

Adaptações cardiovasculares ao treinamento físico: bases fisiológicas e evidências em saúde e doença

Cardiovascular adaptations to physical training: physiological foundations and evidence in health and disease

Adaptaciones cardiovasculares al entrenamiento físico: bases fisiológicas y evidencia en salud y enfermedad

DOI:10.34119/bjhrv9n1-074

Submitted: Dec 12th, 2025

Approved: Jan 5th, 2026

Giovanna Souza de Oliveira

Graduada em Biomedicina

Instituição: Universidade Paulista (UNIP)

Endereço: São Paulo, São Paulo, Brasil

E-mail: giovanna.oliveira102@aluno.unip.br

Giovani Bravin Peres

Doutor em Ciências

Instituição: Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, Universidade Paulista (UNIP)

Endereço: São Paulo, São Paulo, Brasil

E-mail: giovani.peres@fcmssantacasasp.edu.br

Gabriela Pintar de Oliveira

Doutora em Ciências

Instituição: Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, Universidade Paulista (UNIP)

Endereço: São Paulo, São Paulo, Brasil

E-mail: gabriela.pintar@fcmssantacasasp.edu.br

RESUMO

As doenças cardiovasculares permanecem como a principal causa de morbimortalidade no mundo, e o sedentarismo figura entre os principais fatores de risco modificáveis associados a desfechos adversos. Nesta revisão narrativa, buscou-se sintetizar as evidências sobre os efeitos do exercício físico na fisiologia cardiovascular, abrangendo adaptações centrais e periféricas relacionadas à capacidade aeróbica (VO₂máx), às respostas hemodinâmicas agudas e ao remodelamento cardíaco, bem como o impacto dessas adaptações em doenças cardiovasculares. As buscas foram realizadas nas bases MEDLINE, PubMed, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), priorizando publicações dos últimos 20 anos e incluindo estudos originais, revisões e diretrizes. Os estudos analisados demonstram que o treinamento regular, seja ele aeróbio, resistido, intervalado ou combinado, promove aumento do VO₂máx, redução da frequência cardíaca de repouso, melhora do débito cardíaco e da função endotelial, além de favorecer adaptações estruturais cardíacas compatíveis com o chamado “coração de atleta”. Em indivíduos com doença arterial coronariana, insuficiência cardíaca, hipertensão e doença arterial periférica, programas estruturados de exercício e reabilitação cardíaca associam-se a

melhora da capacidade funcional, qualidade de vida, controle de fatores de risco e redução de eventos clínicos. As relações entre dose de exercício e benefício são, em geral, inversas e curvilíneas, com ganhos expressivos ao se migrar do sedentarismo para níveis mínimos de atividade física. Em conjunto, a literatura reforça o exercício físico como intervenção central na prevenção e no tratamento das doenças cardiovasculares, exigindo prescrição individualizada, clinicamente orientada e baseada em evidências.

Palavras-chave: fisiologia do exercício, sistema cardiovascular, adaptações, doenças cardiovasculares, respostas hemodinâmicas.

ABSTRACT

Cardiovascular diseases remain the leading cause of morbidity and mortality worldwide, and physical inactivity is one of the main modifiable risk factors associated with adverse outcomes. This narrative review aimed to synthesize the evidence on the effects of physical exercise on cardiovascular physiology, encompassing central and peripheral adaptations related to aerobic capacity (VO_{2max}), acute hemodynamic responses, and exercise-induced cardiac remodeling, as well as the impact of these adaptations in cardiovascular diseases. Searches were conducted in the MEDLINE, PubMed, SciELO and Virtual Health Library (BVS) databases, prioritizing publications from the last 20 years and including original studies, reviews and guidelines. The analyzed studies show that regular training, whether aerobic, resistance, interval, or combined, promotes increases in VO_{2max} , reductions in resting heart rate, improvements in cardiac output and endothelial function, and favors structural cardiac adaptations consistent with the so-called “athlete’s heart”. In individuals with coronary artery disease, heart failure, hypertension and peripheral arterial disease, structured exercise and cardiac rehabilitation programs are associated with improvements in functional capacity, quality of life, risk factor control and reduction of clinical events. The dose-response relationships between exercise and health benefits are generally inverse and curvilinear, with substantial gains observed when individuals transition from sedentary behavior to minimal recommended levels of physical activity. Overall, the literature reinforces physical exercise as a central intervention for the prevention and treatment of cardiovascular diseases, requiring individualized, clinically guided, evidence-based prescription.

Keywords: exercise physiology, cardiovascular system, adaptations, cardiovascular diseases, hemodynamic responses.

RESUMEN

Las enfermedades cardiovasculares continúan siendo la principal causa de morbimortalidad en el mundo, y el sedentarismo figura entre los principales factores de riesgo modificables asociados a desenlaces adversos. En esta revisión narrativa se buscó sintetizar la evidencia sobre los efectos del ejercicio físico en la fisiología cardiovascular, abarcando adaptaciones centrales y periféricas relacionadas con la capacidad aeróbica ($VO_{2m\acute{a}x}$), las respuestas hemodinámicas agudas y el remodelado cardíaco inducido por el ejercicio, así como el impacto de dichas adaptaciones en las enfermedades cardiovasculares. Las búsquedas se realizaron en las bases de datos MEDLINE, PubMed, SciELO y la Biblioteca Virtual en Salud (BVS), priorizando publicaciones de los últimos 20 años e incluyendo estudios originales, revisiones y guías clínicas. Los estudios analizados demuestran que el entrenamiento regular — ya sea aeróbico, de fuerza, intervalado o combinado — promueve incrementos del $VO_{2m\acute{a}x}$, reducción de la frecuencia cardíaca en reposo, mejoría del gasto cardíaco y de la función endotelial, además de favorecer adaptaciones estructurales cardíacas compatibles con el denominado “corazón de atleta”. En individuos con enfermedad arterial coronaria, insuficiencia cardíaca, hipertensión

arterial y enfermedad arterial periférica, los programas estructurados de ejercicio y rehabilitación cardíaca se asocian con mejoras en la capacidad funcional, la calidad de vida, el control de los factores de riesgo y la reducción de eventos clínicos. Las relaciones dosis-respuesta entre el ejercicio y los beneficios para la salud son, en general, inversas y curvilíneas, con ganancias expresivas al pasar del sedentarismo a niveles mínimos de actividad física. En conjunto, la literatura refuerza al ejercicio físico como una intervención central en la prevención y el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares, requiriendo una prescripción individualizada, clínicamente orientada y basada en la evidencia.

Palabras clave: fisiología del ejercicio, sistema cardiovascular, adaptaciones, enfermedades cardiovasculares, respuestas hemodinámicas.

1 INTRODUÇÃO

A fisiologia do exercício é uma área derivada da fisiologia, caracterizada pelo estudo dos efeitos do exercício físico no corpo humano, sejam eles agudos, crônicos, ou relacionados a estruturas biológicas e funções executadas. As alterações e adaptações fisiológicas decorrentes do exercício dependem de vias bioquímicas e de processos físicos e mecânicos, com efeitos sobre os sistemas cardiorrespiratório, neuromuscular, endócrino e imunológico (Forjaz; Tricoli, 2011). O exercício físico, definido como atividade física planejada, estruturada e repetitiva, compreende diversos tipos de atividades que envolvem o movimento corporal e levam ao aumento do consumo de oxigênio em função das necessidades musculares. Assim, pode ser representado por uma gama de atividades executadas com objetivos variáveis, conforme os resultados desejados por diferentes indivíduos (Monteiro & Sobral Filho, 2004).

O exercício físico promove a quebra da homeostase, uma vez que impõe ao organismo aumento da demanda energética e, conseqüentemente, exige ajustes e adaptações cardiovasculares para sustentar o esforço (Brum *et al.*, 2004). Os efeitos fisiológicos do exercício físico podem ser classificados em agudos imediatos, agudos tardios e crônicos. Os efeitos agudos são aqueles diretamente associados à sessão de exercício: os imediatos ocorrem no período peri e pós-imediato, enquanto os tardios ocorrem durante as primeiras 24 ou 48 horas e, em alguns casos, até 72 horas após o exercício. Os efeitos crônicos, ou adaptações, resultam da prática regular e da exposição repetida às alterações ocasionadas pela atividade física (Monteiro & Sobral Filho, 2004).

A prática regular de atividade física tende a provocar adaptações autonômicas e hemodinâmicas que influenciam o sistema cardiovascular, com o objetivo de manter a homeostase celular. Pode promover angiogênese e aumentar o fluxo sanguíneo para os

músculos esqueléticos e para o músculo cardíaco (Monteiro; Sobral Filho, 2004). Em níveis fisiológicos, os benefícios observados incluem melhora da circulação periférica, aumento do consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), melhora no controle glicêmico, aumento de massa muscular e diminuição de adipócitos, entre outros (Jaguri; Al Thani; Elrayess, 2023).

Alguns benefícios proporcionados pela prática esportiva incluem aumento da resistência ao exercício, perda de peso, redução nos índices de LDL (lipoproteína de baixa densidade), aumento nos índices de HDL (lipoproteína de alta densidade), redução da pressão arterial e aumento da sensibilidade à insulina. As mudanças que ocorrem a longo prazo podem envolver o coração e o sistema cardiovascular (Štursová *et al.*, 2023). Os ajustes no organismo podem ser permanentes ou transitórios, sendo percebidos tanto em exercícios aeróbicos quanto anaeróbicos. Grande parte dos programas de exercício propõe que ambos sejam executados em conjunto, visando melhores resultados (Navas-Enamorado *et al.*, 2017). Práticas anaeróbicas e aeróbicas referem-se ao tipo de metabolismo energético utilizado durante as atividades físicas. O metabolismo aeróbio está relacionado ao consumo de oxigênio molecular (O_2) pelo organismo para gerar energia durante atividades de longa duração e baixa intensidade. Por sua vez, o exercício anaeróbio é realizado quando a oferta de O_2 é baixa, caracterizando-se por atividades de alta intensidade e curta duração, que resultam no acúmulo de ácido lático nos músculos, uma vez que a produção de energia ocorre majoritariamente por fermentação (Jaguri; Al Thani; Elrayess, 2023).

As doenças cardiovasculares ocupam, atualmente, a primeira posição entre as causas de morbidade e mortalidade no mundo (Ciumărnean *et al.*, 2021). Nesse contexto, comportamentos de saúde modificáveis relacionados ao estilo de vida, como a prática regular de atividade física, constituem um dos pilares da prevenção cardiovascular. Há robusta evidência científica de que a atividade física se associa à redução do risco de fatores cardiometabólicos e de desfechos clínicos, e, em indivíduos com doença cardiovascular estabelecida, contribui para atenuar a progressão da doença, reduzir o risco de desenvolvimento de outras condições crônicas e melhorar a qualidade de vida e a capacidade funcional (Perry *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, a compreensão dos mecanismos fisiológicos que regem o funcionamento do sistema cardiovascular e suas adaptações ao exercício físico é essencial. A identificação de alterações agudas e crônicas na frequência cardíaca, pressão arterial e metabolismo energético pode contribuir para um melhor direcionamento das práticas esportivas, tanto para indivíduos saudáveis quanto para aqueles com fatores de risco cardiovascular.

Este artigo de revisão narrativa da literatura tem como objetivo analisar criticamente as evidências científicas sobre os efeitos do exercício físico na fisiologia cardiovascular, descrevendo as adaptações centrais e periféricas relacionadas à capacidade aeróbica ($VO_{2máx}$), às respostas hemodinâmicas agudas e ao remodelamento cardíaco induzido pelo treinamento, bem como discutir o impacto dessas adaptações sobre as doenças cardiovasculares.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, conduzida com o objetivo de sintetizar evidências sobre os efeitos do exercício físico na fisiologia cardiovascular, incluindo capacidade aeróbica ($VO_{2máx}$), respostas hemodinâmicas agudas, remodelamento cardíaco, impacto sobre doenças cardiovasculares.

As buscas foram realizadas nas bases MEDLINE, PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e SciELO, utilizando combinações de descritores em português e inglês relacionados a exercício e sistema cardiovascular, tais como: “fisiologia do exercício”, “sistema cardiovascular”, “doença cardiovascular”, “frequência cardíaca”, “adaptações fisiológicas”, “fisiologia cardiovascular”, “exercise physiology”, “cardiovascular system”, “heart rate”, “physiological adaptations”, “cardiovascular physiology”, “cardiovascular disease”, entre outros termos associados a capacidade aeróbica, remodelamento cardíaco, doenças cardiovasculares e biomarcadores fisiológicos. Foram priorizados artigos publicados nos últimos 20 anos, admitindo-se, contudo, a inclusão de estudos clássicos fora desse intervalo temporal quando considerados fundamentais para a compreensão de conceitos fisiológicos relevantes.

Foram incluídos estudos originais, revisões narrativas e sistemáticas, bem como diretrizes que abordassem: (a) respostas agudas e crônicas do sistema cardiovascular ao exercício aeróbio, resistido, intervalado ou combinado; (b) adaptações centrais e periféricas relacionadas ao $VO_{2máx}$, à hemodinâmica e ao remodelamento cardíaco; e (c) efeitos do exercício em condições clínicas cardiovasculares e em desfechos cardiometabólicos. Foram excluídos trabalhos que não abordavam diretamente o sistema cardiovascular, que tratavam de exercício apenas de forma tangencial ou que não apresentavam dados relevantes para os objetivos da revisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos analisados revelaram padrões adaptativos promovidos pelo exercício físico, contribuindo para a eficiência cardiorrespiratória e adaptações metabólicas, aumento da força muscular, melhora na resistência anaeróbica, modulação da pressão arterial. As adaptações variaram conforme o tipo, a intensidade e a duração dos exercícios (Monteiro; Sobral Filho, 2004; Štursová *et al.*, 2023). O resultado a longo prazo é uma adaptação do organismo que leva a redução do risco de desenvolvimento e morte por doenças cardiovasculares (Štursová *et al.*, 2023). Para adultos saudáveis, o exercício físico é descrito como estratégia importante de prevenção, capaz de promover saúde cardiovascular e reduzir mortalidade geral, com impacto positivo sobre bem-estar fisiológico, psicológico e emocional em atletas e não atletas.

3.1 CAPACIDADE AERÓBICA E DESEMPENHO CARDIORRESPIRATÓRIO

A prática regular de exercício físico provoca diversas respostas fisiológicas e hemodinâmicas que influenciam o sistema cardiovascular, promovendo aumento do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, melhora da circulação sanguínea, aumento de massa muscular e adaptação metabólica (Srivastava *et al.*, 2024). A aptidão cardiorrespiratória é comumente estimada pelo consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{máx}}$), considerado por fisiologistas do exercício um dos indicadores mais confiáveis de condicionamento físico e desempenho cardiorrespiratório, além de predizer a performance em esportes de resistência. O $\text{VO}_{2\text{máx}}$ é descrito como o maior volume de oxigênio consumido durante o exercício, a partir do qual não ocorre incremento adicional na captação de O_2 mesmo com aumento da intensidade, podendo ser expresso em litros de O_2 por minuto ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) ou em mililitros de O_2 por quilograma de peso corporal por minuto ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (Martinez *et al.*, 2021). Esse parâmetro é apontado como referencial internacional de capacidade física (Martinez *et al.*, 2021). Idealmente, a quantificação do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ pressupõe o alcance de um platô da captação de oxigênio, refletindo a integração eficiente entre sistemas nervoso central, cardiopulmonar e metabólico. Contudo, como o exercício incremental nem sempre resulta nesse platô, o $\text{VO}_{2\text{pico}}$, obtido em testes incrementais máximos, tende a ser um indicador confiável do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (Hughes; Ellefsen; Baar, 2018).

Nas últimas décadas, o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ consolidou-se como preditor robusto de desfechos adversos em saúde e de risco de mortalidade por todas as causas, e pode ser aprimorado por meio de exercícios em diferentes níveis de intensidade (Baggish *et al.*, 2017). Estudos apontam efeitos benéficos tanto de protocolos de alta quanto de baixa intensidade na elevação do

VO₂máx (Blagrove; Howatson; Hayes, 2018; Ferrari *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2008), embora ainda haja evidências limitadas quanto à intensidade ótima de treino, sobretudo em atletas. Do ponto de vista prático, transportar oxigênio para os tecidos é uma das funções centrais do sistema cardiovascular. Assim, o consumo de oxigênio aumenta com o esforço, e indivíduos com maior VO₂máx são capazes de utilizar volumes mais elevados de O₂ para sustentar atividades de longa duração (Štursová *et al.*, 2023). O VO₂máx é, portanto, um determinante importante do desempenho em exercícios de resistência e representa uma medida de capacidade cardiorrespiratória em determinado nível de disponibilidade de oxigênio (Martinez *et al.*, 2021).

Diversas variáveis influenciam o VO₂máx, incluindo idade, sexo, genética, composição corporal, condição de treinamento e modalidade de exercício. Do ponto de vista fisiológico, aproximadamente metade do aumento do VO₂máx é atribuída ao incremento do volume sistólico e do débito cardíaco máximo, enquanto a outra metade decorre do aumento da extração de oxigênio pela musculatura ativa, refletida pela elevação da diferença arteriovenosa (Ghosh, 2004; Neufeld *et al.*, 2019; Prieto-González; Sedlacek, 2022; Zimatore *et al.*, 2022). Estímulos aeróbios intensos podem promover expansão significativa da musculatura, aumento da densidade capilar no músculo esquelético e maior número de mitocôndrias, com incremento da capacidade de produzir adenosina trifosfato por fosforilação oxidativa. Um VO₂máx elevado associa-se a maior disponibilidade de energia, melhor desempenho atlético e menores demandas metabólicas sobre o músculo cardíaco, poupando o coração de esforço excessivo e favorecendo o aumento do débito cardíaco quando necessário. Como reflexo dessas adaptações, indivíduos com VO₂máx mais alto tendem a apresentar frequência cardíaca de repouso reduzida, aumento do volume sistólico em repouso, decorrente de hipertrofia fisiológica do músculo cardíaco, melhora do débito cardíaco máximo e maior captação máxima de oxigênio pelos tecidos (Srivastava *et al.*, 2024).

Diversas modalidades de treinamento podem modular o VO₂máx. Protocolos de treinamento resistido com alto número de repetições e curtos intervalos entre séries, classificados como resistência de força com ênfase no metabolismo aeróbio, mostram aumento do VO₂máx, associado a alterações na captação de oxigênio pelos músculos (Souza *et al.*, 2008). Indivíduos que realizam treinamento de resistência por períodos prolongados tendem a apresentar melhor oxigenação muscular e maior resistência, enquanto aqueles que priorizam força enfatizam a hipertrofia e o ganho de força muscular. Programas combinados de força e resistência podem promover aumento semelhante do VO₂máx e hipertrofia adaptativa (Hughes; Ellefsen; Baar, 2018).

As mudanças adaptativas centrais e periféricas dependem da intensidade, duração e frequência do exercício, uma vez que influenciam o recrutamento de unidades motoras, o aumento do volume sistólico, do débito cardíaco máximo, do fluxo sanguíneo periférico, do conteúdo mitocondrial e da densidade capilar no músculo esquelético (Atakan *et al.*, 2021). Nesse contexto, o treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT), caracterizado por sessões que intercalam períodos de trabalho intenso com descanso ou exercício de menor intensidade, tem sido amplamente utilizado tanto por atletas em busca de performance quanto por indivíduos que visam à melhoria da saúde e da qualidade de vida. O HIIT é frequentemente prescrito com intensidade alvo entre 80% e 100% da frequência cardíaca máxima e utiliza parâmetros como percepção subjetiva de esforço, consumo de oxigênio e frequência cardíaca para controle de carga, especialmente em esportes de resistência, como corridas de média e longa distância (Coates *et al.*, 2023). Esse tipo de treinamento promove adaptações conjuntas nos sistemas cardiovascular e respiratório, potencializando as respostas fisiológicas e aumentando a resistência à fadiga (Coates *et al.*, 2023). Em diferentes populações, o HIIT tem se mostrado capaz de produzir aumentos semelhantes ou até superiores no $\text{VO}_{2\text{máx}}$ quando comparado a outras intervenções voltadas à melhora da capacidade aeróbica (Atakan *et al.*, 2021).

A composição corporal também influencia o $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Indivíduos com menor porcentagem de gordura tendem a apresentar valores mais elevados, enquanto maior adiposidade e massa corporal total se associam a reduções do consumo máximo de oxigênio, com impacto negativo no desempenho em esportes de resistência e no nível geral de condicionamento físico (Wiecha *et al.*, 2023). Além disso, resultados de estudos sugerem que o treinamento físico ao longo da vida contribui para atenuar o declínio relacionado à idade da frequência cardíaca máxima e do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, reduzindo a velocidade de perda da capacidade aeróbica (Baggish *et al.*, 2017; Srivastava *et al.*, 2024).

Desta forma, o $\text{VO}_{2\text{máx}}$ está diretamente relacionado à capacidade cardiorrespiratória devido aos processos integrados de captação, transporte e utilização do oxigênio, desempenhando papel central em atividades contínuas ou intermitentes.

3.2 RESPOSTAS HEMODINÂMICAS AGUDAS AO EXERCÍCIO

A compreensão das respostas hemodinâmicas associadas aos diferentes tipos de exercício é fundamental para interpretar as alterações de frequência cardíaca (FC), pressão arterial (PA), débito cardíaco (DC) e resistência vascular periférica (RVP) observadas tanto durante o esforço quanto no período de recuperação.

As respostas cardiovasculares aos exercícios dinâmicos e estáticos apresentam características bem definidas. Os exercícios dinâmicos podem ser caracterizados pela presença de contrações rítmicas de grandes grupos musculares, com predomínio de metabolismo aeróbio. Já os exercícios estáticos consistem em contrações para vencer ou sustentar resistência, com maior componente de força. No exercício dinâmico ou aeróbio, observa-se aumento da FC, do volume sistólico (VS) e do DC, acompanhado de redução da RVP. Esse padrão hemodinâmico resulta em elevação da pressão arterial sistólica (PAS), com manutenção ou redução da pressão arterial diastólica (PAD), sendo atribuído à combinação de vasodilatação na musculatura ativa e aumento da atividade nervosa simpática (Brum *et al.*, 2004). Por sua vez, o exercício estático ou isométrico caracteriza-se por aumento exacerbado da PA, com aumento ou manutenção da RVP. Esse comportamento decorre da obstrução mecânica do fluxo sanguíneo durante a contração sustentada e da ativação de quimiorreceptores musculares, mecanismos que elevam expressivamente a atividade nervosa simpática (Brum *et al.*, 2004).

Na prática, muitas modalidades esportivas combinam, em diferentes proporções, componentes dinâmicos e estáticos. Assim, a resposta cardiovascular observada depende da intensidade, duração e massa muscular envolvida, bem como da contribuição relativa de cada componente. A Tabela 1 apresenta exemplos de esportes classificados de acordo com as contribuições estática e dinâmica.

Tabela 1. Classificação de esportes segundo as contribuições relativas dos componentes estático e dinâmico

		Componente dinâmico		
		Baixo (<50%)	Moderado (50–75%)	Alto (>75%)
Componente estático	Baixo (<10%)	Boliche Golfe Tiro esportivo Yoga	Tênis de mesa Vôlei	Caminhada acelerada Corrida de longa distância Futebol
	Moderado (10–20%)	Arco e flecha Mergulho Hipismo Motociclismo	Atletismo (saltos) Corrida (sprint) Surfe Ultramaratona	Basquete Corrida (meia distância) Natação Handebol Tênis
	Alto (>20%)	Atletismo (lançamentos) Ginástica Artes marciais Levantamento de peso	Fisiculturismo Luta	Boxe Ciclismo Triatlo

Adaptado de (Martinez *et al.*, 2021)

Nesse cenário, os exercícios resistidos, como musculação, ocupam papel de destaque. Quando executados em altas intensidades, embora realizados de forma predominantemente

dinâmica, apresentam componente isométrico elevado, de modo que a resposta cardiovascular se assemelha àquela observada no exercício estático, com aumento da FC e, principalmente, elevação acentuada da PA, que tende a se amplificar à medida que o exercício é repetido (Forjaz *et al.*, 2003).

No período de recuperação, destaca-se a hipotensão pós-exercício (HPE), definida como a redução da PA que se mantém abaixo dos níveis pré-exercício por um período de tempo após o término da sessão. Esse fenômeno é mais evidente e clinicamente relevante em indivíduos hipertensos. Do ponto de vista hemodinâmico, independentemente de o determinante sistêmico predominante ser o DC ou a RVP, a HPE está associada à redução da resistência vascular muscular, atribuída à vasodilatação mantida e à diminuição da atividade nervosa simpática periférica, mensurada por microneurografia. A HPE está bem documentada, sobretudo em resposta a exercícios aeróbios dinâmicos, cíclicos, de intensidade leve a moderada e longa duração (Brum *et al.*, 2004).

Considerando que muitas modalidades combinam componentes estáticos e dinâmicos, diferentes perfis hemodinâmicos podem emergir e direcionar o tipo e o grau de adaptação cardíaca (Brum *et al.*, 2004; Forjaz *et al.*, 2004; Forjaz; Tinucci, 2000). A Tabela 2 resume os principais efeitos hemodinâmicos em exercícios dinâmicos e estáticos, bem como seus mecanismos principais.

Tabela 2. Efeitos hemodinâmicos dos exercícios dinâmico e estático

Tipo de exercício	Efeitos Hemodinâmicos	Mecanismos principais
Dinâmico/Aeróbio	Aumento de FC, VS e DC Redução da RVP Aumento da PAS com manutenção/redução da PAD	Vasodilatação na musculatura ativa devido a metabólitos; Aumento da atividade nervosa simpática desencadeado pelo comando central e mecanorreceptores
Estático/Isométrico	Aumento exacerbado da PA Aumento ou manutenção da RVP	Obstrução mecânica do fluxo sanguíneo pela contração muscular mantida; Acúmulo de metabólitos que ativam quimiorreceptores musculares, promovendo um aumento expressivo da atividade nervosa simpática

Adaptado de (Brum *et al.*, 2004)

Dessa forma, as respostas cardiovasculares ao exercício têm características bem definidas, mas sofrem influência direta da intensidade, duração, massa muscular envolvida e composição estático-dinâmica de cada atividade.

3.3 REMODELAMENTO CARDÍACO E ADAPTAÇÕES CRÔNICAS

As adaptações crônicas induzidas pela atividade física e pelo treinamento estruturado são multifatoriais e constituem importante mecanismo de atenuação do declínio fisiológico relacionado ao envelhecimento, incluindo disfunção mitocondrial crônica, inflamação e resistência à insulina (Izquierdo *et al.*, 2021). O exercício visa manter ou melhorar componentes da aptidão física, como capacidade aeróbica, força e equilíbrio, e essas adaptações dependem da frequência, intensidade e natureza da modalidade praticada, influenciando diretamente o padrão de remodelamento cardíaco, em especial do ventrículo esquerdo (*exercise-induced cardiac remodeling*) (Martinez *et al.*, 2021). A prática regular de atividade física que atinge ou excede as diretrizes vigentes associa-se de forma consistente à redução do risco de doença cardiovascular (DCV) e mortalidade, tendo a melhora da aptidão cardiorrespiratória (CRF) como um dos principais mediadores desses benefícios (Tucker *et al.*, 2022).

O aprimoramento crônico da CRF resulta de adaptações integradas em múltiplos sistemas. No nível central, o treinamento aeróbico prolongado está associado ao aumento do volume diastólico final, da massa ventricular e da complacência da câmara ventricular esquerda, o que se traduz em maior VS e DC durante o esforço máximo (Lavie *et al.*, 2015; Martinez *et al.*, 2021; Tucker *et al.*, 2022). Estima-se que cerca de 50% do aumento do VO₂máx se deva ao incremento do VS/DC, enquanto a parcela restante decorre da maior extração de oxigênio pela musculatura ativa (Srivastava *et al.*, 2024). No nível periférico, o exercício crônico promove adaptações vasculares, como redução da rigidez arterial e melhora da função endotelial mediada por maior produção e biodisponibilidade de óxido nítrico (NO), além de aumento da densidade capilar e da função mitocondrial no músculo esquelético, favorecendo a captação e utilização de O₂ pelos tecidos (Tucker *et al.*, 2022).

Paralelamente, o treinamento físico exerce efeitos favoráveis sobre fatores de risco tradicionais e não tradicionais de DCV. Do ponto de vista metabólico, tanto o treinamento aeróbico quanto o de resistência melhoram a sensibilidade à insulina, sendo que o treinamento resistido aumenta a translocação de transportadores GLUT-4 no músculo esquelético, com reduções da hemoglobina glicada (HbA1c) em torno de 0,6%–0,8% em indivíduos com diabetes tipo 2 (Paluch *et al.*, 2024; Tucker *et al.*, 2022). Hemodinamicamente, o exercício pode reduzir a pressão arterial sistólica em até 4 mmHg em adultos saudáveis e até 6 mmHg em hipertensos, por mecanismos que envolvem menor atividade simpática, reversão parcial da rigidez arterial e diminuição de inflamação sistêmica (Paluch *et al.*, 2024; Tucker *et al.*, 2022).

Ademais, a atividade física regular reduz inflamação crônica de baixo grau e aumenta a fibrinólise (Paluch *et al.*, 2024; Tucker *et al.*, 2022).

Essas adaptações também são centrais no manejo de síndromes geriátricas e distúrbios metabólicos. O treinamento de resistência é considerado tratamento central para sarcopenia, mostrando-se eficaz na prevenção de perda de massa magra e óssea durante programas de perda de peso induzida por dieta (Izquierdo *et al.*, 2021; Paluch *et al.*, 2024). Em idosos frágeis, o treinamento de resistência de alta intensidade aumenta força, potência e mobilidade (Izquierdo *et al.*, 2021). Em pacientes com insuficiência cardíaca (IC), o treinamento aeróbico melhora capacidade de exercício e qualidade de vida, e em alguns estudos o treinamento de HIIT mostrou-se superior ao treinamento contínuo de intensidade moderada na melhora do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ e na reversão do remodelamento ventricular esquerdo em IC com fração de ejeção preservada (Brum *et al.*, 2004; Taylor; Myers; Bonikowske, 2023). Na IC, o exercício também contribui para corrigir disfunções neurovasculares, reduzindo hiperatividade simpática e aumentando o fluxo sanguíneo muscular (Brum *et al.*, 2004).

No sistema nervoso central, o treinamento crônico está associado ao aumento do volume do hipocampo e à melhora da memória espacial, em mecanismos mediados pelo fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) e pelo aumento do fluxo sanguíneo cerebral, sugerindo comunicação cruzada entre músculo e cérebro (Izquierdo *et al.*, 2021; Pedersen; Saltin, 2015). Em termos de longevidade, o exercício regular associa-se de forma consistente à redução de mortalidade por todas as causas e por DCV. Em particular, o treinamento de resistência realizado por 30–60 minutos por semana está relacionado à maior redução de risco de mortalidade (Paluch *et al.*, 2024), e indivíduos com sobrepeso ou obesidade, mas com CRF elevada, podem apresentar risco de mortalidade semelhante ao de indivíduos eutróficos e fisicamente aptos, reforçando a CRF como forte preditor prognóstico a longo prazo (Lavie *et al.*, 2015).

3.4 EXERCÍCIO EM DOENÇAS CARDIOVASCULARES: EVIDÊNCIAS CLÍNICAS

A atividade física é amplamente reconhecida como pilar central na prevenção primária e secundária das doenças cardiovasculares, enquanto a inatividade crônica figura como importante fator de risco modificável associado a desfechos clínicos (Perry *et al.*, 2023; Tucker *et al.*, 2022). Estilo de vida sedentário contribui para baixa CRF, obesidade, dislipidemia, hipertensão e resistência à insulina, aumentando o risco de doença arterial coronariana, acidente vascular cerebral, IC e mortalidade por todas as causas (Perry *et al.*, 2023; Tucker *et al.*, 2022).

Estimativas globais sugerem que parcela substancial da população adulta não atinge as recomendações mínimas de atividade física (AF) e que a inatividade física foi responsável por aproximadamente 9% das mortes prematuras em 2008 (Tucker *et al.*, 2022). Em contraste, níveis de exercício que atendem ou superam as diretrizes estão consistentemente associados à redução do risco de DCV e mortalidade (Perry *et al.*, 2023; Tucker *et al.*, 2022).

Os efeitos cardioprotetores da AF são mediados por múltiplas adaptações já descritas, em que a melhora da CRF se destaca como preditor de prognóstico mais potente do que o nível de AF auto-relatado (Tucker *et al.*, 2022). O treinamento aeróbio crônico promove adaptações cardíacas, vasculares e musculares, resultando em ganhos clinicamente relevantes em pressão arterial, controle glicêmico e perfil lipídico (Tucker *et al.*, 2022). Em termos de dose-resposta, as associações entre AF e risco cardiovascular são tipicamente inversas e curvilíneas, com maior benefício observado na transição do sedentarismo para níveis mínimos de AF. O acúmulo de aproximadamente 8,75 horas semanais em equivalentes metabólicos de tarefa marginais (mMET-h/semana) (equivalente a ~150 minutos/semana de atividade moderada) associa-se a redução de cerca de 29% no risco de mortalidade por DCV (Garcia *et al.*, 2023).

Na prevenção secundária, o exercício integra o tratamento padrão em adição à terapia medicamentosa ótima (Tucker *et al.*, 2022). Em doença arterial coronariana e IC, o treinamento físico estruturado e a reabilitação cardíaca são recomendados como componentes centrais do cuidado, com encaminhamento a programas formais para pacientes elegíveis (Lavie *et al.*, 2015; Pedersen; Saltin, 2015). Em IC com fração de ejeção reduzida, o exercício é recomendação Classe I para pacientes clinicamente estáveis, promovendo aumento da capacidade funcional, melhora da qualidade de vida e redução de hospitalizações (Tucker *et al.*, 2022). Dados da literatura apontam que o HIIT mostra ganhos superiores em VO₂pico e remodelamento ventricular em comparação ao treinamento contínuo de intensidade moderada, embora revisões sistemáticas ressaltem heterogeneidade de resposta, desafios de aderência e necessidade de mais evidências sobre desfechos robustos e segurança em subgrupos específicos (Lavie *et al.*, 2015; Pedersen; Saltin, 2015).

Em hipertensão arterial, sínteses recentes indicam reduções clinicamente relevantes da PA com exercícios aeróbios, de resistência dinâmica e de resistência isométrica, com efeitos mais pronunciados em indivíduos hipertensos. Destaca-se, ainda, o efeito hipotensor agudo pós-sessão, que pode persistir por várias horas, com implicações para o controle pressórico ao longo do dia. Em doença arterial periférica, programas de caminhada de alta intensidade capazes de induzir isquemia moderada têm se mostrado superiores a intervenções revascularizadoras na melhora da distância de marcha (Tucker *et al.*, 2022). O treinamento de resistência também

apresenta papel relevante: está associado a redução aproximada de 17% no risco de DCV em adultos, e o treinamento aeróbico combinado com resistência oferece as maiores reduções de risco de mortalidade por todas as causas e por DCV (40%-46%), em comparação com modalidades isoladas (18%-29%) (Paluch *et al.*, 2024).

Apesar dos benefícios amplamente documentados, a avaliação dos riscos associados ao exercício é fundamental, sobretudo em indivíduos com DCV conhecida ou subclínica. O risco agudo de eventos cardíacos (infarto agudo do miocárdio, morte súbita) é maior durante exercício vigoroso não habitual (≥ 6 METs) em indivíduos sedentários com doença cardiovascular manifesta ou oculta (Franklin *et al.*, 2021). Entretanto, a prática regular de exercício vigoroso reduz substancialmente esse risco, indicando benefício líquido positivo do treinamento habitual. Outra área de atenção refere-se a regimes de resistência de volume e intensidade muito elevados (≥ 2000 horas ao longo da vida), associados em alguns estudos a maladaptações cardíacas, como aumento do risco de fibrilação atrial e aceleração da calcificação coronariana em subgrupos específicos (Franklin *et al.*, 2021). Na prevenção secundária, recomenda-se progressão cuidadosa da intensidade, iniciando-se com treinamento contínuo de intensidade moderada e/ou treinamento de resistência antes de avançar para cargas mais altas, especialmente nas primeiras semanas de programa. Mesmo níveis modestos de exercício devem ser encorajados, pois “mover-se mais e sentar-se menos” já representa ganho clínico relevante (Tucker *et al.*, 2022).

Diante desse conjunto de evidências, a prescrição de exercício deve ser entendida como conduta clínica, devendo ser individualizada conforme objetivos, condição clínica, nível de aptidão e preferências do paciente, com definição de modalidade, frequência, duração e intensidade, além de suporte comportamental e monitorização da resposta (Pedersen; Saltin, 2015). Em geral, algum nível de atividade física é melhor do que nenhum, mesmo abaixo das recomendações formais (Lavie *et al.*, 2015; Pedersen; Saltin, 2015). Ao mesmo tempo, a discussão sobre potenciais riscos em doses extremas reforça a importância de periodização, avaliação clínica e estratificação de risco, especialmente em treinamentos de resistência de alta intensidade.

4 CONCLUSÃO

A síntese da literatura disponível evidencia que o exercício físico exerce efeitos profundos e integrados sobre a fisiologia cardiovascular, abrangendo desde ajustes hemodinâmicos agudos até adaptações estruturais crônicas no coração e na vasculatura. O

aumento do VO_2 máx, a melhora da aptidão cardiorrespiratória e o remodelamento cardíaco fisiológico constituem mecanismos centrais pelos quais o treinamento físico contribui para a redução do risco de desenvolvimento, progressão e desfechos adversos em doenças cardiovasculares. Paralelamente, o exercício atua de forma favorável sobre fatores de risco cardiometabólicos, como pressão arterial, perfil lipídico, resistência à insulina e composição corporal, reforçando seu papel como intervenção de amplo espectro.

Do ponto de vista clínico, as evidências em doença coronariana, insuficiência cardíaca, hipertensão arterial e doença arterial periférica apoiam fortemente a inclusão sistemática de programas estruturados de exercício e reabilitação cardíaca como parte integrante do cuidado, em complementação à terapia medicamentosa otimizada. A relação dose-resposta indica que mesmo volumes moderados de atividade física já se associam a reduções significativas de risco, ao passo que níveis muito elevados e não periodizados de treinamento, especialmente de resistência, podem exigir atenção especial em subgrupos de maior risco, reforçando a necessidade de estratificação e acompanhamento clínico.

REFERÊNCIAS

- ATAKAN, M.M. *et al.* **Evidence-Based Effects of High-Intensity Interval Training on Exercise Capacity and Health: A Review with Historical Perspective.** International Journal of Environmental Research and Public Health, [s. l.], vol. 18, no 13, p. 7201, 2021.
- BAGGISH, A.L. *et al.* **Sports Cardiology.** Journal of the American College of Cardiology, [s. l.], vol. 70, no 15, p. 1902–1918, 2017.
- BLAGROVE, R.C.; HOWATSON, G.; HAYES, P.R. **Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review.** Sports Medicine, [s. l.], vol. 48, no 5, p. 1117–1149, 2018.
- BRUM, P.C. *et al.* **Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular.** Revista Paulista de Educação Física, [s. l.], vol. 18, p. 21–31, 2004. Disponível em: <https://fisiosale.com.br/wp/wp-content/uploads/2019/06/adaptacoes-musculares-ao-exercicio-fisico-2016.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2025.
- CIUMĂRNEAN, L. *et al.* **Cardiovascular Risk Factors and Physical Activity for the Prevention of Cardiovascular Diseases in the Elderly.** International Journal of Environmental Research and Public Health, [s. l.], vol. 19, no 1, p. 207, 2021.
- COATES, A.M. *et al.* **A Perspective on High-Intensity Interval Training for Performance and Health.** Sports Medicine, [s. l.], vol. 53, no S1, p. 85–96, 2023.
- FERRARI, R. *et al.* **Interval training during concurrent training optimizes cardiorespiratory adaptations in women.** Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, [s. l.], vol. 23, 2021.
- FORJAZ, C.L.M. *et al.* **Exercício resistido para o paciente hipertenso: indicação ou contra-indicação.** Revista Brasileira de Hipertensão, [s. l.], vol. 10, no 2, p. 119–24, 2003.
- FORJAZ, C.L.M. *et al.* **Postexercise hypotension and hemodynamics: the role of exercise intensity.** The Journal of sports medicine and physical fitness, [s. l.], vol. 44, no 1, p. 54–62, 2004.
- FORJAZ, C.L.M.; TINUCCI, T. **A medida da pressão arterial no exercício.** Revista Brasileira de Hipertensão, [s. l.], no 1, p. 79–87, 2000. Disponível em: <http://departamentos.cardiol.br/dha/revista/7-1/014.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2025.
- FORJAZ, C.L.M.; TRICOLI, V. **A fisiologia em educação física e esporte.** Revista Brasileira de Educação Física e Esporte, [s. l.], vol. 25, no spe, p. 7–13, 2011.
- FRANKLIN, B.A. *et al.* **Chronic Stress, Exercise and Cardiovascular Disease: Placing the Benefits and Risks of Physical Activity into Perspective.** International Journal of Environmental Research and Public Health, [s. l.], vol. 18, no 18, p. 9922, 2021.
- GARCIA, L. *et al.* **Non-occupational physical activity and risk of cardiovascular disease, cancer and mortality outcomes: a dose–response meta-analysis of large prospective studies.** British Journal of Sports Medicine, [s. l.], vol. 57, no 15, p. 979–989, 2023.

- GHOSH, A.K. **Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport.** The Malaysian journal of medical sciences : MJMS, [s. l.], vol. 11, no 1, p. 24–36, 2004.
- HUGHES, D.C.; ELLEFSEN, S.; BAAR, K. **Adaptations to Endurance and Strength Training.** Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine, [s. l.], vol. 8, no 6, p. a029769, 2018.
- IZQUIERDO, M. *et al.* **International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines.** The Journal of nutrition, health and aging, [s. l.], vol. 25, no 7, p. 824–853, 2021.
- JAGURI, A.; AL THANI, A.A.; ELRAYESS, M.A. **Exercise Metabolome: Insights for Health and Performance.** Metabolites, [s. l.], vol. 13, no 6, p. 694, 2023.
- LAVIE, C.J. *et al.* **Exercise and the Cardiovascular System.** Circulation Research, [s. l.], vol. 117, no 2, p. 207–219, 2015.
- MARTINEZ, M.W. *et al.* **Exercise-Induced Cardiovascular Adaptations and Approach to Exercise and Cardiovascular Disease.** Journal of the American College of Cardiology, [s. l.], vol. 78, no 14, p. 1453–1470, 2021.
- MONTEIRO, M.F.; SOBRAL FILHO, D.C. **Exercício físico e o controle da pressão arterial.** Revista Brasileira de Medicina do Esporte, [s. l.], vol. 10, no 6, p. 513–516, 2004.
- NAVAS-ENAMORADO, I. *et al.* **Influence of anaerobic and aerobic exercise on age-related pathways in skeletal muscle.** Ageing Research Reviews, [s. l.], vol. 37, p. 39–52, 2017.
- NEUFELD, E.V. *et al.* **Heart Rate Acquisition and Threshold-Based Training Increases Oxygen Uptake at Metabolic Threshold in Triathletes: A Pilot Study.** International Journal of Exercise Science, [s. l.], vol. 12, no 2, p. 144–154, 2019.
- PALUCH, A.E. *et al.* **Resistance Exercise Training in Individuals With and Without Cardiovascular Disease: 2023 Update: A Scientific Statement From the American Heart Association.** Circulation, [s. l.], vol. 149, no 3, 2024.
- PEDERSEN, B. K.; SALTIN, B. **Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases.** Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, [s. l.], vol. 25, no S3, p. 1–72, 2015.
- PERRY, A.S. *et al.* **Physical Activity Over the Lifecourse and Cardiovascular Disease.** Circulation Research, [s. l.], vol. 132, no 12, p. 1725–1740, 2023.
- PRIETO-GONZÁLEZ, P.; SEDLACEK, J. **Effects of Running-Specific Strength Training, Endurance Training, and Concurrent Training on Recreational Endurance Athletes' Performance and Selected Anthropometric Parameters.** International Journal of Environmental Research and Public Health, [s. l.], vol. 19, no 17, p. 10773, 2022.

SOUZA, T.M.F. de *et al.* **Efeitos do treinamento de resistência de força com alto número de repetições no consumo máximo de oxigênio e limiar ventilatório de mulheres.** Revista Brasileira de Medicina do Esporte, [s. l.], vol. 14, no 6, p. 513–517, 2008.

SRIVASTAVA, S. *et al.* **Assessment of Maximal Oxygen Uptake (VO2 Max) in Athletes and Nonathletes Assessed in Sports Physiology Laboratory.** Cureus, [s. l.], 2024.

ŠTURSOVÁ, P *et al.* **Sports Activities and Cardiovascular System Change.** Physiological Research, [s. l.], no Suppl. 5, p. S429–S444, 2023.

TAYLOR, J.L.; MYERS, J.; BONIKOWSKE, A.R. **Practical guidelines for exercise prescription in patients with chronic heart failure.** Heart Failure Reviews, [s. l.], vol. 28, no 6, p. 1285–1296, 2023.

TUCKER, W.J. *et al.* **Exercise for Primary and Secondary Prevention of Cardiovascular Disease.** Journal of the American College of Cardiology, [s. l.], vol. 80, no 11, p. 1091–1106, 2022.

WIECHA, S. *et al.* **VO2max prediction based on submaximal cardiorespiratory relationships and body composition in male runners and cyclists: a population study.** eLife, [s. l.], vol. 12, 2023.

ZIMATORE, G. *et al.* **Detecting Metabolic Thresholds from Nonlinear Analysis of Heart Rate Time Series: A Review.** International Journal of Environmental Research and Public Health, [s. l.], vol. 19, no 19, p. 12719, 2022.