidade é relevante para interpretar o coração treinado como uma resposta fisiológica dinâmica, evitando reduzir o fenômeno à ideia de um coração apenas “maior” ou a modelos rígidos baseados exclusivamente no tipo de exercício.

Diante disso, torna-se relevante integrar os mecanismos hemodinâmicos observados durante o exercício às modificações estruturais e funcionais resultantes do treinamento crônico. Assim, o objetivo desta revisão foi analisar as principais adaptações estruturais e funcionais cardiovasculares decorrentes do treinamento físico regular, destacando os mecanismos fisiológicos envolvidos no remodelamento do coração do atleta.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura com busca estruturada, orientada pela pergunta: “Quais são as principais adaptações estruturais e funcionais cardiovasculares decorrentes do treinamento físico regular que caracterizam o coração do atleta?”. A busca foi realizada na base PubMed/MEDLINE, considerando publicações entre 2020 e 2026. Foram utilizados descritores e termos livres relacionados a *Athletes*, *Exercise*, *Exercise Training*, *Athlete's Heart*, *Cardiac Remodeling* e *Physiological Adaptation*, combinados pelos operadores booleanos AND e OR. Foram considerados estudos em português ou inglês, envolvendo seres humanos, incluindo artigos originais e revisões diretamente relacionados às adaptações cardiovasculares fisiológicas do treinamento. Foram excluídos relatos de caso, editoriais, cartas, estudos exclusivamente experimentais em animais e publicações cujo foco principal não correspondesse ao objetivo proposto. A seleção ocorreu pela leitura de títulos e resumos, seguida da leitura dos textos pertinentes e da verificação de sua aderência à pergunta norteadora. Sete publicações compuseram a síntese final. Os achados foram organizados em

três eixos: resposta hemodinâmica ao exercício, adaptações estruturais e adaptações funcionais/autonômicas.

RESULTADOS

Os estudos analisados convergem para a compreensão do coração do atleta como resultado da exposição repetida a estímulos hemodinâmicos. No exercício agudo, a maior demanda metabólica requer aumento do débito cardíaco, determinado pelo produto entre frequência cardíaca e volume sistólico. O aumento do retorno venoso eleva o volume diastólico final e a pré-carga; pelo mecanismo de Frank-Starling, o maior estiramento das fibras miocárdicas dentro de limites fisiológicos favorece maior força de contração e aumento do volume sistólico.^{1,2} Com a repetição do estímulo, essas respostas agudas participam do processo de adaptação crônica.

No componente estrutural, o treinamento regular pode promover aumento das dimensões das câmaras cardíacas e da massa miocárdica em resposta às demandas impostas. Revisões contemporâneas descrevem adaptações que podem envolver ventrículos e átrios e ressaltam que o padrão depende do estímulo esportivo e das características do atleta.^{2,3} A adaptação não deve ser interpretada segundo uma dicotomia rígida em que exercícios de resistência produziram exclusivamente hipertrofia concêntrica e exercícios de endurance exclusivamente hipertrofia excêntrica, pois muitas modalidades combinam componentes dinâmicos e estáticos e podem apresentar padrões intermediários ou sobrepostos.^{1,2}

As adaptações funcionais acompanham as modificações estruturais. O treinamento está associado a ajustes que favorecem maior volume sistólico e a manutenção de elevado débito cardíaco durante o exercício.^{1,2} A regulação autonômica também participa da adaptação cardiovascular ao treinamento. Em estudo observacional com 330 atletas de elite, Oggionni et al.⁵ verificaram que um índice composto de controle autonômico foi progressivamente maior entre grupos com maior carga estática/dinâmica de treinamento e, entre atletas submetidos a alta carga, apresentou associação com a presença de hipertrofia ventricular esquerda. Esses achados sustentam a participação da modulação autonômica no fenótipo cardíaco do atleta, sem implicar que um único marcador defina essa adaptação.

A magnitude dessas alterações é heterogênea. Diferenças relacionadas ao sexo foram descritas em avaliações não invasivas, demonstrando que a interpretação das dimensões e da função cardíaca deve considerar características individuais.⁴ Em 396 atletas de endurance, Di Gioia et al.⁶ identificaram um espectro de remodelamento que incluiu ausência de alterações estruturais evidentes, remodelamento ventricular, remodelamento atrial predominante e

remodelamento atrioventricular combinado, sem diferenças significativas de função sistólica ou diastólica entre os grupos. A reversibilidade também foi demonstrada por Bramell et al.⁷: após destreinamento prolongado, atletas apresentaram redução dos volumes diastólicos finais dos ventrículos esquerdo e direito e do consumo de oxigênio de pico, mantendo proporcionalidade entre dimensões ventriculares e capacidade aeróbica. Esses resultados são compatíveis com a natureza fisiológica e adaptativa do remodelamento induzido pelo exercício.

Em conjunto, os achados permitem organizar o processo fisiológico em uma sequência integrada: o exercício aumenta a demanda metabólica e modifica as condições hemodinâmicas; o sistema cardiovascular responde com ajustes de frequência cardíaca, retorno venoso, pré-carga, volume sistólico e débito cardíaco; a repetição desses estímulos ao longo do treinamento promove remodelamento estrutural, funcional e autonômico. Assim, o coração do atleta representa um fenótipo adaptativo complexo, cuja expressão depende tanto da carga de treinamento quanto das características do indivíduo.

CONCLUSÃO

As evidências analisadas indicam que o treinamento físico regular promove remodelamento cardíaco fisiológico por meio da repetição de estímulos hemodinâmicos que exigem ajustes do retorno venoso, pré-carga, volume sistólico, frequência cardíaca e débito cardíaco. Em longo prazo, essas respostas associam-se a alterações proporcionais das câmaras cardíacas e da massa miocárdica, além de adaptações funcionais e autonômicas que favorecem a capacidade cardiovascular durante o exercício. O coração do atleta deve, portanto, ser compreendido como uma adaptação integrada e dinâmica, e não como uma modificação anatômica isolada. A heterogeneidade observada entre modalidades e indivíduos reforça a necessidade de considerar carga de treinamento, sexo, tamanho corporal e histórico esportivo na interpretação dessas adaptações. Estudos longitudinais com diferentes populações esportivas podem ampliar a compreensão sobre a evolução e a reversibilidade do remodelamento fisiológico, contribuindo para uma caracterização cada vez mais precisa do coração treinado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Martinez MW, Kim JH, Shah AB, Phelan D, Emery MS, Wasfy MM, et al. Exercise-induced cardiovascular adaptations and approach to exercise and cardiovascular disease: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol.* 2021;78(14):1453-1470. doi:10.1016/j.jacc.2021.08.003.
2. Maxwell JD, Oxborough D. The athlete's heart-from acute stimulus to chronic adaptation. *Br Med Bull.* 2025;153(1):ldae021. doi:10.1093/bmb/ldae021.
3. Lee L, Addetia K, Singh A. Echocardiographic evaluation of the athlete's heart: focused review and update. *Curr Cardiol Rep.* 2022;24(12):1907-1916. doi:10.1007/s11886-022-01812-3.

4. Lasocka-Koriat Z, Lewicka-Potocka Z, Kaleta-Duss A, Siekierzycka A, Kalinowski L, Lewicka E, et al. Differences in cardiac adaptation to exercise in male and female athletes assessed by noninvasive techniques: a state-of-the-art review. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2024;326(5):H1065-H1079. doi:10.1152/ajpheart.00756.2023.
5. Oggionni G, Bernardelli G, Malacarne M, Pagani M, Spataro A, Pelliccia A, et al. Effects of exercise training on left ventricular hypertrophy and cardiac regulation in elite athletes: insight from a composite index proxy of autonomic control. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2026;13(7):304. doi:10.3390/jcdd13070304.
6. Di Gioia G, Squeo MR, Ferrera A, Monosilio S, Mango F, Ortolina D, et al. Predominant atrial remodeling in elite endurance athletes: a rare and un-investigated type of athlete's heart? *Int J Cardiovasc Imaging*. 2025;41(10):1989-1998. doi:10.1007/s10554-025-03503-w.
7. Bramell A, Kjellström B, Mosén H, Dimovski K, Arheden H, Steding-Ehrenborg K. Effects on cardiac dimensions and peak oxygen uptake after long-term deconditioning in elite athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2025;35(5):e70071. doi:10.1111/sms.70071.