

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS PASSO FUNDO
CURSO DE MEDICINA**

LÍDHIA CAINNÃ DE SOUZA ARAÚJO

**EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA CIRCULAÇÃO COLATERAL
CORONÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

PASSO FUNDO, RS

2025

LÍDHIA CAINNÃ DE SOUZA ARAÚJO

**EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA CIRCULAÇÃO COLATERAL
CORONÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Medicina da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus
Passo Fundo-RS, como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Medicina.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Shana Ginar da Silva

Coorientadora: Prof^ª. Esp.^a Roselei Graebin

PASSO FUNDO, RS

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

, Lidhia Cainnã de Souza Araújo
EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA CIRCULAÇÃO COLATERAL
CORONÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA / Lidhia Cainnã de
Souza Araújo . -- 2025.
68 f.:il.

Orientadora: Doutora Shana Ginar da Silva
Co-orientadora: Especialista Roselei Graebin
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Medicina, Passo Fundo,RS, 2025.

I. Silva, Shana Ginar da, orient. II. Graebin,
Roselei, co-orient. III. Universidade Federal da
Fronteira Sul. IV. Título.

LÍDHIA ARAÚJO

**EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA CIRCULAÇÃO COLATERAL
CORONÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Medicina da
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus
Passo Fundo-RS, como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Medicina.

Este Trabalho de Curso foi defendido e aprovado pela banca em 25/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Shana Ginar da Silva
(Orientadora)

Prof. Esp.^a Ronei Marquezan
Avaliador

Prof. Dr. Thiago Fonseca Alves França
Avaliador

Aos que estiveram comigo quando o sonho existia apenas em caneta e papel.

A vocês, que me lembraram que cuidar também é ser cuidado,
deixo minha gratidão, porque nenhuma medicina se faz sozinha.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar nos dias em que faltou força e por me lembrar, com paciência, que tudo tem o seu tempo.

À minha família, por estar comigo desde o primeiro sonho até aqui. Pelo amor, pelo apoio e pela presença que me faz querer ser melhor. Tudo o que sou nasce do que recebi de vocês.

À minha orientadora, Dra. Shana Ginar da Silva, pela atenção, pela confiança e por acreditar no meu potencial mesmo quando eu duvidei.

À minha coorientadora, Roselei da Silva, pela colaboração neste processo.

À minha dupla de revisão, Bethânia Teles, por dividir as tabelas, as dúvidas, as risadas e o aprendizado. Tornar esse caminho conjunto fez tudo ficar mais leve.

Aos professores Ivana Loraine Lindemann e Gustavo Olszanski Acrani, pela forma generosa com que conduzem o Trabalho de Curso, sempre com paciência e disponibilidade.

A todos os colegas que cruzaram essa caminhada e, de alguma forma, fizeram parte dessa construção.

E a mim mesma, por ter seguido em frente, mesmo cansada, e por nunca esquecer o motivo de ter começado.

APRESENTAÇÃO

Trata-se de um Trabalho de Curso (TC), elaborado pela acadêmica Lídhia Cainnã de Souza Araújo, desenvolvido entre o quinto e o sétimo semestre do curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Medicina pela UFFS, campus Passo Fundo (RS). O presente Trabalho possui como orientadora a Prof^a Dr^a Shana Ginar da Silva e como coorientadora Prof^a Esp^a Roselei Graebin. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do exercício físico na formação e funcionalidade da circulação colateral coronária. Durante o quinto semestre, foi elaborado o Projeto de Pesquisa no componente curricular (CCr) Trabalho de Curso I, visando descrever e planejar a estrutura do TC. No sexto semestre, no âmbito do CCr de Trabalho de Curso II, foi desenvolvido o Relatório de Pesquisa, que relata todo o processo da pesquisa, desde a coleta de dados até a análise, com o intuito de obter os resultados das problemáticas levantadas no projeto. Por fim, no CCr de Trabalho de Curso III, realizado no sétimo semestre, e contempla o Artigo Científico, que é uma revisão sistemática baseada na análise crítica dos dados coletados, bem como na redação e discussão dos resultados encontrados durante a pesquisa. Este Trabalho está em conformidade com as normas do Manual de Trabalhos Acadêmicos da UFFS e com o Regulamento de TC do Curso, incluindo os componentes de projeto de pesquisa, relatório de pesquisa e artigo científico.

RESUMO

O presente trabalho consiste em uma revisão sistemática da literatura acerca dos efeitos do exercício físico sobre a circulação colateral coronariana, importante mecanismo compensatório na doença arterial coronariana (DAC) capaz de preservar a perfusão miocárdica em regiões submetidas à isquemia. O estudo teve como objetivo analisar a influência do exercício físico tanto na formação estrutural de novos vasos quanto na funcionalidade da rede colateral pré-existente em pacientes com DAC estável. A pesquisa foi conduzida entre março e novembro de 2025, seguindo as recomendações do PRISMA 2020, com busca nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science. Foram incluídos estudos clínicos que investigaram o impacto do exercício físico, em diferentes modalidades e intensidades, sobre a formação e/ou funcionalidade das colaterais coronarianas em pacientes adultos com DAC estável, sem restrição temporal. As informações extraídas abrangeram delineamento metodológico, tipo de exercício, características da amostra, métodos de avaliação da circulação colateral, incluindo índice de fluxo colateral (CFI), reserva de fluxo coronariano, angiografia, SPECT e PET, além dos principais resultados. A avaliação do risco de viés foi realizada por meio das ferramentas ROB 2 e ROBINS-I. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, foram incluídos 17 estudos, em sua maioria ensaios clínicos não randomizados com amostras predominantemente masculinas acima de 50 anos. Os achados demonstraram que o exercício físico promove melhora significativa da funcionalidade colateral, observada pelo aumento do CFI e pela redução de marcadores de isquemia, como depressão do segmento ST e áreas hipoperfundidas, enquanto não houve evidência consistente de aumento no número ou grau angiográfico de colaterais. Conclui-se que o exercício físico exerce efeito benéfico e consistente sobre a funcionalidade da circulação colateral coronariana, promovendo recrutamento imediato e maior perfusão miocárdica, sem confirmação robusta de formação estrutural de novos vasos.

Palavras-chave: Doença Arterial Coronariana; Circulação Sanguínea Colateral; Circulação Coronária; Atividade Física;

ABSTRACT

The present study consists of a systematic literature review on the effects of physical exercise on coronary collateral circulation, an important compensatory mechanism in coronary artery disease (CAD) that helps preserve myocardial perfusion in ischemic regions. The objective was to analyze the influence of physical exercise on both the structural formation of new vessels and the functionality of the pre-existing collateral network in patients with stable CAD. The research was conducted between March and November 2025, following the PRISMA 2020 guidelines, with searches performed in the PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science databases. Clinical studies investigating the impact of physical exercise, in different modalities and intensities, on the formation and/or functionality of coronary collaterals in adult patients with stable CAD were included, without temporal restriction. Extracted data included study design, exercise type, sample characteristics, and methods used to assess collateral circulation—such as Collateral Flow Index (CFI), coronary flow reserve, angiography, SPECT, and PET—along with the main outcomes. The risk of bias was assessed using the ROB 2 and ROBINS-I tools. After applying the eligibility criteria, 17 studies were included, most of them non-randomized clinical trials with predominantly male samples over 50 years old. The findings demonstrated that physical exercise significantly improves collateral functionality, evidenced by increased CFI and reduced ischemic markers such as ST-segment depression and hypoperfused areas, while no consistent evidence of an increase in the number or angiographic grade of collaterals was observed. It is concluded that physical exercise exerts a beneficial and consistent effect on the functionality of coronary collateral circulation, promoting immediate recruitment and greater myocardial perfusion, without robust confirmation of new vessel formation.

Keywords: Coronary Artery Disease; Collateral Blood Circulation; Coronary Circulation; Physical Activity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DESENVOLVIMENTO	12
2.1 PROJETO DE PESQUISA	12
2.1.1 Tema	12
2.1.2 Problemas	12
2.1.3 Hipóteses	12
2.1.4 Objetivos	13
2.1.5. Justificativa	13
2.1.6 Referencial Teórico	14
2.1.6.1 Circulação Coronária.....	14
2.1.6.2 Circulação Colateral Coronária	15
2.1.6.3 Doença Arterial Coronariana.....	16
2.1.6.4 Atividade Física e Saúde Cardiovascular	16
2.1.6.5 Métodos de Mensuração da Circulação Coronária	18
2.1.6.6 A Relação entre o Exercício Físico e a Circulação Coronária	20
2.1.7 Metodologia	21
2.1.7.1 Tipo de estudo	21
2.1.7.2 Local e período de realização	22
2.1.7.3 População e amostra.....	22
2.1.7.4 Critérios inclusão e exclusão.....	22
2.1.7.5 Fonte de informação.....	23
2.1.7.6 Estratégia de pesquisa	23
2.1.7.7 Avaliação da elegibilidade dos estudos	23
2.1.7.8 Variáveis e procedimentos de seleção dos dados	24
2.1.7.9 Avaliação da qualidade metodológica dos estudos elegíveis	24
2.1.7.10 Resultados esperados.....	25
2.1.7.11 Aspectos éticos.....	25
2.1.8 Recursos	25
2.1.9 Cronograma	26
2.1.10 Referências	27
2.1.10 Apêndices	29

2.1.11 Apêndice 1 – Tabela de extração dos dados dos artigos	29
2.2 RELATÓRIO DE PESQUISA	29
3 ARTIGO CIENTÍFICO	32
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5 ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

A circulação colateral coronariana refere-se a uma rede de anastomoses imaturas preexistentes, que conectam diferentes territórios supridos por artérias coronárias epicárdicas. Essas colaterais, apesar de sua presença inicial, só se desenvolvem plenamente em resposta a períodos prolongados de isquemia tecidual, um mecanismo que visa preservar a perfusão miocárdica diante da obstrução arterial. Estudos iniciais demonstraram a importância dessas conexões vasculares na manutenção da viabilidade do miocárdio comprometido. Contudo, a resposta ao estímulo isquêmico não é uniforme, uma vez que muitos pacientes com angina ou evidências objetivas de isquemia miocárdica não conseguem desenvolver essa rede de vasos colaterais, evidenciando uma variação individual significativa na capacidade de formar tais colaterais coronarianas (Gowdak, 2022).

O exercício físico surge como uma intervenção de destaque, devido ao seu potencial em promover o desenvolvimento e o fortalecimento da circulação colateral coronariana. A prática regular de exercícios aumenta o fluxo sanguíneo através das arteríolas, intensificando as forças de estresse de cisalhamento do fluido (FSS) que atuam sobre as paredes dos vasos. Esse estresse mecânico é um fator crucial na proliferação celular e na remodelação estrutural dos vasos, processos que são particularmente importantes no contexto da Doença Arterial Coronariana (DAC). Assim, o exercício não apenas desempenha um papel preventivo na progressão da DAC, mas também pode diminuir a necessidade de intervenções invasivas, como a revascularização, caso o paciente desenvolva uma circulação colateral (Nickolay et al., 2020).

Embora o exercício físico seja amplamente reconhecido por seus benefícios funcionais diretos, seu impacto sobre os desfechos clínicos em pacientes com algum grau de obstrução arterial ainda precisa ser mais bem compreendido. A intensidade do exercício, em particular, parece ser um fator crucial na indução da circulação colateral, mas as condições ideais para maximizar esses efeitos permanecem pouco claras.

Diante dessa complexidade, torna-se imprescindível realizar uma revisão sistemática que explore os principais efeitos do exercício físico sobre a circulação colateral coronariana. Esta revisão busca aprofundar o entendimento dos mecanismos subjacentes, bem como avaliar o impacto do exercício na formação e funcionalidade da circulação colateral coronariana. Tal

investigação é fundamental para informar as práticas clínicas e oferecer diretrizes mais precisas para o manejo de condições cardiovasculares por meio de intervenções baseadas em exercício físico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 PROJETO DE PESQUISA

2.1.1 Tema

Efeito do Exercício Físico na Circulação Colateral Coronária.

2.1.2 Problemas

Qual o efeito do exercício físico na formação e funcionalidade da circulação colateral coronariana?

Existe diferença em relação a diferentes intensidades do exercício físico, tanto na formação como na funcionalidade da circulação colateral coronária?

2.1.3 Hipóteses

O exercício físico tem efeito positivo na formação da circulação colateral coronária, especialmente em pacientes cardiopatas. Em relação à funcionalidade, o exercício físico também pode melhorar a eficiência dessas colaterais, potencialmente aumentando o fluxo sanguíneo e a perfusão miocárdica em áreas em áreas parcialmente obstruídas ou previamente isquêmicas.

Diferentes intensidades de exercício físico podem ter impactos distintos na formação e funcionalidade da circulação colateral coronária. Exercícios de intensidade leve não interferem de modo significativo no desenvolvimento da circulação colateral coronária. Entretanto, intensidades moderadas a altas podem influenciar positivamente a formação e funcionalidade das colaterais, devido ao aumento da demanda hemodinâmica e ao estímulo ao crescimento vascular por meio da hipóxia.

2.1.4 Objetivos

2.1.4.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos do exercício físico na formação e funcionalidade da circulação colateral coronária.

2.1.4.2 Objetivos Específicos

Sistematizar, entre as evidências disponíveis, a relação entre a intensidade do exercício físico na funcionalidade e na formação da circulação colateral coronariana.

2.1.5. Justificativa

As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no mundo, conforme aponta a Organização Mundial da Saúde (OMS). Entre essas, as doenças isquêmicas, como a doença arterial coronariana (DAC), têm se tornado cada vez mais prevalentes. No entanto, a prática regular de atividade física é uma intervenção não farmacológica comprovadamente eficaz na prevenção de doenças cardiovasculares e na redução da gravidade dessas doenças, mesmo em pacientes que já apresentam a patologia instalada. A adoção de exercícios regulares pode melhorar a função cardiovascular, mitigar as consequências da DAC e em pacientes com a cardiopatia já desenvolvida, pode evitar procedimentos invasivos, como o cateterismo.

Apesar do conhecimento difundido sobre os benefícios da atividade física para a saúde integral, sua importância continua sendo subestimada e frequentemente negligenciada. Segundo a Diretriz da OMS, em 2016, 27,5% dos adultos e 81% dos adolescentes não cumpriam as recomendações de atividade física estabelecidas pela OMS em 2010, refletindo um problema persistente de sedentarismo em grande parte da população mundial. Essa inatividade contribui significativamente para a manutenção e progressão das doenças cardiovasculares.

Diante disso, torna-se essencial aprofundar o estudo sobre os efeitos exercício físico na circulação colateral coronariana, visto que ainda não há nenhuma revisão sistemática que aborde esse tema. Tal investigação não apenas reforça a importância da atividade física na promoção da saúde, mas também pode fornecer bases científicas para determinar recomendações precisas em termos de intensidade dos exercícios, visando maximizar os

benefícios cardiovasculares, especialmente para indivíduos com alto risco de obstrução arterial ou que já convivem com essa condição. Essa abordagem é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de saúde pública mais eficazes e para a orientação de práticas clínicas voltadas à melhoria da qualidade de vida e à redução da mortalidade associada às doenças cardiovasculares.

2.1.6 Referencial Teórico

2.1.6.1 Circulação Coronária

As principais artérias coronárias localizam-se na superfície do coração, de onde se ramificam em pequenas artérias que penetram no músculo cardíaco. É através dessas artérias que o coração recebe a maior parte do seu suprimento sanguíneo, essencial para sua nutrição. A artéria coronária esquerda é responsável por irrigar principalmente as regiões anterior e lateral do ventrículo esquerdo, enquanto a artéria coronária direita abastece a maior parte do ventrículo direito e a parte posterior do ventrículo esquerdo em cerca de 80% a 90% das pessoas (Guyton; Hall, 2011).

A maior parte do sangue venoso que retorna do músculo ventricular esquerdo é drenada para o átrio direito do coração através do seio coronariano, correspondendo a aproximadamente 75% do fluxo venoso coronariano total. O sangue venoso do ventrículo direito retorna em grande parte por meio de pequenas veias cardíacas anteriores, que desembocam diretamente no átrio direito, sem passar pelo seio coronariano. Além disso, uma pequena quantidade de sangue venoso é drenada diretamente nas câmaras cardíacas pelas veias tebesianas (Guyton; Hall, 2011).

Em condições de repouso, o fluxo sanguíneo coronariano em seres humanos é, em média, de cerca de 70 mL/min/100 g de peso cardíaco, totalizando aproximadamente 225 mL/min, o que equivale a cerca de 4% a 5% do débito cardíaco total. Durante exercícios intensos, o débito cardíaco no adulto jovem pode aumentar de quatro a sete vezes, com o coração bombeando contra uma pressão arterial mais elevada. Nesse cenário, o trabalho cardíaco pode ser ampliado em até seis a nove vezes. Paralelamente, o fluxo sanguíneo coronariano aumenta de três a quatro vezes para suprir as demandas nutricionais adicionais do coração (Guyton; Hall, 2011).

2.1.6.2 Circulação Colateral Coronária

A circulação colateral coronariana desempenha um papel vital como uma rota alternativa de suprimento sanguíneo para áreas do miocárdio afetadas por isquemia. Esse sistema de vasos contribui significativamente para a redução de eventos adversos, como infartos e a formação de aneurismas ventriculares, além de melhorar a função ventricular, diminuindo a incidência de futuros eventos cardiovasculares e aumentando as chances de sobrevivência dos pacientes (Seiler, 2010).

O grau de lesão do músculo cardíaco, seja devido ao desenvolvimento progressivo de estenoses ateroscleróticas nas artérias coronárias ou a uma oclusão coronariana súbita, é amplamente influenciado pela capacidade de desenvolvimento da circulação colateral. No coração saudável, a comunicação entre as grandes artérias coronárias é limitada, mas existem várias anastomoses entre as artérias menores. Quando ocorre uma oclusão súbita em uma das grandes artérias, essas anastomoses começam a se dilatar rapidamente, mas inicialmente, o fluxo sanguíneo que elas proporcionam é insuficiente para manter a vitalidade de todo o músculo cardíaco afetado. Contudo, com o passar do tempo, esse fluxo colateral pode aumentar significativamente, permitindo que o coração se adapte à nova condição. Em muitos casos, essa adaptação possibilita uma recuperação quase completa (Guyton; Hall, 2011).

Essa capacidade de adaptação é particularmente importante em pacientes com doença arterial coronariana (DAC). As artérias colaterais, quando bem desenvolvidas, formam uma rede interconectada que melhora a perfusão do miocárdio, reduzindo a ocorrência de eventos adversos, como infartos, e contribuindo para a preservação da função ventricular. No entanto, a eficácia desse sistema de circulação colateral pode ser variável, dependendo de fatores como a vasodilatação e a recanalização de artérias ocluídas, os quais podem afetar a redistribuição do fluxo sanguíneo e aumentar o risco de complicações, como a reestenose após intervenções percutâneas (Seiler, 2010).

Além disso, a investigação de estratégias para otimizar essa circulação colateral tem se intensificado, com destaque para o papel do exercício físico. Estudos experimentais realizados em modelos animais indicam que a prática regular de exercícios pode aumentar significativamente a perfusão do miocárdio através das artérias colaterais. Esse aumento é mediado por mecanismos como a ativação adrenérgica β e a produção de óxido nítrico,

sugerindo que o exercício pode ser uma ferramenta terapêutica promissora para pacientes com DAC, visando melhorar a funcionalidade da circulação colateral e, conseqüentemente, a saúde cardíaca desses indivíduos (Ito et al., 1997).

2.1.6.3 Doença Arterial Coronariana

A Doença Arterial Coronariana (DAC) é uma condição onde placas ateroscleróticas se acumulam nas artérias coronárias, reduzindo ou bloqueando o fluxo sanguíneo para o coração, o que pode causar isquemia cardíaca, ou seja, uma redução da irrigação sanguínea no coração (Lilly & Braunwald, et al., 2012).

A aterosclerose nas coronárias envolve três fatores principais: disfunção endotelial, que altera a resposta dos vasos e promove vasoconstrição; obstrução da artéria por placas; e formação de trombos. Esses fatores, isoladamente ou combinados, podem resultar em insuficiência coronariana (Da Luz e Favarato; 1999).

Conforme a aterosclerose avança, o estreitamento da artéria reduz o fluxo sanguíneo, exigindo que a regulação coronariana se ajuste para manter o equilíbrio entre fluxo e demanda de oxigênio. Com o agravamento da estenose, a capacidade de vasodilatação é esgotada, e a perfusão miocárdica passa a depender da pressão arterial. A isquemia inicialmente ocorre sob estresse físico, mas pode progredir para ocorrer em repouso à medida que a reserva coronariana diminui (Da Luz e Favarato; 1999).

A DAC possui origem multifatorial, com componentes inflamatórios e evolução crônica, manifestando-se de diversas formas clínicas, como angina, insuficiência cardíaca, isquemia silenciosa, isquemia coronária aguda e morte súbita. Cada uma dessas manifestações possui características e mecanismos específicos, refletindo o impacto do processo aterosclerótico e suas complicações (Da Luz e Favarato; 1999).

2.1.6.4 Atividade Física e Saúde Cardiovascular

A atividade física engloba qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos que resulta em gasto de energia. Ela pode ocorrer de diversas formas, como caminhada, ciclismo, prática de esportes e atividades recreativas (dança, ioga, tai chi). Além disso, a atividade física também pode estar presente no trabalho, seja ele remunerado ou não,

em atividades domésticas ou em tarefas como levantar, carregar objetos e cuidar da casa. Embora algumas dessas atividades sejam voluntárias e proporcionem prazer, outras podem ser obrigatórias, como as relacionadas ao trabalho, podendo não oferecer os mesmos benefícios à saúde mental ou social que as atividades recreativas. No entanto, todas as formas de atividade física, se realizadas regularmente e com intensidade e duração adequadas, podem proporcionar benefícios significativos à saúde (OMS, 2018).

O comportamento sedentário, por sua vez, é caracterizado por qualquer atividade realizada em estado de vigília com baixo gasto energético, como sentar ou deitar. Esse comportamento de maneira intensificada está associado a problemas de saúde, como alterações no metabolismo da glicose e aumento do risco de doenças cardiometabólicas, além de estar ligado a uma maior mortalidade geral. A redução do comportamento sedentário, promovendo atividades físicas incidentais como subir escadas ou caminhadas curtas, pode ajudar as pessoas a aumentar gradualmente seus níveis de atividade física até atingir os níveis recomendados para uma saúde ideal (OMS, 2018).

Atualmente, para adultos, são necessários pelo menos 150 minutos semanal de atividade física de intensidade moderada, abrangendo diversas esferas da vida, como trabalho, transporte e recreação. Para adolescentes, a recomendação é de 60 minutos diários de atividade de intensidade moderada a vigorosa (OMS, 2020).

As diretrizes também abordam a relação entre a atividade física e os resultados de saúde, incluindo a existência de uma associação dose-resposta, onde diferentes volumes, durações, frequências e intensidades de atividade física podem influenciar os resultados. De forma geral, os benefícios da atividade física e a redução do comportamento sedentário superam quaisquer riscos potenciais, sendo recomendada a prática gradual e regular, com aumento progressivo da intensidade e duração das atividades ao longo do tempo (OMS,2020).

As intensidades dos exercícios, classificadas com base na taxa metabólica, na frequência cardíaca e na frequência respiratória, podem ser divididas em três categorias: intensidade leve, intensidade moderada e intensidade vigorosa (OMS,2020).

1. Atividades de intensidade leve estão entre 1,5 e 3 múltiplos de equivalentes metabólicos (METs), correspondendo a um custo energético inferior a três vezes o gasto em

repouso. Exemplos incluem caminhar devagar, tomar banho ou realizar atividades leves que não aumentam significativamente a frequência cardíaca ou respiratória (OMS,2020).

2. Atividades de intensidade moderada, em uma escala absoluta, variam entre 3 e menos de 6 vezes o gasto energético em repouso. Em uma escala relativa, essa intensidade é percebida como 5 ou 6 em uma escala de 0 a 10 (OMS,2020).

3. Atividades de intensidade vigorosa envolvem um esforço de 6 METs ou mais e são percebidas como 7 ou 8 em uma escala de 0 a 10 (OMS, 2020).

A escolha do tipo e quantidade de atividade física deve considerar fatores individuais, como gravidez, condições crônicas e incapacidades, sendo recomendada a prática de atividades de intensidade leve a moderada para todos, devido ao seu baixo risco e altos benefícios para a saúde (OMS,2020).

No que se refere à saúde cardiovascular, a atividade física oferece proteção contra doenças cardiovasculares, uma vez que indivíduos mais ativos tendem a desenvolver menos doenças cardíacas. Quando tais doenças se manifestam em pessoas ativas, geralmente ocorrem em uma idade mais avançada e de forma menos grave. Esses benefícios resultam dos efeitos favoráveis do exercício em muitos fatores de risco cardiovascular, como a redução do peso corporal, da pressão arterial e dos níveis de lipoproteína de baixa densidade (LDL), bem como o aumento dos níveis de lipoproteína de alta densidade (HDL). Além disso, o exercício pode melhorar a função dos vasos sanguíneos, a capacidade do corpo de utilizar oxigênio e a qualidade de vida de pacientes com doenças cardíacas. Em pacientes que sofreram ataques cardíacos, um programa de exercícios pode reduzir a taxa de mortalidade em 20% a 25%. Por outro lado, indivíduos sedentários têm um risco 50 vezes maior de eventos cardíacos durante o exercício em comparação com aqueles que se exercitam regularmente (Myers, 2003).

2.1.6.5 Métodos de Mensuração da Circulação Coronária

O cateterismo cardíaco consiste na inserção e passagem de pequenos tubos de plástico (cateteres) através de artérias e veias até o coração, com o objetivo de obter imagens radiográficas das artérias coronárias e das câmaras cardíacas (angiografia e ventriculografia). Além disso, é utilizado para medir as pressões no coração (hemodinâmica). Esse procedimento

é usado tanto para diagnosticar a doença arterial coronariana (DAC), valvulopatias e doenças do miocárdio, quanto para realizar intervenções terapêuticas. As principais indicações para o cateterismo cardíaco incluem o diagnóstico de DAC aterosclerótica, anormalidades na função muscular cardíaca, valvulopatias e doenças cardíacas congênitas (Goldman e Schafer, 2012).

A angiografia coronariana é um exame invasivo que visualiza as artérias coronárias, seus ramos, colaterais e possíveis anomalias, sendo fundamental para o diagnóstico e tratamento da DAC. Antes de uma intervenção coronária percutânea (ICP), o angiograma permite documentar a presença e localização das estenoses, bem como aspectos importantes como proximidade de ramos arteriais, presença de trombos, áreas de calcificação e a existência de suprimento colateral. Esses fatores influenciam diretamente nas decisões e nas técnicas utilizadas para a revascularização (Goldman e Schafer, 2012).

Embora a angiografia coronariana invasiva seja considerada o padrão-ouro no diagnóstico de DAC, há uma tendência crescente de priorizar o uso de métodos de imagem não invasivos no diagnóstico inicial, reservando a angiografia para intervenções terapêuticas (Mangla et al. 2017). Além disso, o Índice de Fluxo Colateral, um sistema de pontuação angiográfica, oferece uma medida mais sensível da circulação colateral coronariana em resposta ao exercício, sendo atualmente considerado o padrão-ouro para avaliar essa circulação (Ambrogetti,2022).

A eletrocardiografia de esforço é um dos métodos mais antigos e fisiológicos para a avaliação de isquemia, baseado em mudanças no eletrocardiograma (EKG) durante o esforço físico. O teste oferece informações prognósticas valiosas e é recomendado para pacientes com probabilidade intermediária de DAC que conseguem se exercitar e têm um EKG interpretável. No entanto, sua especificidade pode ser menor em mulheres, e o teste é inadequado para pacientes com certas condições, como bloqueio de ramo esquerdo (LBBB) ou ritmo de marca-passo ventricular (Mangla et al. 2017).

A imagem de perfusão miocárdica (SPECT/PET) é amplamente utilizada para detectar isquemia induzida por estresse e fornecer informações prognósticas. O SPECT utiliza radioisótopos, como o Tc-99m, para criar imagens tridimensionais do coração, sendo eficaz na detecção de áreas com fluxo sanguíneo reduzido. Já o PET é uma modalidade mais sensível,

capaz de quantificar o fluxo sanguíneo miocárdico absoluto, sendo extremamente preciso na detecção de DAC significativa e na avaliação de viabilidade miocárdica (Mangla et al. 2017).

A ecocardiografia de estresse pode ser realizada com exercício físico ou com a administração de dobutamina para induzir estresse no coração. É uma escolha preferível para pacientes mais jovens, devido à ausência de radiação, e pode avaliar a função ventricular, a pressão arterial pulmonar e outras condições cardíacas. Esse exame tem alta sensibilidade para a detecção de DAC, principalmente em pacientes com doenças multivasculares, além de apresentar um bom valor prognóstico, com baixas taxas de eventos adversos após um teste negativo (Mangla et al. 2017).

A angiotomografia coronária por tomografia computadorizada (CCTA) evoluiu significativamente e agora oferece excelente resolução espacial e temporal para a avaliação não invasiva da anatomia coronária. O CCTA pode identificar estenoses e características das placas, além de fornecer informações funcionais quando combinado com perfusão ou com FFR derivado da tomografia. Entre suas limitações estão a exposição à radiação e a necessidade de controlar a frequência cardíaca para otimizar a qualidade das imagens (Mangla et al. 2017).

A angiografia coronária por ressonância magnética (MRCA) surge como uma opção livre de radiação para a avaliação das artérias coronárias, perfusão miocárdica e viabilidade. A MRCA é uma alternativa promissora em situações específicas, como em crianças ou na avaliação de anomalias coronárias, oferecendo um método seguro e eficaz (Mangla et al. 2017).

2.1.6.6 A Relação entre o Exercício Físico e a Circulação Coronária

O exercício físico promove diversas adaptações que beneficiam a circulação coronária, tanto em termos de estrutura quanto de funcionalidade. Uma das principais alterações é o aumento do fluxo sanguíneo colateral coronário, o que contribui para a correção da disfunção endotelial, retarda a progressão da doença arterial coronariana (DAC) e melhora a funcionalidade dos canais colaterais. Com isso, eleva-se o limiar isquêmico, resultando em maior resistência à isquemia (Möbius-Winkler et al., 2016). Esse efeito se deve principalmente à melhora na vasodilatação e à redução da atividade vasoconstritora, fatores que também podem favorecer o crescimento de vasos colaterais, especialmente em resposta à isquemia (Laughlin; Bowles; Duncker, 2012).

Os vasos colaterais preexistentes desempenham um papel crucial ao serem recrutados durante o exercício, conectando áreas de alta pressão a regiões isquêmicas, onde a pressão é mais baixa. Isso aumenta a velocidade do fluxo sanguíneo, gerando tensão por cisalhamento e promovendo adaptações adicionais, como a formação de novos vasos por angiogênese e o aumento do diâmetro dos vasos capilares por arteriogênese (Möbius-Winkler et al., 2016).

O exercício também induz adaptações estruturais importantes, como o aumento do tamanho das artérias coronárias, a densidade e o diâmetro das arteríolas, além do crescimento da rede capilar. Funcionalmente, ele melhora o controle vasomotor, reduz a resposta vasoconstritora e aumenta a vasodilatação, facilitando uma melhor perfusão do miocárdio (Laughlin; Bowles; Duncker, 2012).

Outro efeito positivo do exercício físico é a melhora da dilatação dependente do endotélio, resultante do aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico (NO), além da modulação do controle neuro-humoral, que reduz a influência adrenérgica em grandes artérias e a aumenta em vasos de resistência (Laughlin; Bowles; Duncker, 2012).

Em indivíduos com DAC, o exercício físico pode melhorar a função endotelial nas artérias coronarianas, apesar de as evidências sobre a regressão ou desaceleração da aterosclerose ainda serem inconclusivas. No entanto, há indícios de que o exercício estimula o crescimento de vasos colaterais coronarianos em situações de isquemia miocárdica induzida, todavia mais estudos são necessários para a consolidação desses resultados (Laughlin; Bowles; Duncker, 2012).

2.1.7 Metodologia

2.1.7.1 Tipo de estudo

Trata-se de uma revisão sistemática, realizada conforme as diretrizes atualizadas do Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 (PAGE et al., 2020) para relatórios de revisões sistemáticas.

2.1.7.2 Local e período de realização

A pesquisa será conduzida no curso de Medicina da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Passo Fundo (RS), entre março e dezembro de 2025.

2.1.7.3 População e amostra

Como se trata de uma revisão sistemática da literatura, a "população-alvo" consistirá em estudos que investigaram os efeitos do exercício físico na circulação colateral coronariana.

Para a definição da amostra, serão incluídos todos os estudos que atenderem aos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo desta revisão sistemática.

2.1.7.4 Critérios inclusão e exclusão

Serão incluídos trabalhos localizados nas bases de dados mencionadas, devidamente classificados como artigos originais e do tipo estudos observacionais (coorte e caso controle) e estudos experimentais.

Os critérios de inclusão serão:

1. Estudos que investiguem os efeitos do exercício físico, em suas diferentes modalidades, na formação e funcionalidade da circulação colateral coronariana, independente do período de publicação.
2. Estudos que analisem a relação entre a intensidade do exercício físico e a funcionalidade e/ou formação da circulação colateral coronariana.
3. Estudos que utilizem o índice de fluxo colateral coronariano (CFI), considerado o padrão ouro para avaliação da circulação colateral coronariana ou outras medidas diretas.
4. Estudos que investiguem a circulação colateral coronariana em pacientes com morbidades cardiovasculares, como a doença arterial coronariana (DAC), devido à necessidade de medição direta do fluxo coronariano, frequentemente realizada por procedimentos invasivos, como o cateterismo cardíaco.

5. Estudos publicados em inglês, português ou espanhol.

Os critérios de exclusão serão:

1. Estudos que analisem pacientes com condições cardíacas que não envolvam a doença arterial coronariana ou que não afetem a circulação colateral, como cardiopatias congênitas.
2. Estudos de revisão sistemática, estudos transversais e relato de caso.

2.1.7.5 Fonte de informação

As bases de dados que serão exploradas no estudo incluem EMBASE, MEDLINE/PubMed e Web of Science. Além dessas, serão realizadas buscas complementares em revistas e periódicos online, como The New England Journal of Medicine, Journal of Scientific Reports, Circulation, Global Cardiology Science & Practice e Arquivos Brasileiros de Cardiologia. Também serão examinadas as listas de referências dos artigos selecionados na revisão, para identificar estudos adicionais relevantes.

2.1.7.6 Estratégia de pesquisa

A busca será realizada de forma independente em cada base de dados, utilizando as seguintes palavras-chave: *coronary artery disease*, *coronary circulation*, *collateral circulation* e *exercise*. Esses termos serão pesquisados tanto isoladamente quanto em combinações, por exemplo: *coronary artery disease AND coronary circulation AND collateral circulation AND exercise*. Apenas estudos publicados em inglês, espanhol e português serão incluídos. O processo de busca será conduzido por dois pesquisadores de forma independente, e qualquer divergência será resolvida por consenso. Caso haja discordância, um terceiro avaliador será consultado. Assim que o projeto for finalizado, o estudo será registrado no PROSPERO, base internacional de revisões sistemáticas ([PROSPERO \(york.ac.uk\)](http://PROSPERO.york.ac.uk)).

2.1.7.7 Avaliação da elegibilidade dos estudos

A elegibilidade dos estudos foi verificada em três etapas sequenciais: inicialmente, pela leitura dos títulos; em seguida, pela análise dos resumos; e, por

fim, pela avaliação dos textos completos dos manuscritos potencialmente relevantes. Nesta última etapa, os estudos foram examinados de acordo com um formulário padronizado, aplicando rigorosamente os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

2.1.7.8 Variáveis e procedimentos de seleção dos dados

A busca nas bases de dados ocorrerá no período de março a maio de 2025. Os dados extraídos dos artigos serão transferidos para um uma planilha eletrônica, conforme a classificação abaixo (apêndice 1):

1. Título de artigo
2. Autor principal
3. Periódico
4. Ano de publicação
5. País de realização do estudo
6. Delineamento do estudo
7. Tamanho da amostra
8. Faixa etária
9. Adesão de exercício físico
10. Tipo de exercício físico
11. Intensidade do exercício físico
12. Duração do programa de exercícios
13. Presença do índice de fluxo colateral (CFI)
14. Outra medida do fluxo colateral coronariana
15. Morbidade(s) presentes no paciente
16. Desfechos clínicos observados (saturação, frequência cardíaca, pressão arterial)
17. Efeitos adversos durante o exercício
18. Principais resultados
19. Análise estatística utilizada

2.1.7.9 Avaliação da qualidade metodológica dos estudos elegíveis

Serão aplicadas escalas de avaliação da qualidade metodológica para avaliar o rigor metodológico dos estudos, de acordo com a ferramenta A Measurement Tool to Assess

Systematic Reviews (AMSTAR 2), que é amplamente utilizada para a avaliação da qualidade de revisões sistemáticas e meta-análises, assegurando uma análise criteriosa da validade e confiabilidade dos estudos incluídos ([AMSTAR - Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews](#)).

2.1.7.10 Resultados esperados

Espera-se encontrar que a prática de exercício físico esteja associada a um aumento significativo na formação de circulação colateral coronariana; uma melhoria na funcionalidade do fluxo colateral, avaliada pelo Índice de Fluxo Colateral (CFI); e que a intensidade do exercício seja um fator preditor importante para essas melhorias. Também é esperado observar mudanças favoráveis em parâmetros hemodinâmicos, como pressão arterial e frequência cardíaca, em resposta ao exercício. Por fim, espera-se que a realização regular de exercícios físicos esteja correlacionada a uma redução na incidência de eventos cardiovasculares adversos, como angina e infarto do miocárdio, além de proporcionar melhorias na capacidade funcional e na qualidade de vida dos pacientes.

2.1.7.11 Aspectos éticos

Esta revisão sistemática baseou-se exclusivamente em dados secundários disponíveis na literatura científica, sem envolver a coleta de novos dados ou interação direta com seres humanos ou animais. Os estudos incluídos foram avaliados quanto à conformidade com padrões éticos, como aprovação por comitê de ética e obtenção de consentimento informado, quando aplicável. Dessa forma, esta revisão não exigiu submissão a um comitê de ética em pesquisa, conforme previsto na Resolução nº 510/2016, que dispensa a necessidade de aprovação ética para estudos que utilizam dados secundários sem identificação dos participantes.

2.1.8 Recursos

Os recursos utilizados na elaboração do estudo serão custeados pela equipe de pesquisa.

A descrição do orçamento se encontra no Quadro 1.

Redação do Artigo										
Apresentação do Trabalho de Curso										

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

2.1.10 Referências

AMBROGETTI, R. The effects of exercise on coronary collateral circulation: a review. *Cureus*, v. 14, n. 12, e32732, 20 dez. 2022. DOI: 10.7759/cureus.32732. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9771523/>. Acesso em: 24/08/2024.

GOLDMAN, L.; SCHAFER, A. I. (Eds.). *Cecil: Tratado de Medicina Interna*. 24. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GOWDAK, L. H. W. Outro ator no aumento da circulação colateral no coração – Outro potencial alvo terapêutico na medicina cardiovascular?. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 119, n. 3, p. 411-412, 2022. DOI: 10.36660/abc.20220558. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/Wbsmys5h6BcpnPB3VmBmsrf/>. Acesso em: 28/08/2024.

GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. *Tratado de fisiologia médica*. 12. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ITO, W. D. et al. Monocyte chemotactic protein-1 increases collateral and peripheral conductance after femoral artery occlusion. *Circulation Research*, v. 80, n. 6, p. 829-837, jun. 1997. DOI: 10.1161/01.res.80.6.829. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9168785/>. Acesso em: 24/08/2024.

LAUGHLIN, M. H.; BOWLES, D. K.; DUNCKER, D. J. The coronary circulation in exercise training. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, v. 302, n. 1, p. H10-H23, 2012. DOI: 10.1152/ajpheart.00574.2011. Disponível em: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpheart.00574.2011>. Acesso em: 28/08/2024.

LILLY, L. S & BRAUNWALD, E.. Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine. *Elsevier Health Sciences*, 2012.

LUZ, P. L. da; FAVARATO, D. Chronic coronary artery disease. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 72, n. 1, p. 22-38, jan. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0066-782X1999000100002>. Acesso em: 27/08/2024.

MANGLA, A.; OLIVEROS, E.; WILLIAMS, K. A. Sr.; KALRA, D. K. Cardiac Imaging in the Diagnosis of Coronary Artery Disease. *Current Problems in Cardiology*, v. 42, n.

10, p. 316-366, out. 2017. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2017.04.005. Disponível em: Cardiac Imaging in the Diagnosis of Coronary Artery Disease - PubMed (nih.gov). Acesso em: 24/08/2024.

MÖBIUS-WINKLER, S.; UHLEMANN, M.; ADAMS, V.; SANDRI, M.; ERBS, S.; LENK, K.; MANGNER, N.; MUELLER, U.; ADAM, J.; GRUNZE, M.; BRUNNER, S.; HILBERG, T.; MENDE, M.; LINKE, A. P.; SCHULER, G. Coronary collateral growth induced by physical exercise: results of the impact of intensive exercise training on coronary collateral circulation in patients with stable coronary artery disease (EXCITE) trial. *Circulation*, v. 133, n. 15, p. 1438-1448, 2016. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016442. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26979085/>. Acesso em: 16/09/2024.

MYERS, Jonathan. Exercise and cardiovascular health. *Circulation*, v. 107, p. e2-e5, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000048890.59383.8D>. Acesso em: 18/09/2024.

NICKOLAY, T.; NICHOLS, S.; INGLE, L.; HOYE, A. Exercise training as a mediator for enhancing coronary collateral circulation: a review of the evidence. *Current Cardiology Reviews*, v. 16, n. 3, p. 212-220, 2020. DOI: 10.2174/1573403X15666190819144336. Disponível em: Exercise Training as a Mediator for Enhancing Coronary Collateral Circulation: A Review of the Evidence - PubMed (nih.gov). Acesso: 28/08/2024.

NORTON, Kevin; NORTON, Lynda; SADGROVE, Daryl. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 13, n. 5, p. 496-502, 2010. ISSN 1440-2440. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.008>. Acesso em: 28/08/2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Diretrizes da OMS sobre atividade física e comportamento sedentário. **Genebra: Organização Mundial da Saúde**, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>. Acesso em: 28/08/2024.

SEILER, C. The human coronary collateral circulation. *European Journal of Clinical Investigation*, v. 40, n. 5, p. 465-476, maio 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2362.2010.02282.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20534067/>. Acesso em: 24/08/2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global action plan on physical activity 20182030: more active people for a healthier world. **Geneva: WHO**, 2018. 101 p.12-14. Disponível em: Action plan (who.int). Acesso em: 28/08/2024.

2.1.10 Apêndices

2.1.11 Apêndice 1 – Tabela de extração dos dados dos artigos

Autor, ano, país, periódico	Delineamento do estudo	Tamanho da amostra	Faixa etária	Adesão de exercício físico	Tipo, intensidade e duração do exercício físico	Presença do índice de fluxo colateral (CFI)	Outra medida do fluxo colateral coronariana	Morbidade(s) presentes no paciente	Desfechos clínicos observados	Efeitos adversos durante o exercício	Principais resultados	Análise estatística utilizada
Artigo 1												
Artigo 2												
Artigo n												

2.2 RELATÓRIO DE PESQUISA

Como proposto no Componente Curricular Trabalho de Curso I, cursado no quinto semestre acadêmico de 2024/2, foi desenvolvido o projeto de pesquisa intitulado “Efeitos do exercício físico na circulação colateral coronariana: uma revisão sistemática”, pela acadêmica Lídhia Cainnã de Souza Araújo, sob a orientação de Shana Ginar da Silva e coorientação de Roselei Graebin.

A escolha deste tema decorre do interesse em investigar intervenções não farmacológicas, como o exercício físico, capazes de promover adaptações cardiovasculares benéficas, com foco especial no desenvolvimento da circulação colateral coronariana, importante mecanismo compensatório na Doença Arterial Coronariana (DAC).

A opção por realizar uma revisão sistemática partiu do desejo de aprofundar os conhecimentos na área da medicina baseada em evidências, bem como de explorar criticamente a literatura científica sobre um tema relevante, mas ainda não consolidado. A prática regular de atividade física, amplamente reconhecida por seus efeitos positivos sobre a saúde cardiovascular, pode induzir alterações estruturais e funcionais na vasculatura coronariana, favorecendo a formação de vasos colaterais. Tais mudanças têm o potencial de reduzir a isquemia, melhorar a perfusão miocárdica e, em alguns casos, evitar intervenções invasivas.

O desenvolvimento da pesquisa seguiu as etapas definidas no Regulamento de Trabalho de Curso da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). No CCr Trabalho de Curso I, desenvolveu-se o projeto de pesquisa com a elaboração do protocolo para a revisão sistemática. No CCr de TC II, cursado no semestre acadêmico de 2025/1, foram realizadas a atualização do referencial bibliográfico, todo o processo de identificação e seleção dos artigos nas bases de dados a partir da estratégia de busca definida, e a análise dos critérios de elegibilidade.

Com o objetivo de garantir o rigor metodológico, a revisão sistemática está sendo conduzida conforme as diretrizes atualizadas do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020). A busca foi realizada nas bases de dados MEDLINE/PubMed, Scopus e Web of Science, complementadas por revistas científicas específicas e listas de referências. Importante destacar que a base Scopus foi utilizada em substituição à EMBASE, originalmente prevista no projeto, em razão da limitação de acesso gratuito a esta base pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O processo de seleção foi conduzido por dois pesquisadores de forma independente, com a resolução de divergências por um terceiro avaliador.

O processo de exclusão dos artigos foi realizado de forma sequencial e fundamentada, conforme as etapas de triagem. Na fase inicial de leitura dos títulos, foram excluídos os estudos que evidentemente não abordavam o tema da pesquisa, como aqueles não relacionados ao exercício físico, à circulação colateral coronariana ou à doença arterial coronariana. Também foram excluídos nessa etapa os estudos de revisão sistemática, relatos de caso, estudos transversais e pesquisas com modelos animais. Durante a análise dos resumos, foram excluídos os artigos que, com base nas informações mais detalhadas, não investigavam os efeitos do exercício físico na circulação colateral coronariana, que não envolviam pacientes com doença arterial coronariana, que não correlacionava o exercício a circulação colateral coronariana ou que não utilizavam medidas de avaliação da circulação colateral, seja direta ou indireta. Na leitura completa, os artigos foram avaliados minuciosamente para verificar o cumprimento integral dos critérios de inclusão, sendo excluídos aqueles que não apresentavam medidas diretas da circulação colateral, que avaliavam condições cardíacas não relacionadas à doença arterial coronariana ou que não estavam publicados nos idiomas previamente definidos (inglês, português ou espanhol). Dessa forma, a exclusão dos artigos foi conduzida progressivamente, de acordo com a disponibilidade e o nível de detalhamento das informações apresentadas em cada etapa da seleção.

O estudo foi devidamente registrado na base internacional de revisões sistemáticas PROSPERO, em novembro de 2024, sob o identificador CRD42024614338. Os dados extraídos foram organizados conforme a planilha padronizada (Apêndice I), contemplando informações como delineamento dos estudos, tipo e intensidade do exercício físico, medidas de circulação colateral (incluindo o Índice de Fluxo Colateral – CFI), desfechos clínicos e efeitos adversos.

Após a triagem inicial, um total significativo de títulos foi identificado. A seleção dos estudos foi realizada com o auxílio do software Rayyan, utilizado para a organização e avaliação das referências de forma cega e independente entre os revisores. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade e a leitura completa dos textos, os estudos finais foram incluídos na revisão e analisados criticamente, compondo a base para a elaboração do artigo científico.

A revista científica escolhida para a submissão futura do artigo é a *Arquivos Brasileiros de Cardiologia (ABC Cardiol)*, periódico de referência nacional e internacional na área de Cardiologia, classificado como B1 no sistema QUALIS/CAPES (quadriênio 2017–2020). As normas da revista foram consultadas previamente no site oficial <https://abccardiol.org/>, e o manuscrito será redigido em conformidade com as orientações editoriais, incluindo estrutura, número de referências e formato de submissão.

A realização deste trabalho possibilitou o desenvolvimento de habilidades essenciais à prática da medicina baseada em evidências, incluindo o domínio das ferramentas de busca científica, a leitura crítica de estudos e a aplicação de métodos padronizados de revisão. Além disso, contribuiu para a consolidação de uma visão mais aprofundada sobre o papel do exercício físico como estratégia terapêutica coadjuvante no manejo da DAC.

3 ARTIGO CIENTÍFICO

EFEITOS DO EXERCÍCIO FÍSICO NA FORMAÇÃO E FUNCIONALIDADE DA RESPOSTA COLATERAL CORONARIANA: REVISÃO SISTEMÁTICA DE EVIDÊNCIAS CLÍNICAS

EXERCÍCIO E CIRCULAÇÃO CORONARIANA

EFFECTS OF PHYSICAL EXERCISE ON THE FORMATION AND FUNCTIONALITY OF THE CORONARY COLLATERAL RESPONSE: A SYSTEMATIC REVIEW OF CLINICAL EVIDENCE

EXERCISE AND CORONARY CIRCULATION

Lídhia Cainã de Souza Araújo¹

Roselei Graebin²

Shana Ginar da Silva³

¹ Acadêmica do Curso de Medicina. Universidade Federal da Fronteira Sul, Passo Fundo, RS,
Brasil

² Docente do Curso de Medicina. Universidade Federal da Fronteira Sul, Passo Fundo, RS,
Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomédicas. Residência Multiprofissional em
Saúde. Curso de Medicina. Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Passo Fundo, RS

RESUMO

Fundamentos: A circulação colateral coronariana é uma via adaptativa que protege o miocárdio durante a isquemia. O exercício físico tem sido estudado como estímulo não invasivo capaz de melhorar o prognóstico em pacientes com doença arterial coronariana (DAC). **Objetivos:** Analisar as evidências sobre os efeitos do exercício físico na formação e funcionalidade da circulação colateral coronariana em pacientes com DAC. **Métodos:** Revisão sistemática conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA 2020, com busca nas bases PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando os descritores coronary collateral circulation, exercise, physical activity e coronary artery disease. Foram incluídos estudos clínicos que avaliaram o exercício físico na formação ou funcionalidade das colaterais por métodos diretos ou indiretos. **Resultados:** Dos 2.549 registros identificados, 17 estudos preencheram os critérios de inclusão. De forma geral, observou-se que o exercício físico, especialmente em protocolos supervisionados de intensidade moderada a alta, promove melhora da funcionalidade da circulação colateral coronariana, evidenciada por maior perfusão miocárdica e redução de marcadores de isquemia. Quanto à formação estrutural de novas colaterais, os resultados foram menos consistentes, ocorrendo principalmente em contextos de treinamento prolongado ou associados à isquemia repetida. **Conclusão:** O exercício físico melhora a funcionalidade da circulação colateral coronariana e pode contribuir, em menor grau, para a formação de novos vasos, favorecendo o recrutamento colateral e a perfusão miocárdica. Esses achados reforçam o exercício supervisionado como estratégia terapêutica segura e eficaz na reabilitação de pacientes com DAC estável.

Palavras-chave: Doença Arterial Coronariana; Circulação Sanguínea Colateral; Circulação Coronária; Atividade Física;

ABSTRACT

Background: Coronary collateral circulation is an adaptive pathway that protects the myocardium during ischemia. Physical exercise has been studied as a noninvasive stimulus capable of improving the prognosis of patients with coronary artery disease (CAD).

Objectives: To analyze the evidence on the effects of physical exercise on the formation and functionality of coronary collateral circulation in patients with CAD. **Methods:** This systematic review followed PRISMA 2020 guidelines. Searches were performed in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases using the descriptors coronary collateral circulation, exercise, physical activity, and coronary artery disease. Clinical studies evaluating physical exercise in the formation or functionality of collaterals by direct or indirect methods were included. **Results:** From 2,549 records identified, 17 studies met the inclusion criteria. Overall, the evidence showed that supervised physical exercise of moderate to high intensity improves the functionality of coronary collateral circulation, reflected by enhanced myocardial perfusion and reduced ischemic response. Regarding formation, the evidence was less consistent, with new vessel development mainly observed in prolonged or ischemic training protocols. **Conclusions:** Physical exercise enhances the functionality of coronary collateral circulation and may modestly favor structural formation, improving myocardial perfusion through collateral recruitment. These findings reinforce supervised exercise as a safe and effective therapeutic strategy for the rehabilitation of stable CAD patients.

Keywords: Coronary Artery Disease; Collateral Blood Circulation; Coronary Circulation; Physical Activity.

INTRODUÇÃO

A doença arterial coronariana (DAC) permanece entre as principais causas de morbimortalidade cardiovascular no mundo, representando a maior parcela das mortes por doenças do aparelho circulatório e gerando importante impacto funcional e socioeconômico (Organização Mundial da Saúde, 2023; GBD 2021 Health Metrics, 2023). Apesar dos avanços nas terapias farmacológicas e intervencionistas, persiste risco residual significativo, o que motiva a busca por mecanismos endógenos de proteção miocárdica.

Entre esses mecanismos, destaca-se a circulação colateral coronariana (CCC), rede de anastomoses pré-existentes potencialmente recrutáveis entre ramos epicárdicos, que exerce papel decisivo na manutenção da perfusão durante a oclusão arterial. A presença e a eficácia dessa rede estão associadas à redução da área de necrose, preservação da função ventricular e melhora do prognóstico clínico (Seiler, 2013). A densidade e a funcionalidade das colaterais variam amplamente entre indivíduos, influenciadas por fatores anatômicos e hemodinâmicos, como o grau de estenose e o estresse de cisalhamento, além de condições clínicas como idade avançada, diabetes mellitus e dislipidemia, que comprometem a resposta endotelial e o potencial de arteriogênese (Fujita et al., 2004; Freedman; Isner, 2002).

O exercício físico tem sido apontado como modulador potencial da circulação coronariana. Desde a década de 1970, estudos clínicos sugerem melhora da tolerância ao esforço e possível participação da rede colateral nesse efeito (Ferguson et al., 1974; Hartley et al., 1973). Evidências experimentais indicam que a atividade física induz adaptações cardiovasculares favoráveis, incluindo melhora da função endotelial, aumento da biodisponibilidade de óxido nítrico, redução do estresse oxidativo e ativação de vias angiogênicas e arteriogênicas (Laughlin; Bowles; Duncker, 2012; Chilian, 2012). Em condições fisiológicas, o exercício não promove crescimento expressivo de colaterais; contudo, na presença de isquemia induzida, esse estímulo pode favorecer o recrutamento e o desenvolvimento da CCC (Winzer; Woitek; Linke, 2018; Togni et al., 2010).

Diante dessas incertezas, persiste uma lacuna crítica: compreender em que medida o exercício físico influencia a circulação colateral coronariana, tanto em sua formação estrutural quanto em sua funcionalidade. Assim, o objetivo desta revisão sistemática foi analisar as evidências clínicas disponíveis sobre os efeitos do exercício físico na circulação colateral coronariana, considerando diferentes modalidades e intensidades de treinamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Diretrizes e Protocolo

Esta revisão sistemática foi conduzida e descrita conforme as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020). O protocolo foi previamente delineado, contemplando objetivos, critérios de elegibilidade, fontes de informação, estratégias de busca, processo de seleção, extração de dados e avaliação metodológica. O registro foi realizado na base internacional de revisões sistemáticas PROSPERO, sob o número CRD42024614338.

Fontes de Informação e Estratégia de Busca

A busca bibliográfica foi realizada em março de 2025 nas bases PubMed/MEDLINE, Web of Science e Scopus. Foram utilizados descritores e termos livres relacionados à doença arterial coronariana, circulação colateral e exercício físico: “coronary artery disease, ischemic heart disease, coronary circulation, collateral circulation, coronary collateral circulation, exercise, physical activity, aerobic exercise e exercise training”. As combinações foram aplicadas com operadores booleanos (“AND”, “OR”), adaptadas às especificidades de cada base. Não houve restrição de data de publicação, sendo incluídos estudos em inglês, português e espanhol. As listas de referências dos artigos incluídos também foram examinadas manualmente para identificação de estudos adicionais.

Crítérios de Elegibilidade

Foram considerados elegíveis estudos originais com seres humanos, de delineamento experimental (ensaios clínicos randomizados e não randomizados) e observacional longitudinal (coortes e caso-controle), que investigassem os efeitos do exercício físico sobre a circulação colateral coronariana em pacientes com doença arterial coronariana (DAC) documentada por angiografia ou outros métodos (ecocardiografia de estresse, cintilografia miocárdica ou PET). Foram aceitas medidas de formação estrutural (classificação de Rentrop, angiografia coronariana) e de funcionalidade (índice de fluxo colateral – CFI, reserva de fluxo coronariano, perfusão por SPECT/Tálio-201/PET ou resposta isquêmica ao exercício pelo ECG). Excluíram-se estudos em modelo animal, revisões sistemáticas ou narrativas da literatura, relatos de caso,

estudos transversais, editoriais, cartas e pesquisas com populações sem DAC ou em condições não pertinentes à circulação colateral.

Seleção dos Estudos

A triagem foi realizada entre abril e julho de 2025 por duas revisoras independentes, utilizando a plataforma Rayyan (versão 2.0, Rayyan Systems Inc., Catar). Duplicatas foram removidas automaticamente, e a seleção seguiu os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. As discordâncias foram resolvidas por consenso ou, quando necessário, com participação de uma terceira avaliadora.

Extração de Dados

A extração foi conduzida de forma independente por dois revisores, com conferência por um terceiro. As variáveis extraídas incluíram: autor, ano, país, delineamento, características da população (tamanho amostral, idade, sexo e condições clínicas), tipo e duração do protocolo de exercício, intensidade, frequência, presença de grupo controle, tipo de desfecho avaliado (formação ou funcionalidade), principais resultados e limitações. Os dados não reportados foram registrados como “NR”, sem imputação de valores. Os achados foram sintetizados de forma narrativa, agrupando-se os resultados por tipo de desfecho (formação vs funcionalidade) e tipo de medida (direta vs indireta).

Avaliação do Risco de Viés

A avaliação do risco de viés seguiu o delineamento de cada estudo. Para ensaios clínicos randomizados, utilizou-se a ferramenta RoB 2 (Revised Cochrane Risk-of-Bias Tool for Randomized Trials) (Sterne et al., 2019). Para estudos não randomizados, aplicou-se a ROBINS-I versão 2 (Risk Of Bias In Non-Randomized Studies of Interventions, 2023). Dois revisores realizaram as avaliações de forma independente, com resolução por consenso. Os julgamentos foram classificados em baixo risco, algum risco ou alto risco de viés, conforme as orientações de cada instrumento. Os resultados foram sintetizados graficamente por meio do esquema traffic light e descritos por domínios.

Análise dos Dados

Devido à heterogeneidade entre os estudos quanto ao desenho, população, protocolos de exercício e métodos de avaliação, os resultados foram organizados em síntese narrativa.

Os achados foram agrupados de acordo com o tipo de intervenção, distinguindo-se os efeitos agudos do exercício (respostas imediatas após uma ou duas sessões) dos efeitos crônicos (programas supervisionados ou domiciliares com duração de semanas ou meses). Posteriormente, os estudos foram classificados segundo o tipo de desfecho, diferenciando formação estrutural (angiografia coronariana, VEGF sérico) e funcionalidade colateral (CFI, perfusão miocárdica, resposta isquêmica ao exercício). Foram descritas ainda as principais características metodológicas, como tamanho amostral, perdas de seguimento e perfil clínico dos participantes. Os resultados foram apresentados de forma descritiva, destacando convergências e divergências entre os estudos.

Aspectos Éticos

Por se tratar de estudo baseado em dados secundários da literatura, sem envolvimento direto de participantes humanos, este trabalho foi dispensado de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme previsto na Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

RESULTADOS

A busca bibliográfica identificou 3.793 registros, dos quais 1.244 foram removidos por serem duplicatas. Restaram 2.549 artigos para triagem de títulos e resumos, etapa que resultou na exclusão de 2.372 registros por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Desse modo, foram selecionados 177 artigos para leitura completa, sendo excluídos 153 por não atenderem aos critérios de inclusão desta revisão. Dos 24 estudos incluídos nesta etapa, 7 foram excluídos por indisponibilidade do texto completo, desfechos incompatíveis ou por se tratarem de protocolos. Assim, 17 estudos preencheram os critérios e compuseram a síntese qualitativa (Figura 1).

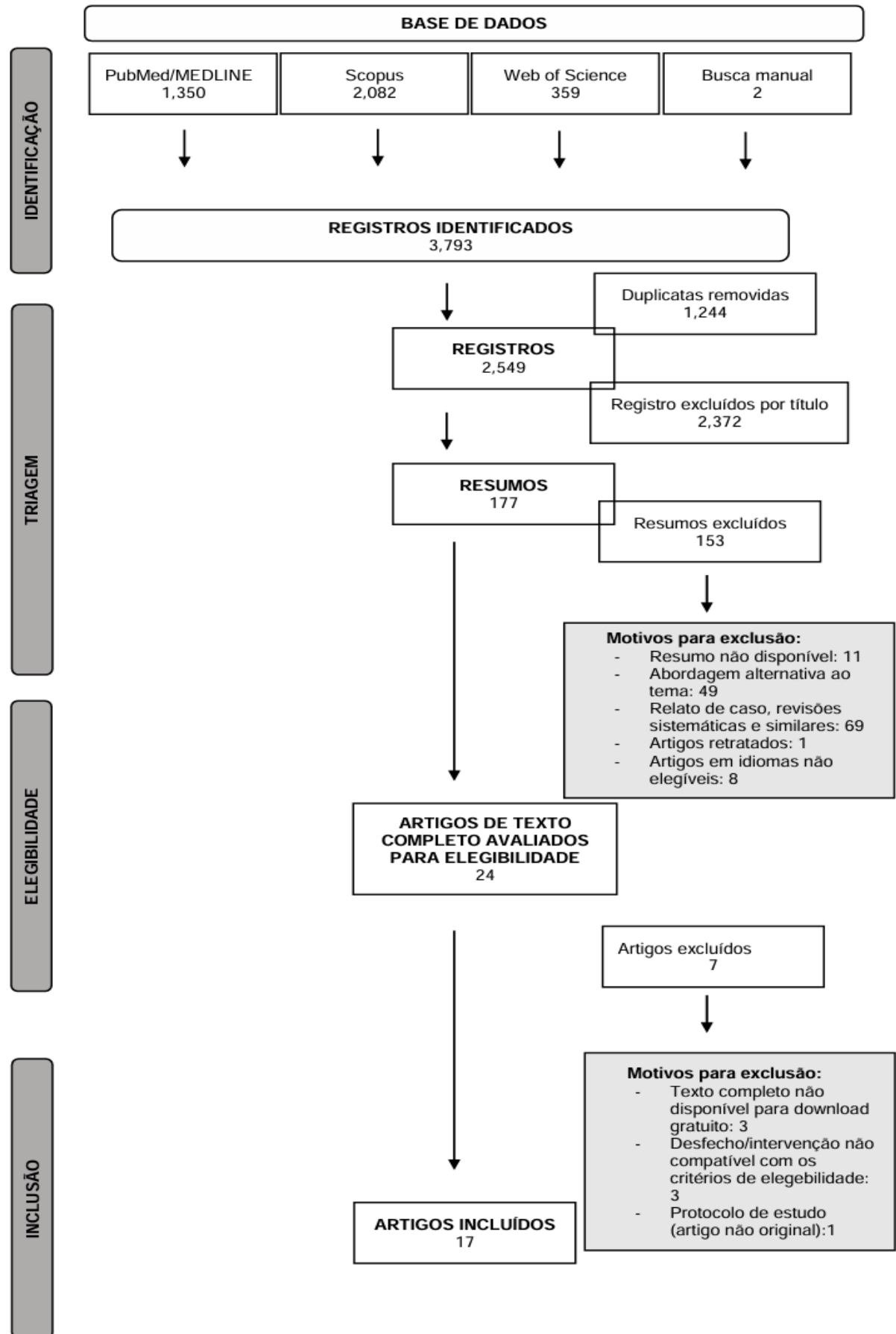


Figura 1. Fluxograma PRISMA da seleção dos estudos.

Características dos estudos

Foram incluídos 17 estudos, publicados entre 1974 e 2016, sendo oito ensaios clínicos randomizados (dois com delineamento crossover) e nove não randomizados. As principais características metodológicas e clínicas dos estudos incluídos estão descritas na Tabela 1. A maioria dos estudos foi conduzida em países de alta renda, com destaque para Alemanha (n = 2), Suíça (n = 2), China (n = 2), Canadá (n = 3) e Japão (n = 2), seguidos por Nova Zelândia (n = 1), Suécia (n = 1), Turquia (n = 1), Reino Unido (n = 1), Estados Unidos (n = 1) e Itália (n = 1).

Dos 17 estudos, dez avaliaram o efeito agudo do exercício físico, com protocolos compostos por uma ou duas sessões únicas de esforço, geralmente com duração de 10 a 30 minutos por sessão, variando conforme o tipo de exercício (bicicleta ergométrica, teste de esteira, exercício isométrico de preensão manual). Os outros sete estudos investigaram programas de exercício crônico, realizados por período igual ou superior a quatro semanas, com duração total variando de 4 semanas a 12 meses.

Quanto aos desfechos avaliados, 11 estudos analisaram predominantemente a funcionalidade da circulação colateral coronariana, utilizando métodos diretos, como o *Collateral Flow Index (CFI)*, ou medidas indiretas de perfusão miocárdica e resposta isquêmica ao exercício (SPECT, PET, ECG). Os demais seis estudos investigaram principalmente a formação estrutural de colaterais ou ambos os desfechos, por meio de angiografia coronariana ou classificação de Rentrop.

Características dos participantes

O número de participantes incluídos variou de 6 a 113 participantes, em sua maioria homens acima dos 50 anos e com diagnóstico de doença arterial coronariana estável. Nos estudos que avaliaram efeitos agudos do exercício físico, não foram relatadas perdas relevantes, com boa adesão. Entre os estudos que avaliaram os efeitos crônicos do exercício físico, as perdas foram mais expressivas e frequentes, associadas principalmente à desistência, eventos clínicos intercorrentes ou exclusões por critérios clínicos durante o seguimento.

De forma geral, os estudos excluíram previamente pacientes com angina instável, infarto recente, revascularização prévia ou disfunção ventricular grave. Alguns estudos

enfocaram subgrupos específicos: indivíduos com oclusão total e colaterais visíveis (Kay 2000), DAC uniarterial sem infarto prévio (Lin 2012), doença multivascular com colaterais bem desenvolvidas (Miyakoda 1994), DAC estável com isquemia induzida ao exercício (Yoshinaga 2006) e portadores de angina crônica submetidos a PTCA eletiva (Pohl 2003).

Características das intervenções

Os protocolos de intervenção variaram conforme o objetivo do estudo. Nos estudos que avaliaram efeitos agudos do exercício físico, aplicaram-se exercícios em esteira ou cicloergômetro, esforços supinos durante cateterismo, prensão manual isométrica ou dinâmica, protocolos de esforço máximo sintoma-limitado, geralmente em sessões únicas ou repetidas em curto intervalo, com avaliação por CFI, eletrocardiograma ou cintilografia. Nos estudos que avaliaram efeitos crônicos do exercício físico, predominaram programas aeróbicos em cicloergômetro ou esteira, em intensidade moderada a alta, realizados de três a sete vezes por semana, com duração de 4 semanas a 13 meses. Protocolos alternativos incluíram treinamento isométrico de prensão manual por três meses (Lin, 2014), combinaram exercício aeróbico prolongado e dieta (Niebauer, 1995 e Nolewajka, 1979) e programas supervisionados de quatro semanas em bicicleta ergométrica, com múltiplas sessões diárias (Möbius-Winkler, 2016).

Funcionalidade da circulação colateral

Nos estudos que avaliaram efeitos agudos do exercício físico, os achados foram consistentes em demonstrar efeito imediato do exercício sobre o fluxo coronariano ou o índice de fluxo colateral (CFI). Holmberg (1971) avaliou 21 indivíduos durante exercício em bicicleta supina e observaram que, em intensidades leves a moderadas, o fluxo coronariano dos pacientes com DAC foi semelhante ao dos controles, mas, sob cargas elevadas, o aumento do fluxo foi atenuado e a resistência coronariana manteve-se mais alta, sugerindo limitação hemodinâmica ao suprimento de oxigênio. Testes ergométricos evidenciaram o fenômeno de *warm-up*, caracterizado por menor depressão do segmento ST de 0,52 mm no grupo com colaterais angiográficas, em comparação a 0,19 mm no grupo sem colaterais ($p = 0,049$), em testes consecutivos, especialmente em pacientes com colaterais visíveis (Kay, 2000). Medidas invasivas documentaram aumento do CFI de $0,168 \pm 0,118$ para $0,262 \pm 0,166$ ($p = 0,0002$) durante esforço supino em bicicleta (Togni, 2010), após prensão manual isométrica de um

minuto, de $0,16 \pm 0,09$ para $0,20 \pm 0,11$ ($p < 0,01$) (Lin, 2012), e durante preensão manual dinâmica associada ao balonamento coronariano, de $0,21 \pm 0,14$ para $0,25 \pm 0,14$ ($p = 0,007$) (~60 % da contração máxima voluntária) (Pohl, 2003). Achados indiretos reforçaram esse padrão, incluindo maior frequência de colaterais (90 % dos casos) em pacientes com depressão discreta de ST (0,1–0,2 mV) e em 13 % daqueles com depressão mais acentuada ($p < 0,01$) (Watanabe, 1997), menor tempo de recuperação elétrica de $5,5 \pm 1,6$ minutos em pacientes com colaterais angiográficas, comparado a $11,7 \pm 3,3$ minutos nos sem colaterais ($p < 0,001$), e menor área isquêmica após esforço ($p < 0,001$) (Bonetti, 1992), além de padrão de depressão de ST restrito à fase de recuperação, atribuído à queda transitória do fluxo colateral (Kumbasar, 1998).

Nos estudos que avaliaram efeitos crônicos do exercício físico, os resultados também indicaram benefício funcional associado a programas de exercício supervisionado de diferentes durações e intensidades. Após quatro semanas de treinamento supervisionado, Möbius-Winkler (2016) observou aumento de 39,4 % do CFI em comparação ao grupo controle ($p = 0,005$), associado a maior limiar isquêmico e correlação com a variação do CFI ($r = 0,425$; $p = 0,006$), maior VO_2 pico e redução da angina no grupo de intensidade moderada. Em três meses de treinamento isométrico, Lin (2014) relatou redução de defeitos perfusionais ao SPECT e aumento de VEGF sérico, cuja variação correlacionou-se inversamente ao escore de perfusão ($r = -0,60$; $p = 0,005$). Miyakoda (1994) avaliou 12 pacientes com doença multiarterial e colaterais preexistentes, verificando que aquelas originadas de artérias com estenose crítica apresentaram reserva perfusional limitada durante o esforço, comparável à de vasos com obstrução de 90 %. Niebauer (1995) analisou 113 pacientes submetidos a 12 meses de treinamento físico associado à dieta hipolipídica, documentando redução da isquemia miocárdica. Wainwright (1980) observou associação entre colaterais angiográficas grau ≥ 3 e maior preservação perfusional ao tálcio-201 ($p < 0,0005$). Ferguson (1974) acompanhou 30 pacientes com DAC submetidos a 13 meses de caminhada supervisionada e registrou aumento médio de 25 % no consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx), mas sem correlação com a perfusão miocárdica.

Formação da circulação colateral

Os resultados relacionados à formação estrutural foram menos consistentes. Niebauer (1995) não observou aumento significativo no número ou grau angiográfico de colaterais no grupo de intervenção comparado ao grupo controle ($p = NS$). Nolewajka et al. (1979) avaliaram

20 pacientes (10 em grupo exercício supervisionado e 10 controles) submetidos a sete meses de treinamento aeróbico supervisionado. Entretanto, nenhum participante apresentou surgimento de novas colaterais angiográficas, embora tenha havido tendência à melhora perfusional em alguns segmentos isquêmicos. Ferguson (1974) incluiu 14 pacientes com DAC estável em programa supervisionado de 13 meses, observando formação de duas novas colaterais, ambas associadas à progressão da obstrução coronariana (de 80 % para 95 % e de 95 % para 100 %). Conner (1976) relatou aumento do número e do calibre de colaterais em dois de seis pacientes após nove a doze meses de treinamento supervisionado. Lin (2014) observou incremento dos níveis séricos de VEGF após três meses de treinamento isométrico, indicando ativação de vias angiogênicas associadas à formação capilar.

Tabela 1. Descrições dos estudos que avaliaram efeitos crônicos do exercício físico na formação ou funcionalidade colateral (n=07).

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício crônico (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Lin et al. (2014, China)	Ensaio clínico randomizado (parte crônica)	21 pacientes com DAC crônica; treinamento isquêmico intermitente (IHT, n=10) 8 homens e 2 mulheres; Grupo não treinado (NTG, n=10) 9 homens e 1 mulher; idade média $66,5 \pm 5,1$ anos (IHT) e $67,2 \pm 13,8$ (NTG)	Exercício isométrico de preensão manual (handgrip) máximo: 1 min de contração, 1 min de descanso, 10 repetições por braço; 2 sessões/dia, 5 dias/semana, por 3 meses	Grupo controle (NTG) permaneceu em repouso	Formação avaliada indiretamente pela perfusão miocárdica (SPECT – Summed Rest Score, SRS) e pelos níveis séricos de VEGF (ELISA)	O IHT reduziu o SRS ($15,0 \pm 6,34 \rightarrow 9,10 \pm 4,93$; $p < 0,05$) e aumentou o VEGF sérico ($65,3 \pm 15,1 \rightarrow 98,5 \pm 17$ pg/mL; $p < 0,05$), diferenças ausentes no controle. Houve correlação entre Δ SRS e Δ VEGF ($r = -0,60$; $p = 0,005$). A LVEF aumentou no grupo IHT ($p < 0,05$). Os autores sugerem que a isquemia repetida (>50% da força máxima) estimulou VEGF e angiogênese/arteriogênese	Correlação entre VEGF e formação colateral sugere múltiplos mecanismos envolvidos. Amostra pequena e ausência de medidas diretas (CFI) limitam a generalização
Niebauer et al. (1995, Alemanha)	Ensaio clínico randomizado	113 homens com DAC estável confirmada por angiografia; idade média 53,5 anos. Após 1 ano, dados disponíveis em 92 pacientes (40 intervenção; 52 controle)	Exercício aeróbico supervisionado em cicloergômetro e sessões em grupo (2x/semana, 60 min cada); treino diário em casa (30 min, 75% FC _{máx}). Associado a dieta hipolipídica e com adesão monitorada. Duração: 12 meses	Grupo controle recebeu orientações gerais de dieta e atividade física, mas sem supervisão; acompanhamento clínico usual	Formação avaliada indiretamente pela angiografia coronariana	Intervenção: colaterais em 63% \rightarrow 58% ($p = \text{NS}$); Controle: 65% \rightarrow 75% ($p = \text{NS}$). Novas colaterais não se formaram com o treinamento; aumento foi observado apenas em pacientes com progressão angiográfica da DAC ($p < 0,00001$)	O método angiográfico detecta apenas vasos >100 μm e pode subestimar colaterais subendocárdicas. Sob condições de repouso, o estímulo para fluxo colateral é mínimo. População exclusivamente masculina e perdas por desistência/eventos

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício crônico (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Nolewajka et al. (1979, Canadá)	Ensaio clínico randomizado	20 homens, idade média 48 anos, com infarto do miocárdio prévio; grupo exercício (n=10) e grupo controle (n=10); todos com DAC angiograficamente confirmada	Programa supervisionado 5x/semana por 7 meses: 2 sessões em grupo e 2 individuais supervisionadas (1 h cada) a 60–70% da FC _{máx} , além de 1 sessão leve e não supervisionada em casa	Grupo controle realizou atividades recreativas leves (volleyball, alongamentos, relaxamento)	Formação avaliada indiretamente pela angiografia coronariana e pela perfusão miocárdica	Colaterais foram observadas apenas em alguns pacientes com estenose $\geq 80\%$. Após 7 meses, não houve aumento no número, tamanho ou extensão das colaterais. A perfusão miocárdica e a função ventricular esquerda permaneceram inalteradas. O grupo exercício apresentou redução da FC em 14 bpm (p $< 0,01$), menor VO_2 padrão e aumento do limiar anginoso	Pequena amostra; curta duração do treinamento; ausência de estímulos hemodinâmicos durante avaliação. A angiografia detecta apenas colaterais $> 100 \mu m$
Conner et al. (1976, EUA)	Ensaio clínico não randomizado (estudo piloto)	6 homens, (37–56 anos) com DAC documentada e infarto prévio	Programa supervisionado de exercício aeróbico em esteira e bicicleta ergométrica, 3x/semana, duração média de 9–12 meses. Sessões de 60-90 min com progressão gradual de intensidade (até 70–75% da FC _{máx})	Comparações intraindividuais antes e após o programa	Formação avaliada indiretamente pela angiografia coronariana	Dois participantes apresentaram aumento visível no número e calibre das colaterais. Todos os que completaram o programa mostraram novos padrões ou mudanças relevantes na circulação colateral, indicando maior fluxo coronariano. Apesar de a funcionalidade não ter sido medida diretamente, a melhora clínica e a evidência angiográfica sugerem colateralização com significado fisiológico e terapêutico, associada a maior tolerância ao exercício e menor gravidade dos sintomas	Amostra muito pequena; ausência de grupo controle; avaliação angiográfica limitada a vasos epicárdicos $> 100 \mu m$; possível viés de progressão da DAC como estímulo para colateralização

Autor (Ano, País)	Delimitação do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício crônico (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Möbius- Winkler et al. (2016, Alemanha)	Ensaio clínico randomizado controlado	60 pacientes com DAC estável e estenose $\geq 50\%$ (FFR $\leq 0,75$); idade média 64 anos; 75% homens; 45 com DAC multiarterial	Treinamento aeróbico supervisionado em bicicleta ergométrica por 4 semanas. Grupo A (alta intensidade): 4 sessões diárias de 30 min, 5 dias/semana, a 70% da capacidade livre de isquemia (picos até 95%). Grupo B (moderada): 6–8 sessões diárias de 20 min, 5 dias/semana, até 60% da capacidade livre de isquemia	Grupo C (controle): cuidados habituais e orientação para atividade física leve (2– 3x/semana, 20–30 min). Sem supervisão.	Funcionalidade avaliada diretamente pelo CFI	A angiografia não mostrou novos vasos colaterais após 4 semanas de treino. O CFI aumentou nos grupos de alta (+39,4%; $0,143 \pm 0,06 \rightarrow$ $0,202 \pm 0,09$; $p = 0,005$) e moderada intensidade (+42,3%; $0,143 \pm 0,06 \rightarrow$ $0,202 \pm 0,09$; $p = 0,004$), sem diferença entre eles ($p = 1,0$). O controle permaneceu estável ($0,149 \pm 0,09 \rightarrow$ $0,150 \pm 0,08$). Pacientes com CFI basal $\geq 0,2$ tiveram maiores ganhos ($p = 0,046$). O aumento do CFI correlacionou-se ao limiar isquêmico ($r = 0,425$; $p =$ $0,006$) e à FC no limiar isquêmico ($r = 0,336$; $p =$ $0,034$)	Curta duração (4 semanas); amostra pequena; intervenção intensiva (10h/semana) pouco aplicável à prática clínica. A melhora funcional provavelmente reflete recrutamento e aumento de fluxo em colaterais pré- existentes, sem evidência de nova formação anatômica
Ferguson et al. (1974, Canadá)	Ensaio clínico não randomizado	14 homens (idade média 51 anos) com DAC estável e obstrução $\geq 50\%$ em 1–3 vasos; 7 com infarto prévio e 7 com angina estável	Programa supervisionado de caminhada 3x/semana por 13 meses: duas sessões de caminhada separadas por intervalo de descanso e jogos leves; progressão gradual de velocidade e	Comparações intraindividuais pré e pós- treinamento	Formação avaliada indiretamente pela angiografia coronariana	A angiografia não mostrou formação relevante de novos vasos colaterais. Das 21 artérias parcialmente estenosadas, apenas duas desenvolveram colaterais, ambas com progressão da obstrução (80% \rightarrow 95% e 95% \rightarrow 100%). As artérias totalmente ocluídas já apresentavam colaterais, sugerindo que a neoformação ocorreu por oclusão	Ausência de grupo controle; amostra pequena; avaliação angiográfica limitada a vasos $>100 \mu\text{m}$; melhora funcional sem correlação com circulação colateral. Formação colateral possivelmente relacionada à progressão da doença e não ao exercício

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício crônico (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
			distância; FC 97 a 125 bpm			completa, não pelo exercício. O aumento colateral foi inconsistente, embora a capacidade de exercício tenha crescido ($VO_2\text{máx} +25\%$; $p < 0,001$), sem correlação com colateralização ou perfusão miocárdica	
Yoshinaga et al. (2006, Canadá)	Ensaio clínico randomizado	12 pacientes com DAC estável e teste ergométrico positivo para isquemia; grupo exercício: 7 homens, $61,9 \pm 4,2$ anos; grupo controle: 5 homens, $58,6 \pm 16,9$ anos; estenose $\geq 70\%$	Treinamento aeróbico supervisionado e domiciliar 4×/semana por 14 semanas, 60 min por sessão; intensidade de 60– 80% da reserva de FC	Grupo controle sedentário mantendo tratamento clínico habitual	Funcionalidade avaliada indiretamente por PET com rubídio-82, medindo o fluxo miocárdico (MBF) e a reserva de fluxo coronariano (CFR)	O treinamento aumentou a CFR global ($20,8 \pm 27,9\%$ vs $10,5 \pm 24,1\%$; $p = 0,0001$) e o fluxo hiperêmico em segmentos anormais ($12,5 \pm$ $22,1\%$ vs $2,6 \pm 16,3\%$; $p =$ $0,02$), sem alteração na perfusão relativa (SSS). Em segmentos normais, houve redução do fluxo de repouso e discreto aumento da CFR; nos doentes, elevação do fluxo hiperêmico e da CFR	Amostra pequena; todos os pacientes em uso de anlodipino, que pode ter atenuado o efeito do exercício; ausência de avaliação direta de colaterais; interdependência entre segmentos

Tabela 2. Descrições dos estudos que avaliaram efeitos agudos do exercício físico na funcionalidade colateral (n=11)

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Kay et al. (2000, Nova Zelândia)	Ensaio clínico não randomizado	33 pacientes; 28 homens e 5 mulheres; diagnóstico de DAC estável; Grupo 1 – oclusão total com colaterais visíveis: 14 homens, 1 mulher; idade média 55 ± 10,9 anos; Grupo 2 – estenose ≥70% sem colaterais: 14 homens, 4 mulheres; idade média 58 ± 6,1 anos	Aeróbico (teste em esteira, protocolo de Bruce modificado); dois testes consecutivos separados por 10 min de repouso (~7–8 min cada), progressivo e limitado por sintomas	Sem grupo controle	Avaliação da funcionalidade colateral: ECG/angiografia coronariana (étodo indireto)	A funcionalidade colateral foi avaliada pelo <i>warm-up</i> , com depressão do ST no segundo teste. Pacientes com oclusão total e colaterais visíveis apresentaram maior redução da depressão do ST (0,52 mm vs 0,19 mm; p = 0,049) e menor taxa de aumento do ST durante o exercício (1,08 vs 0,55 mm/min; p = 0,034)	O fluxo colateral não foi avaliado diretamente. A precisão reduzida na detecção de alterações de ST e a possível influência do pré-condicionamento isquêmico podem ter afetado os resultados
Togni et al. (2010, Suíça)	Ensaio clínico randomizado, crossover	30 pacientes; DAC estável, sem infarto transmural prévio na área avaliada; Grupo 1 – descanso primeiro: 14 homens, 1 mulher; 59 ± 7 anos; Grupo 2 – exercício primeiro: 14 homens, 1 mulher; 59 ± 9 anos	Aeróbico (bicicleta supina, ergômetro acoplado à mesa de hemodinâmica); protocolo de 6 min em três estágios progressivos (baixa, média e alta carga); intensidade submáxima até o limiar isquêmico	Comparação intraindividual entre repouso e exercício (ordem randomizada)	Funcionalidade da circulação colateral avaliada por método direto, por meio do Collateral Flow Index (CFI) obtido via medida invasiva de pressão intracoronária durante oclusão transitória com balão	CFI de 0,168 ± 0,118 para 0,262 ± 0,166 (p = 0,0002); reserva colateral 2,2 ± 1,8; condutância colateral 0,010 ± 0,010 para 1,109 ± 0,139 mL/min/100 mmHg (p < 0,0001). O CFI aumentou em 80%, os demais tiveram “roubo colateral”, e 17 alcançaram CFI ≥ 0,215, tendo proteção isquêmica	Imagem ecocardiográfica supina limitada; manutenção de drogas vasoativas e variabilidade de carga podem ter afetado a resposta colateral

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Kumbasar et al. (1998, Turquia)	Ensaio clínico não randomizado	44 pacientes com DAC estável e lesão $\geq 70\%$; Grupo estudo: depressão do ST apenas na recuperação (21 homens, 5 mulheres; $53,7 \pm 9,1$ anos); Grupo controle: depressão do ST durante o exercício (16 homens, 2 mulheres; $54,1 \pm 8,8$ anos)	Teste de esforço aeróbico em esteira (protocolo de Bruce padrão); intensidade progressiva até limitação por sintomas ou alterações eletrocardiográficas; sessão única	Grupo controle com depressão do segmento ST durante o exercício, submetido ao mesmo protocolo de esforço e avaliação angiográfica	Funcionalidade inferidas indiretamente pela angiografia coronariana (classificação de Rentrop 0–3); colaterais grau ≥ 2 consideradas significativas	Pacientes com depressão de ST apenas na recuperação apresentaram mais colaterais significativas (53,8% vs 22,2%; $p = 0,035$) e, após exclusão de falso-positivos, 82,4% vs 28,6% ($p = 0,018$). A frequência e o grau de colaterais aumentaram conforme a gravidade da DAC. Dor torácica ocorreu em 7,7% (2/26) no grupo de estudo e em 83,3% (15/18) no controle ($p < 0,001$)	Medida colateral indireta; amostra pequena; possível viés de seleção (grupo com ST na recuperação pode ter colaterais preexistentes mais desenvolvidas); variação interobservador na leitura angiográfica
Wainwright et al. (1980, Reino Unido)	Ensaio clínico não randomizado	65 pacientes (62 homens, 3 mulheres; idade média de 50 anos) com angina estável e DAC angiográfica; estenose $\geq 80\%$ ou oclusão proximal de ao menos uma artéria principal; subgrupos: 17 com oclusão total sem IAM prévio e 48	Exercício aeróbico em cicloergômetro (incremental) até angina/dispeia; no pico, 1,5 mCi de ^{201}Tl IV e manutenção do exercício por 1,5–2 min	Sem grupo controle; comparação intraindividual entre territórios com diferentes graus de colaterais (0–4) no mesmo exercício	Funcionalidade avaliada indiretamente por cintilografia com ^{201}Tl (SPECT) correlacionada ao grau de colaterais (0–4)	A perfusão correlacionou-se ao desenvolvimento de colaterais ($p < 0,0005$); em oclusão total sem IAM, 9/15 territórios com colaterais preservaram perfusão vs 0/5 sem colaterais ($p = 0,03$); colaterais para a coronária direita protegeram mais que	A cintilografia reflete isquemia relativa, não perfusão absoluta; pode superestimar proteção; medida indireta que pode mascarar gravidade real

Autor (Ano, País)	Delimitação do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
		com oclusões múltiplas/críticas				para a DA ($p < 0,05$), e padrões bridging/ghosting pouco eficazes	
Watanabe et al. (1997, Japão)	Ensaio clínico não randomizado	78 participantes: 6 controles saudáveis (6 homens; 34 ± 5 anos) e 72 pacientes com DAC (54 homens, 18 mulheres; $62 \pm$ 8 anos; estenose \geq 75%). D1: depressão de ST $0,1-0,2$ mV (n = 10; 8 homens, 2 mulheres; 60 ± 10 anos; 90% com colaterais grau 2- 3); D2: depressão de ST $\geq 0,2$ mV (n = 8; 7 homens, 1 mulher; 63 ± 7 anos; 13% com colaterais); O: outros padrões de ST (n = 54; 39	Bicicleta supina (25 W, $\sim 3-4$ METs) por 6,5 min; sessão única	Grupo controle composto por voluntários saudáveis submetidos ao mesmo protocolo de exercício	Funcionalidade avaliada indiretamente por PET com N-13 amônia correlacionado ao grau de colaterais (Rentrop)	O RMBF aumentou em todos: saudáveis $+56 \pm 30\%$; D1 $+10$ $\pm 23\%$ (áreas isquêmicas) e $+50 \pm$ 32% (adjacentes); D2 $+17 \pm 24\%$ e $+41$ $\pm 21\%$. D1 teve mais colaterais (90% vs 13% em D2; $p <$ $0,01$) e menor área isquêmica; maior heterogeneidade de RMBF em D1 ($94 \pm$ 51% ; $p < 0,001$). Depressões discretas de ST ($0,1-0,2$ mV) sugerem colaterais funcionais; $\geq 0,2$ mV indicam colaterais ineficazes	Exercício de baixa intensidade limita extrapolação; PET reflete fluxo relativo e pode subestimar absolutos; efeito de partial-volume e variabilidade anatômica podem afetar comparação

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
		homens, 15 mulheres; 62 ± 8 anos; 2% com colaterais)					

Autor (Ano, País)	Delimitação do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Bonetti et al. (1992, Itália)	Ensaio clínico não randomizado	54 pacientes (47 homens, 7 mulheres; 53–65 anos; 59 ± 6 anos) com angina estável e DAC confirmada por angiografia. Grupo A (com colaterais): 30 pacientes (26 homens, 4 mulheres; 60 ± 7 anos), colaterais grau 2–3. Grupo B (sem colaterais): 24 pacientes (21 homens, 3 mulheres; 59 ± 8 anos), colaterais grau 0–1	Exercício aeróbico em esteira, protocolo de Bruce modificado, até o aparecimento de angina, dispnéia, hipotensão, arritmias ou depressão do ST ≥2 mm (grupo A: 6,2 ± 1,8 min; grupo B: 6,8 ± 1,9 min); Foram realizados dois testes ergométricos em dias consecutivos, com injeção de 74 MBq de tálio-201 no pico do esforço, mantido por 1 minuto adicional para captação máxima	Grupo controle formado por pacientes sem colaterais angiográficas (grau 0–1), submetidos ao mesmo protocolo de exercício e cintilografia	Funcionalidade colateral avaliada indiretamente por cintilografia miocárdica com tálio-201 (SPECT) e por parâmetros eletrocardiográficos (tempo de recuperação do segmento ST e área isquêmica pós-esforço), correlacionados à presença de colaterais angiográficas	Pacientes com colaterais tinham DAC mais grave, mas recuperação isquêmica mais rápida. O tempo de recuperação do ST (5,5 ± 1,6 vs 11,7 ± 3,3 min; p < 0,001); área isquêmica residual (238 ± 21 vs 486 ± 44 seg×mm; p < 0,001). A queda da PAS no primeiro minuto foi (158 ± 14 → 153 ± 12 mmHg vs 159 ± 13 → 137 ± 11 mmHg; p < 0,001), e o deslocamento da relação RPP/ST para a direita indicou maior fluxo colateral. Colaterais aceleraram a recuperação, reduziram a isquemia e suavizaram a resposta hemodinâmica pós-esforço	A funcionalidade colateral foi inferida de forma indireta. A presença de disfunção ventricular basal mais acentuada no grupo sem colaterais pode ter influenciado o tempo de recuperação. A cintilografia reflete perfusão relativa, podendo superestimar a proteção em áreas isquêmicas

Autor (Ano, País)	Delimitação do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Miyakoda et al. (1994, Japão)	Ensaio clínico não randomizado	12 pacientes com angina estável e DAC, apresentando oclusão total da RCA ou LCX, estenose $\geq 90\%$ em LAD e colaterais bem desenvolvidas. Grupo A: 4 homens, 2 mulheres; 42–67 anos; colateral preservada. Grupo B: 4 homens, 2 mulheres; 36–71 anos; colateral comprometida, principalmente da LAD	Aeróbico (bicicleta supina); 25 W com incrementos de 25 W a cada 3 min até angina moderada, ST $\geq 0,1$ mV ou fadiga	Comparação entre grupos A vs B (mesmo protocolo)	Funcionalidade avaliada indiretamente por angiografia + SPECT com ²⁰¹ Tl (captação/redistribuição em territórios colateralizados vs LAD 90%)	Grupo A: sem redução significativa da captação nos territórios colateralizados; redistribuição em 50% na LAD 90%. Grupo B: redução da captação nos territórios colateralizados, com isquemia localizada; LAD doadora preservada. Padrão de isquemia influenciado pela anatomia (colaterais originadas da LAD mais vulneráveis)	Amostra pequena; ausência de análise quantitativa do ²⁰¹ Tl; cintilografia planar pouco sensível para parede ínfero-posterior; uso de nitratos pode ter modulado perfusão
Lin et al. (2012, China)	Ensaio clínico randomizado	65 pacientes (60 \pm 10 anos), todos com DAC uniarterial (estenose > 50%); Grupo exercício (n = 33): 18 homens e 15 mulheres; 59 \pm 11 anos; Grupo controle (n = 32): 15 homens e 17 mulheres; 61 \pm 9 anos	Resistido isométrico (preensão manual a 50% da CVM) por 1 min durante o balonamento; sessão única	Controle: oclusão por 1 min em repouso, sem exercício	Funcionalidade avaliada diretamente pelo CFI (pressões invasivas durante a oclusão)	O exercício elevou o CFI de 0,16 \pm 0,09 \rightarrow 0,20 \pm 0,11 (Δ CFI = 0,04 \pm 0,05; p < 0,01); no controle: 0,14 \pm 0,07 \rightarrow 0,15 \pm 0,08 (Δ CFI = 0,01 \pm 0,03). Δ Poccl maior com exercício (+4,34 \pm 5,31 vs +0,59 \pm 2,80 mmHg)	Amostra restrita a DAC uniarterial; CFI por pressão com erro padrão \sim 0,08 vs à derivada por Doppler

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Lin et al. (2014, China)	Ensaio clínico randomizado (parte aguda)	74 pacientes com DAC uniarterial submetidos à PCI; Grupo exercício (IHG, n=37): 58,8 ± 10,8 anos; distribuição da artéria-alvo LAD/LCX/RCA = 28/2/7; Grupo controle (NEG, n=37): 61,5 ± 9,1 anos; LAD/LCX/RCA = 29/5/3	Resistido isométrico (preensão manual a ~50% da contração voluntária máxima) por 1 min, realizado simultaneamente a 1 min de oclusão coronária por balão durante a PCI; sessão única	Controle: oclusão por balão por 1 min em repouso, sem exercício	Funcionalidade da circulação colateral avaliada diretamente pelo Collateral Flow Index (CFI) derivado de pressões (Poccl, Pao, CVP) durante a oclusão	O exercício isométrico elevou o CFI de 0,15 ± 0,08 para 0,20 ± 0,10 (Δ CFI = 0,04 ± 0,05; p < 0,01); no controle (0,14 ± 0,07 → 0,14 ± 0,08; Δ CFI = 0,01 ± 0,03). Sem eventos adversos ou elevação de troponina, indicando recrutamento colateral funcional imediatamente induzido pelo esforço isométrico	Aumento absoluto de CFI pequeno; possíveis diferenças basais entre grupos (idade, força de preensão); método de CFI por pressão com erro padrão (~0,08) vs Doppler

Autor (Ano, País)	Delineamento do estudo	População (n, sexo, idade, características clínicas, grupos)	Exercício agudo (tipo, protocolo, tempo, intensidade)	Controle/ Comparador	Desfecho: medida da circulação colateral coronariana	Principais Resultados	Limitações
Holmberg et al. (1971, Suécia)	Ensaio clínico não randomizado	21 participantes: 10 com DAC (8 homens, 2 mulheres, 45,3 ± 8,3 anos) e 11 controles (8 homens, 3 mulheres, 38,3 ± 8,4 anos); DAC confirmada por angiografia coronária, alguns com hipertensão moderada e 1 pós- infarto; NYHA I- III	Exercício dinâmico em bicicleta ergométrica supina com freio elétrico; 2- 3 cargas progressivas até o nível máximo tolerado; cada estágio com duração de 14- 18 min e 15 min de repouso entre eles (tempo total ≈ 30-50 min)	Grupo controle composto por indivíduos sem DAC cl clinicamente demonstrável, submetidos ao mesmo protocolo de exercício e avaliação hemodinâmica	Funcionalidade da circulação colateral avaliada indiretamente pelo comportamento do fluxo coronariano e resistência vascular	Durante o exercício intenso, o grupo com DAC apresentou menor aumento do fluxo coronariano e maior resistência vascular que os controles, compensando com maior extração de O ₂ [(a-v)O ₂]. Dois pacientes desenvolveram angina com elevação da pressão atrial esquerda e dois mostraram inversão do metabolismo de lactato (consumo → produção), indicando isquemia. A capacidade de trabalho foi inferior (400 vs 605 kpm/min), sugerindo oferta de O ₂ insuficiente e prejuízo contrátil miocárdico.	Amostra pequena; método de fluxo médio pode superestimar regiões bem irrigadas; posicionamento do cateter no seio coronário crítico; ausência de medidas diretas de tensão de parede ou volume ventricular; diferença etária entre grupos; metabolismo de lactato limitado em esforço pesado

Risco de viés

A avaliação metodológica indicou limitações importantes. Nos estudos não randomizados, o risco de viés foi classificado como sério a crítico principalmente por confundimento e seleção de participantes, enquanto a mensuração dos desfechos apresentou, em geral, baixo risco. Nos ensaios randomizados, o julgamento global pelo RoB 2 foi predominantemente de “*some concerns*”, com um estudo classificado em alto risco, sobretudo por viés de relato. Em ambos os grupos, prevaleceu baixo risco para desvios das intervenções, dados ausentes e mensuração dos desfechos, mas persistiram preocupações quanto ao processo de randomização e ao relato seletivo. A maioria dos estudos não declarou financiamento ou conflitos de interesse, o que limita a avaliação da influência de potenciais fontes externas.

Study	Risk of bias domains							Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
Kay IP, et al., 2000	!	X	+	+	+	+	!	!
Kumbasar D, et al., 1998	+	+	!	+	+	-	-	!
Wainwright RJ, et al., 1980	X	+	!	+	+	+	+	!
Watanabe T, et al., 1997	+	X	+	+	+	-	+	X
Conner JR, et al., 1976	X	+	+	X	!	+	-	!
Bonetti F, et al., 1992	X	+	+	X	+	+	X	X
Miyakoda H, et al., 1994	X	+	+	+	+	+	-	X
Ferguson RJ, et al., 1974	X	+	+	X	!	+	-	!
Holmberg S, et al. (1971)	X	-	X	+	-	-	-	X

Domínios:

D1: Viés devido a confundimento.
 D2: Viés devido à seleção dos participantes.
 D3: Viés na classificação das intervenções.
 D4: Viés devido a desvios das intervenções pretendidas.
 D5: Viés devido a dados ausentes.
 D6: Viés na mensuração dos desfechos.

Julgamento

● Crítico
 ● Sério
 ● Moderado
 ● Baixo

Figura 2. Risco de viés ROBINS-I para não randomizados.

Study	Risk of bias domains					Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	
Togni M, et al., 2010	+	+	+	+	-	-
Lin S, et al., 2014 (CFI)	-	+	+	+	-	-
Lin S, et al., 2014 (SRS)	-	+	+	+	-	-
Lin S, et al., 2014 (VEGF)	-	+	+	+	-	-
Niebauer J, et al., 1995	-	-	+	-	-	-
Nolewajka AJ, et al., 1979	-	-	+	-	X	X
Möbius-Winkler S, et al., 2016	-	+	+	+	-	-
Lin S, et al., 2012	-	+	+	+	-	-
Pohl T, et al., 2003	-	+	+	+	-	-
Yoshinaga K, et al. (2006)	-	X	X	+	-	X

Domínios:
D1: Viés decorrente do processo de randomização.
D2: Viés devido a desvios das intervenções pretendidas.
D3: Viés devido a dados de desfecho ausentes.
D4: Viés na mensuração do desfecho.
D5: Viés na seleção do resultado relatado.

Julgamento
X Alto
- Algumas preocupações
+ Baixo

Figura 3. Risco de viés RoB 2 para randomizados.

DISCUSSÃO

O objetivo desta revisão sistemática foi avaliar os efeitos do exercício físico sobre a circulação colateral coronariana, buscando compreender se o esforço físico é capaz de atuar na formação e melhorar na funcionalidade dessas vias de perfusão alternativa em pacientes com doença arterial coronariana, distinguindo entre a formação estrutural de novos vasos e a otimização funcional da rede já existente. Em conjunto, os estudos analisados apontaram que o exercício promove de forma consistente o recrutamento funcional imediato das colaterais, enquanto a neoformação vascular mensurável por métodos angiográficos permanece incerta, observada apenas em contextos específicos ou sob estímulos mais intensos.

No campo da funcionalidade, os achados mostraram-se convergentes. Intervenções agudas evidenciaram que o exercício é capaz de recrutar colaterais de forma imediata,

reduzindo a isquemia, diminuindo a depressão do segmento ST, acelerando a recuperação elétrica e preservando a perfusão durante situações de estresse. Esses efeitos foram consistentes em diferentes tipos de protocolos, agudos e crônicos, aeróbicos ou isométricos, sugerindo que o principal mecanismo envolvido seja o incremento do gradiente de pressão entre artérias doadoras e receptoras, associado ao estresse de cisalhamento endotelial (Laughlin et al., 2012). Esse mecanismo hemodinâmico estimula a dilatação e o recrutamento imediato de colaterais latentes, além de favorecer adaptações microvasculares (Yoshinaga et al., 2006; Togni et al., 2010; Winzer et al., 2018). Esses resultados reforçam a capacidade adaptativa da rede colateral e sustentam seu papel protetor dinâmico.

Ensaio de intervenção de curto prazo confirmaram que programas supervisionados de exercício aumentam o índice de fluxo colateral, elevam o limiar isquêmico e melhoram a capacidade funcional, mesmo na ausência de novas colaterais à angiografia. Dessa forma, os benefícios clínicos parecem decorrer sobretudo da otimização hemodinâmica e do recrutamento de vasos preexistentes, mecanismo que complementa outros efeitos bem estabelecidos do exercício em pacientes com doença arterial coronariana (Niebauer et al., 1995).

Por outro lado, a ausência de evidência sólida para o aumento estrutural de novas colaterais após programas de exercício prolongado indica que o principal benefício do exercício é funcional, não morfológico. A angiografia convencional, método utilizado na maioria dos estudos mais antigos, apresenta limitações de sensibilidade, o que pode ter contribuído para a subestimação da formação de pequenas anastomoses (Niebauer et al., 1995). Estudos que empregaram PET ou medidas diretas de condutância colateral, como o índice de fluxo colateral (CFI), demonstraram melhorias hemodinâmicas associadas ao exercício, evidenciadas por aumento da perfusão sob estresse e maior condutância colateral (Togni et al., 2010; Möbius-Winkler et al., 2016; Yoshinaga et al., 2006). Como essas técnicas avaliam a funcionalidade do fluxo e não a morfologia vascular, não é possível concluir sobre a formação estrutural de novas colaterais. No conjunto da evidência disponível, não há aumento angiográfico consistente, sugerindo que o benefício primário observado é funcional, refletindo uma adaptação dinâmica da perfusão e da resposta vascular coronariana ao esforço.

Estudos com sete a doze meses de treinamento aeróbico supervisionado não demonstraram aumento significativo no número ou grau angiográfico de colaterais. A melhora clínica observada nesses protocolos, como maior tolerância ao esforço, menor isquemia e progressão mais lenta da doença coronariana, ocorreu independentemente da visualização de

novas colaterais, sugerindo que mecanismos adicionais estejam envolvidos. Entre eles, destacam-se a melhora da função endotelial, o remodelamento microvascular intramiocárdico, o aumento da eficiência hemodinâmica e a ativação de vias angiogênicas dependentes do estresse de cisalhamento (Yoshinaga et al., 2006; Laughlin et al., 2012; Winzer et al., 2018). Achados pontuais, como o aumento de VEGF sérico após treinamento isométrico intermitente acompanhado de melhora perfusional, sugerem que protocolos específicos e localizados podem, de fato, induzir resposta arteriogênica, ainda que as evidências sejam preliminares (Lin et al., 2014).

Características anatômicas e clínicas também se mostraram determinantes na eficácia colateral. A morfologia e a artéria doadora influenciaram diretamente a preservação perfusional: colaterais bem desenvolvidas associaram-se a maior proteção, enquanto padrões como *bridging* ou *ghosting* mostraram-se pouco eficazes (Seiler et al., 2013). Além disso, a modalidade e a intensidade do exercício parecem moduladores importantes: protocolos aeróbicos de intensidade moderada mostraram-se suficientes para ganhos funcionais, enquanto estímulos isquêmicos localizados, como a prensão manual, apresentaram maior potencial angiogênico (Möbius-Winkler et al., 2016; Winzer et al., 2018).

Do ponto de vista metodológico, a presente revisão identificou heterogeneidade entre os estudos incluídos. As diferenças de desenho experimental, intensidade e duração dos protocolos, métodos de mensuração do fluxo colateral e tamanho amostral limitaram comparações direta. Além disso, a predominância de amostras masculinas restringe a extrapolação dos resultados para mulheres, cujo perfil hormonal e metabólico pode alterar a resposta hemodinâmica ao exercício (Laughlin et al., 2012). Essa lacuna destaca a necessidade de estudos controlados e estratificados por sexo, dada a influência do metabolismo energético e dos hormônios esteroides sobre a angiogênese e o recrutamento colateral (Laughlin et al., 2012; Winzer et al., 2018).

Outro ponto relevante é a segurança das intervenções. A maioria dos estudos relatou ausência de efeitos adversos significativos, confirmando a boa tolerabilidade do exercício supervisionado em pacientes com DAC estável. Os poucos eventos registrados, como embolia aérea tratada, angina transitória ou dor torácica leve que motivou interrupção do exercício, foram esporádicos e sem consequências clínicas graves, o que reforça a viabilidade do exercício como ferramenta terapêutica e reabilitadora nesse perfil de pacientes (Kumbasar et al., 1998;

Möbius-Winkler et al., 2016; Kay et al., 2000; Togni et al., 2010; Lin et al., 2014; Niebauer et al., 1995).

Em termos de validade, embora existam limitações inerentes à heterogeneidade dos estudos, a convergência dos achados em torno da melhora funcional colateral fornece consistência interna e respaldo fisiológico às conclusões. Quando confrontados com modelos experimentais e estudos prévios, os resultados desta revisão corroboram a hipótese de que o exercício físico, especialmente em intensidades moderadas a altas, promove adaptações hemodinâmicas e endoteliais que melhoram o fluxo coronariano colateral e a tolerância à isquemia, ainda que sem evidência robusta de angiogênese estrutural mensurável.

As limitações dos estudos incluídos devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A maioria das amostras foi pequena, com períodos curtos de intervenção e heterogeneidade nos métodos de avaliação, com medidas variadas de funcionalidade colateral (CFI, perfusão por imagem, resposta isquêmica ao ECG). O uso concomitante de medicações antianginosas e vasodilatadoras, frequente nos protocolos, pode ter atenuado as respostas. A angiografia, ainda amplamente empregada, apresenta baixa sensibilidade para identificar vasos intramiocárdicos de pequeno calibre, o que ajuda a explicar a discrepância entre benefícios funcionais consistentes e ausência de evidência angiográfica de novas colaterais. Esses fatores, somados ao risco de viés identificado, reforçam a necessidade de cautela na extrapolação dos achados.

Outro aspecto relevante diz respeito ao número reduzido de estudos disponíveis. Observa-se que o último ensaio clínico controlado identificado foi publicado em 2016 (Möbius-Winkler et al., 2016), o que evidencia uma lacuna de quase uma década na literatura sobre o tema. Essa escassez pode ser atribuída a múltiplos fatores. O principal deles é o avanço das técnicas de revascularização e do tratamento farmacológico, que reduziu o número de pacientes com oclusões crônicas não revascularizadas, justamente o grupo em que a circulação colateral é mais acessível à avaliação funcional. Com a ampla disponibilidade do cateterismo precoce e do implante de *stents* farmacológicos, tornou-se eticamente difícil manter oclusões prolongadas para estudo hemodinâmico durante o exercício (Seiler, 2013; Winzer et al., 2018).

Além disso, as medidas diretas de funcionalidade colateral, como o *Collateral Flow Index* (CFI), dependem de procedimentos invasivos e de oclusão coronariana controlada, o que impõe riscos e limita o tamanho amostral dos ensaios (Pohl et al., 2003; Möbius-Winkler et al.,

2016). Soma-se a isso a dificuldade metodológica em diferenciar a formação estrutural de colaterais da melhora funcional transitória, o que exigiria seguimento prolongado e métodos de imagem de alta resolução, nem sempre disponíveis (Laughlin et al., 2012; Yoshinaga et al., 2006).

Apesar dessas limitações, os resultados reforçam a relevância clínica do exercício físico supervisionado na reabilitação cardiovascular. A capacidade de recrutar colaterais de forma imediata e otimizar o fluxo coronariano representa um mecanismo adicional de cardioproteção, somando-se a benefícios já consolidados, como melhora de sintomas, aumento da tolerância ao esforço e impacto positivo no prognóstico. A indução de novas colaterais em humanos, contudo, permanece incerta, provavelmente dependente da intensidade do estímulo, de condições anatômicas individuais e de fatores clínicos como idade e comorbidades.

Cabe destacar que esta é a primeira revisão sistemática a sintetizar, de maneira abrangente, as evidências disponíveis sobre os efeitos do exercício físico na formação e na funcionalidade da circulação colateral coronariana. Ao reunir estudos agudos e crônicos, com medidas diretas e indiretas de fluxo colateral, o presente trabalho fornece uma visão integrada do papel hemodinâmico e adaptativo do exercício, evidenciando tanto seu potencial funcional imediato quanto suas limitações estruturais. Essa abordagem permite consolidar o exercício físico supervisionado como ferramenta essencial na reabilitação de pacientes com doença arterial coronariana e orienta o desenvolvimento de futuras investigações com metodologias mais sensíveis e seguimento prolongado.

Em síntese, as evidências disponíveis indicam que o exercício físico exerce efeito robusto e consistente sobre a funcionalidade da circulação colateral coronariana, promovendo recrutamento imediato e melhora clínica relevante, ainda que a formação estrutural de novos vasos permaneça incerta. Esses achados reforçam o exercício supervisionado como ferramenta essencial na reabilitação da doença arterial coronariana e destacam a necessidade de ensaios clínicos maiores, com métodos mais sensíveis e seguimento prolongado, para esclarecer o real potencial angiogênico do treinamento físico.

CONCLUSÃO

O conjunto das evidências analisadas nesta revisão sistemática demonstra que o exercício físico exerce efeito positivo sobre a funcionalidade da circulação colateral coronariana em pacientes com doença arterial coronariana estável. Esse benefício manifesta-se principalmente por meio do recrutamento de colaterais preexistentes e da melhora da perfusão miocárdica, refletindo adaptações hemodinâmicas e endoteliais favoráveis à tolerância à isquemia.

Por outro lado, a evidência quanto à formação estrutural de novas colaterais permanece limitada e inconsistente, sugerindo que o principal impacto do exercício ocorre no plano funcional, e não morfológico. A ausência de aumento angiográfico expressivo nos estudos avaliados reforça a hipótese de que a resposta vascular ao exercício se dá predominantemente por mecanismos de dilatação, redistribuição do fluxo e modulação microvascular.

Os estudos incluídos apontam que o exercício físico, especialmente em intensidade moderada a alta e sob supervisão, é seguro, bem tolerado e capaz de promover melhorias mensuráveis na perfusão coronariana e no desempenho clínico, com incidência mínima de efeitos adversos. Ainda assim, a heterogeneidade metodológica e a predominância de amostras masculinas limitam a generalização dos resultados. A resposta hemodinâmica e metabólica ao exercício pode variar segundo o sexo e o perfil hormonal, o que destaca a necessidade de futuras pesquisas controladas e estratificadas por gênero, utilizando medidas diretas do fluxo colateral e protocolos padronizados de exercício.

Em síntese, o exercício físico representa uma estratégia não farmacológica promissora para otimizar a perfusão miocárdica e potencializar a circulação colateral coronariana. Sua incorporação em programas de reabilitação cardiovascular pode contribuir para reduzir a isquemia, melhorar o prognóstico e ampliar a qualidade de vida de pacientes com DAC estável, reforçando seu papel como componente fundamental na abordagem terapêutica contemporânea. Entretanto, é importante que novos estudos, com delineamentos metodológicos mais robustos e padronização de protocolos de exercício, sejam conduzidos para consolidar e expandir as evidências disponíveis sobre a formação e funcionalidade da circulação colateral coronariana.

DECLARAÇÕES

O autor declara que não possui conflitos de interesse relacionados à publicação deste artigo.

Esta pesquisa não recebeu apoio financeiro específico de agências de fomento, do setor público, comercial ou de organizações sem fins lucrativos.

Os dados utilizados neste estudo estão disponíveis mediante solicitação razoável ao autor correspondente.

REFERÊNCIAS

BONETTI, F. *et al.* Coronary collaterals reduce the duration of exercise-induced ischemia by allowing a faster recovery. **American Heart Journal**, v. 124, n. 1, p. 138-143, 1992.

CHILIAN, W. M. Coronary collateral circulation: determinants and functional significance in ischemic heart disease. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 20, n. 3, p. 559-568, 1992.

CHILIAN, W. M. *et al.* Coronary collateral growth—Back to the future. **Journal of Molecular and Cellular Cardiology**, v. 52, n. 5, p. 905-911, 2012.

CONNER, J. F.; WENGER, N. K.; ELLESTAD, M. H. Effects of exercise on coronary collateralization—angiographic studies of six patients in a supervised exercise program. **Medicine and Science in Sports**, v. 8, n. 3, p. 169-175, 1976.

FERGUSON, R. J. *et al.* Effect of physical training on treadmill exercise capacity, collateral circulation and progression of coronary disease. **American Journal of Cardiology**, v. 34, n. 6, p. 764-769, 1974.

FREEDMAN, S. B.; ISNER, J. M. Therapeutic angiogenesis for coronary artery disease. **Annals of Internal Medicine**, v. 136, n. 1, p. 54-71, 2002.

FUJITA, M. *et al.* Determinants of collateral development in patients with coronary artery disease. **Circulation**, v. 76, n. 6, p. 1183-1190, 1987.

FUJITA, M.; TAMBARA, K. Recent insights into human coronary collateral development. **Heart**, v. 90, n. 3, p. 246-250, 2004.

GBD 2021 HEALTH METRICS. Global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990–2022. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 82, n. 17, p. 1630-1663, 2023. Disponível em: <https://www.healthdata.org/research-analysis/library/global-burden-cardiovascular-diseases-and-risks-1990-2022>. Acesso em: 12 nov. 2025.

HARTLEY, L. H. *et al.* Physical training in coronary heart disease. **Circulation**, v. 47, n. 4, p. 720-728, 1973.

- HEAPS, C. L.; PARKER, J. L. Effects of exercise training on coronary collateralization and control of collateral resistance. **Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 2, p. 587-598, 2011.
- HOLMBERG, S.; SERZYSKO, W.; VARNAUSKAS, E. Coronary circulation during heavy exercise in control subjects and patients with coronary heart disease. **Acta Medica Scandinavica**, v. 190, n. 6, p. 465-480, 1971.
- KAY, P.; KITTELSON, J.; STEWART, R. A. H. Collateral recruitment and “warm-up” after first exercise in ischemic heart disease. **American Heart Journal**, v. 140, n. 6, p. 951-957, 2000.
- KUMBASAR, S. D. *et al.* Effect of coronary collateral circulation on exercise stress test. **Angiology**, v. 49, n. 1, p. 45-52, 1998.
- LAUGHLIN, M. H.; BOWLES, D. K.; DUNCKER, D. J. The coronary circulation in exercise training. **American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology**, v. 302, n. 1, p. H10-H23, 2012.
- LIN, S. *et al.* Human coronary collateral recruitment is facilitated by isometric exercise during acute coronary occlusion. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 44, n. 4, p. 340-344, 2012.
- LIN, S. *et al.* Physical ischaemia induced by isometric exercise facilitated collateral development in the remote ischaemic myocardium of humans. **Clinical Science**, v. 126, n. 8, p. 557-566, 2014.
- MIYAKODA, H. *et al.* Perfusion reserve of coronary collateral circulation and its significance in the development of exercise-induced ischemia in patients with multivessel disease. **Japanese Circulation Journal**, v. 58, n. 10, p. 709-718, 1994.
- MÖBIUS-WINKLER, S. *et al.* Coronary collateral growth induced by physical exercise: results of the EXCITE trial. **Circulation Research**, v. 119, n. 7, p. 876-887, 2016.
- NIEBAUER, J. *et al.* Impact of intensive physical exercise and low-fat diet on collateral vessel formation in stable angina pectoris and angiographically confirmed coronary artery disease. **American Journal of Cardiology**, v. 76, n. 11, p. 771-775, 1995.
- NOLEWAJKA, A. J. *et al.* Exercise and human collateralization: an angiographic and scintigraphic assessment. **Circulation**, v. 60, n. 6, p. 114-123, 1979.
- POHL, T. *et al.* Exercise-induced human coronary collateral function: quantitative assessment during acute coronary occlusions. **Cardiology**, v. 100, n. 1, p. 53-60, 2003.
- SEILER, C. *et al.* The human coronary collateral circulation: development and clinical importance. **European Heart Journal**, v. 34, n. 34, p. 2674-2682, 2013.
- STERNE, J. A. C. *et al.* RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. **BMJ**, v. 366, 14898, 2019.

STERNE, J. A. C.; HIGGINS, J. P. T.; REEVES, B. C. *et al.* ROBINS-I (version 2): Risk of Bias in Non-randomized Studies of Interventions. **Cochrane Bias Methods Group**, 2023. Disponível em: <https://www.riskofbias.info/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

TOGNI, M. *et al.* Instantaneous coronary collateral function during supine bicycle exercise. **European Heart Journal**, v. 31, n. 2, p. 214-221, 2010.

WAINWRIGHT, R. J. *et al.* Functional significance of coronary collateral circulation during dynamic exercise evaluated by thallium-201 myocardial scintigraphy. **Heart**, v. 44, n. 2, p. 117-127, 1980.

WATANABE, T. *et al.* Significance of downsloping ST-segment depression induced by low-level exercise in severe coronary artery disease: assessment with myocardial ischemia and collateral perfusion. **Japanese Heart Journal**, v. 38, n. 5, p. 595-607, 1997.

WERNER, G. S. The role of coronary collaterals in chronic total occlusions. **Current Cardiology Reviews**, v. 10, n. 1, p. 57-64, 2014.

WINZER, E. B.; WOITEK, F.; LINKE, A. Physical activity in the prevention and treatment of coronary artery disease. **Journal of the American Heart Association**, v. 7, n. 4, e007725, 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Cardiovascular diseases (CVDs)* [Internet]. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-%28cvds%29>. Acesso em: 12 nov. 2025.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso e a elaboração do artigo científico representam a concretização de um processo de intensa dedicação acadêmica. Os objetivos propostos foram alcançados, e o estudo conseguiu reunir e analisar criticamente as evidências disponíveis sobre os efeitos do exercício físico na formação e na funcionalidade da circulação colateral coronariana. De modo geral, observou-se que o exercício, sobretudo quando supervisionado, favorece o recrutamento funcional imediato das colaterais, ainda que a formação estrutural de novos vasos permaneça sem comprovação definitiva.

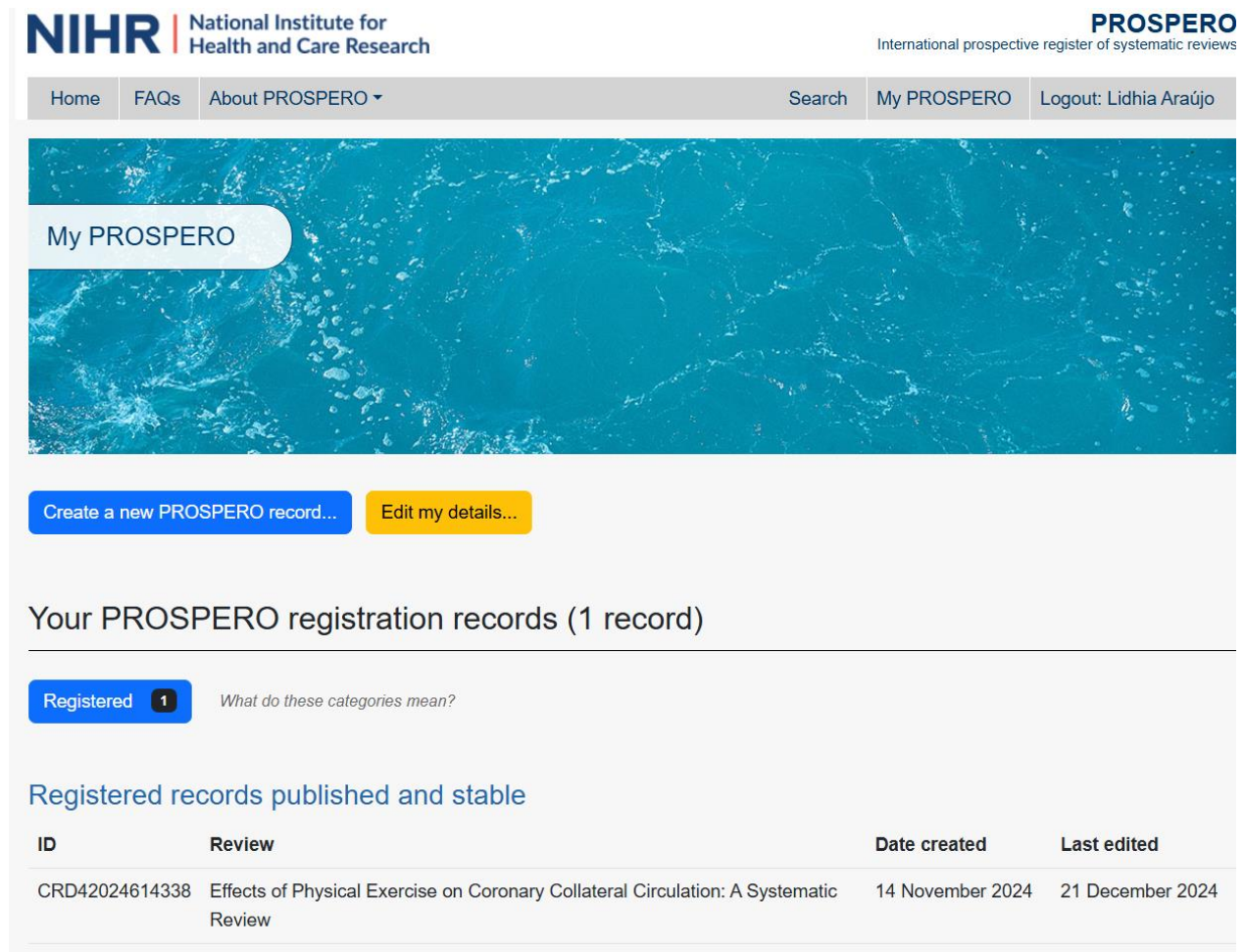
A realização desta revisão sistemática foi um processo desafiador e, ao mesmo tempo, extremamente enriquecedor. Cada etapa contribuiu para o aprimoramento científico e pessoal, reforçando a importância da pesquisa baseada em evidências e o papel essencial da investigação criteriosa para o avanço do conhecimento na área da reabilitação cardiovascular.

Concluir este trabalho representa o fechamento de um ciclo importante da minha trajetória acadêmica. Foi um processo de muito aprendizado, disciplina e superação, que exigiu esforço, paciência e constância para ser concluído da melhor forma possível. Desenvolver uma revisão sistemática sobre um tema ainda pouco explorado no contexto nacional é motivo de satisfação e orgulho, além de servir como incentivo para que novas pesquisas aprofundem a compreensão sobre os mecanismos de adaptação coronariana ao exercício.

Registro meus agradecimentos aos professores que acompanharam e orientaram este percurso: Dr^a Ivana Loraine Lindemann, Dr. Gustavo Olszanski Acrani, Dr^a Renata dos Santos Rabello e Dr^a Shana Ginar da Silva, pela orientação constante, paciência e dedicação em todas as etapas do projeto. Este trabalho simboliza o encerramento de uma etapa importante e o início de uma nova fase de aprendizado contínuo, proporcionando um amadurecimento científico e compreensão aprofundada sobre o papel do exercício físico na adaptação coronariana.

5 ANEXOS

Anexo 01 – Registro no PROSPERO, sob o número de identificação CRD42024614338



The screenshot shows the PROSPERO website interface. At the top left is the NIHR logo (National Institute for Health and Care Research). At the top right is the PROSPERO logo (International prospective register of systematic reviews). A navigation bar contains links for Home, FAQs, About PROSPERO, Search, My PROSPERO, and Logout: Lidhia Araújo. Below the navigation bar is a large blue banner with the text "My PROSPERO". Underneath the banner are two buttons: "Create a new PROSPERO record..." and "Edit my details...". The main content area is titled "Your PROSPERO registration records (1 record)". Below this title is a "Registered" button with a count of "1" and a link "What do these categories mean?". Underneath is a section titled "Registered records published and stable" which contains a table with one record.

NIHR | National Institute for Health and Care Research

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews

Home | FAQs | About PROSPERO ▾ | Search | My PROSPERO | Logout: Lidhia Araújo

My PROSPERO

Create a new PROSPERO record... | Edit my details...

Your PROSPERO registration records (1 record)

Registered **1** [What do these categories mean?](#)

Registered records published and stable

ID	Review	Date created	Last edited
CRD42024614338	Effects of Physical Exercise on Coronary Collateral Circulation: A Systematic Review	14 November 2024	21 December 2024