DESENVOLVIMENTO DE FIBRAS MUSCULARES OXIDATIVAS E SUA ASSOCIAÇÃO COM A REDUÇÃO DO RISCO CARDIOVASCULAR E AUMENTO DA SOBREVIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

DEVELOPMENT OF OXIDATIVE MUSCLE FIBERS AND THEIR ASSOCIATION WITH REDUCED CARDIOVASCULAR RISK AND INCREASED SURVIVAL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

AUTORES: Kenia Aparecida Vaz da Costa Santos[1], discente do curso de Medicina na Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns; Milena Vieira Feitosa[1], discente do curso de Medicina na Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns; Pedro Afonso Primo de Carvalho Cruz[1], discente do curso de Medicina na Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns; Prof. Dr. Bel. Jose Adelson Alves do Nascimento Junior[2], docente da Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns; Fabricio Dalton Lima Souza[1], discente do curso de Medicina na Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns, autor principal e autor correspondente (fabriciodaltonlima@gmail.com).

[1] Acadêmicos do curso de Medicina da Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns.
[2] Docente da Faculdade de Ciências Médicas AFYA-Garanhuns.

EIXO: Saúde

Resumo

As fibras musculares oxidativas, representadas principalmente pelas fibras do tipo I e pelas fibras do tipo IIa, caracterizam-se por elevada densidade mitocondrial, abundante vascularização capilar e grande capacidade de utilização de ácidos graxos e glicose como substratos energéticos durante a produção de ATP. O aumento da proporção dessas fibras no músculo esquelético, induzido principalmente pelo treinamento aeróbico e pelo exercício físico regular, está associado à melhora da sensibilidade à insulina, à redução do estado inflamatório sistêmico, ao menor desenvolvimento de obesidade visceral e síndrome metabólica e à diminuição da mortalidade cardiovascular e da mortalidade por todas as causas. O objetivo desta revisão sistemática foi avaliar as evidências científicas atuais acerca do remodelamento muscular em direção a um fenótipo oxidativo e seus impactos sobre o risco cardiovascular, a qualidade de vida e a sobrevida de indivíduos saudáveis, atletas e pacientes portadores de doenças cardiometabólicas. Os resultados encontrados demonstram que a predominância de fibras oxidativas promove adaptações metabólicas e vasculares capazes de reduzir significativamente a incidência de doenças cardiovasculares e contribuir para o envelhecimento saudável e funcional.

Palavras-chave: fibras musculares oxidativas; risco cardiovascular; remodelamento muscular; metabolismo oxidativo; exercício físico; longevidade.

INTRODUÇÃO

O músculo esquelético corresponde a aproximadamente quarenta por cento da massa corporal total e desempenha papel central na homeostase metabólica, sendo o principal órgão responsável pela captação periférica de glicose estimulada pela insulina e pela oxidação de

lipídios. Dessa forma, alterações na composição das fibras musculares possuem repercussões diretas sobre o metabolismo sistêmico e, consequentemente, sobre o risco cardiovascular e a expectativa de vida dos indivíduos. As fibras musculares são tradicionalmente classificadas em fibras do tipo I, caracterizadas por metabolismo predominantemente oxidativo e contração lenta, fibras do tipo IIa, que apresentam metabolismo oxidativo intermediário e elevada resistência à fadiga, e fibras do tipo IIx, cuja principal característica é o metabolismo glicolítico e a elevada produção de força em curto período de tempo. Embora alguns autores utilizem informalmente a expressão “fibras tipo III oxidativas”, a nomenclatura histológica atualmente aceita considera as fibras rápidas oxidativas como pertencentes ao subtipo IIa.

As fibras oxidativas apresentam grande concentração de mitocôndrias, elevados níveis de mioglobina, extensa rede capilar e maior atividade das enzimas relacionadas ao metabolismo aeróbico, permitindo maior eficiência energética e menor produção de metabólitos inflamatórios decorrentes da glicólise anaeróbica. Tais características favorecem a manutenção da homeostase metabólica, a preservação da função endotelial e a redução do desenvolvimento de doenças cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 e obesidade. Dessa forma, compreender os mecanismos envolvidos na transição fenotípica das fibras musculares para um perfil predominantemente oxidativo torna-se relevante tanto para indivíduos saudáveis quanto para atletas e pacientes portadores de doenças crônicas.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática da literatura por meio da busca de artigos científicos indexados nas bases de dados PubMed/MEDLINE, SCIELO.Foram utilizados os descritores “oxidative muscle fibers”, “muscle fiber type switching”, “mitochondrial remodeling”, “cardiovascular risk”, “exercise-induced muscle adaptation”, “quality of life” e “survival”, combinados pelos operadores booleanos AND e OR. Foram incluídos estudos clínicos, revisões sistemáticas, metanálises e estudos experimentais publicados entre os anos de 2020 e 2026, escritos em língua inglesa, portuguesa ou espanhola e que abordassem a relação entre remodelamento muscular oxidativo e desfechos cardiovasculares, metabólicos ou relacionados à sobrevida. Foram excluídos relatos de casos, artigos duplicados e estudos que não apresentavam desfechos clínicos ou fisiológicos relacionados ao risco cardiovascular ou à qualidade de vida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos avaliados demonstraram de forma consistente que o aumento da proporção de fibras musculares oxidativas está associado à melhora significativa da sensibilidade à insulina e ao aumento da captação periférica de glicose. Esse fenômeno ocorre principalmente devido ao aumento da expressão dos transportadores GLUT-4, da proteína quinase ativada por AMP (AMPK) e do coativador transcricional PGC-1α, considerado atualmente o principal regulador da biogênese mitocondrial e da diferenciação das fibras musculares em direção ao fenótipo oxidativo.[1–3] Como consequência, indivíduos com maior proporção de fibras oxidativas apresentam menor prevalência de resistência insulínica, diabetes mellitus tipo 2 e síndrome metabólica.[1,4]

Além disso, as fibras oxidativas apresentam elevada capacidade de utilização de ácidos graxos como substrato energético, contribuindo para a redução do acúmulo de gordura visceral e para a diminuição da produção de citocinas pró-inflamatórias derivadas do tecido adiposo. Esse mecanismo reduz significativamente a inflamação sistêmica crônica de baixo grau, atualmente reconhecida como um dos principais fatores envolvidos na gênese da aterosclerose, da hipertensão arterial sistêmica e da insuficiência cardíaca.[1,5]

Outro mecanismo relevante consiste na secreção aumentada de mioquinas anti-inflamatórias pelo músculo oxidativo, incluindo irisina, interleucina-10, fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) e interleucina-6 produzida durante o exercício físico, cuja ação difere daquela observada em processos inflamatórios crônicos. Essas moléculas contribuem para a melhora da função endotelial, redução da rigidez arterial e diminuição da progressão das placas ateroscleróticas.[5,7]Os estudos também demonstraram que indivíduos com maior predominância de fibras oxidativas apresentam maior produção de óxido nítrico pelo endotélio vascular, maior densidade capilar muscular e melhor perfusão tecidual, resultando em redução da pressão arterial e menor incidência de hipertensão arterial sistêmica. Esses efeitos são particularmente relevantes em pacientes portadores de insuficiência cardíaca, diabetes mellitus e obesidade, nos quais o comprometimento da função endotelial representa importante fator prognóstico negativo.[1,5]

O remodelamento das fibras musculares em direção ao fenótipo oxidativo ocorre principalmente por meio da ativação da via PGC-1α, responsável pela indução da biogênese mitocondrial, aumento da expressão de enzimas oxidativas e promoção da angiogênese muscular. O estudo clássico de Lin *et al*. demonstrou que a ativação dessa via é capaz de

induzir a formação de fibras musculares lentas oxidativas e aumentar substancialmente a resistência à fadiga muscular.[4]

Evidências mais recentes reforçam a importância desse mecanismo. Uma revisão publicada em 2025 demonstrou que o treinamento físico promove adaptações específicas dependentes do tipo de fibra muscular, aumentando significativamente a capacidade oxidativa e a resistência muscular em seres humanos.[8] Outro estudo publicado em 2025 identificou novos alvos terapêuticos voltados especificamente para a preservação e o estímulo de fibras oxidativas, sugerindo potencial benefício para pacientes com sarcopenia, insuficiência cardíaca e síndrome metabólica.[9]

Estudos publicados em 2026 envolvendo atletas de endurance demonstraram que indivíduos com elevada capacidade oxidativa muscular apresentavam menor incidência de eventos cardiovasculares ao longo da vida e melhor manutenção da capacidade funcional durante o envelhecimento, sugerindo que as adaptações musculares promovidas pelo exercício regular podem exercer efeito protetor duradouro sobre o sistema cardiovascular.[10]

Adicionalmente, pesquisas recentes têm demonstrado que o exercício físico promove modificações epigenéticas capazes de aumentar de forma sustentada a expressão de genes relacionados ao metabolismo oxidativo e à função mitocondrial, favorecendo a manutenção dessas adaptações ao longo do tempo e contribuindo para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis.[7,8]

CONCLUSÃO

O desenvolvimento e a predominância de fibras musculares oxidativas constituem um dos principais mecanismos fisiológicos responsáveis pela proteção cardiovascular observada em indivíduos fisicamente ativos, atletas e pacientes submetidos a programas de treinamento físico supervisionado. O remodelamento muscular em direção a um perfil oxidativo promove melhora da sensibilidade à insulina, redução da inflamação sistêmica, diminuição da progressão da aterosclerose, melhora da função endotelial e redução da pressão arterial, contribuindo significativamente para a redução do risco cardiovascular e da mortalidade por todas as causas.[1–5]

Além disso, o aumento da capacidade oxidativa muscular associa-se à melhor qualidade de vida, maior independência funcional e maior sobrevida durante o envelhecimento.[5],[8] Dessa forma, estratégias terapêuticas e programas de exercício capazes de estimular a biogênese mitocondrial e a transição das fibras glicolíticas para fibras oxidativas representam importantes ferramentas preventivas e terapêuticas para doenças cardiometabólicas e para a promoção da longevidade saudável.[4],[7–9]

REFERÊNCIAS

1. Booth FW, Roberts CK, Laye MJ. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. Compr Physiol. 2012
2. Van Loon LJC, Goodpaster BH. Increased intramuscular lipid storage in the insulin-resistant and endurance-trained state. Pflugers Arch. 2006
3. Schiaffino S, Reggiani C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. Physiol Rev. 2011;
4. Lin J, Wu H, Tarr PT, Zhang CY, Wu Z, Boss O, *et al*. Transcriptional co-activator PGC-1α drives the formation of slow-twitch muscle fibres. Nature. 2002;
5. Powers SK, Morton AB, Hyatt H, Hudson MB. Oxidative stress and exercise adaptations in skeletal muscle. Free Radic Biol Med. 2016;
6. Wang Y, Li X, Zhang H, *et al*. Exercise couples mitochondrial function with skeletal muscle fiber remodeling. Free Radic Biol Med. 2024;.
7. Bonafiglia JT, *et al*. Fiber type-specific adaptations to exercise training in human skeletal muscle. Sports Med. 2025.
8. Howard E, *et al*. Combating muscle atrophy: emerging therapeutic targets that are fiber type specific. FEBS J. 2025.
9. Sellinger T. Q&A: What new data reveal about endurance athletes' cardiac risk. Medscape Cardiology. 2026.
10. Wang Y, *et al*. Exercise couples mitochondrial function with skeletal muscle fiber remodeling. Free Radic Biol Med. 2024;