

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

Raimundo Lucas Gomes Mateus dos Santos

**COMPORTAMENTO DA DESOXIGENAÇÃO E REOXIGENAÇÃO MUSCULAR
DURANTE O INCREMENTAL SHUTTLE WALKING TEST EM INDIVÍDUOS COM
DOENÇA ARTERIAL PERIFÉRICA**

Belo Horizonte
2025

Raimundo Lucas Gomes Mateus dos Santos

**COMPORTAMENTO DA DESOXIGENAÇÃO E REOXIGENAÇÃO MUSCULAR
DURANTE O INCREMENTAL SHUTTLE WALKING TEST EM INDIVÍDUOS COM
DOENÇA ARTERIAL PERIFÉRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Fisioterapia da Escola de
Educação Física, Fisioterapia e Terapia
Ocupacional da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Fisioterapia.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Danielle Aparecida
Gomes Pereira

Coorientador(a): MSc. Patrícia Paulino Geisel

Belo Horizonte

2025

RESUMO

A Doença Arterial Periférica (DAP) é uma das manifestações clínicas da aterosclerose. Caracteriza-se pela obstrução parcial ou total de artérias periféricas, com redução do fluxo sanguíneo e da oxigenação distal à lesão, acomete, predominantemente, os membros inferiores. Seu principal sintoma, a claudicação intermitente, é consequência da isquemia muscular induzida pela caminhada, levando à limitação da capacidade funcional. O estudo visa avaliar o comportamento da desoxigenação e reoxigenação muscular durante o Incremental Shuttle Walking Test (ISWT) em indivíduos com DAP. Trata-se de um estudo descritivo. Foram incluídos indivíduos com diagnóstico de DAP, índice tornozelo-braquial (ITB) $< 0,9$, queixa de claudicação intermitente e idade igual ou superior a 18 anos. Os critérios de exclusão foram dor em repouso, limitações neuromusculoesqueléticas, respiratórias, cognitivas ou qualquer condição que contraindicasse o esforço físico. A capacidade funcional foi avaliada por meio do ISWT, tendo como desfecho principal a distância total percorrida. A oxigenação muscular foi mensurada por espectroscopia de luz próxima ao infravermelho (NIRS), com o dispositivo fixado no gastrocnêmio medial do membro mais sintomático. As variáveis analisadas foram: delta de saturação tecidual muscular de oxigênio (StO_2), tempo e taxa de desoxigenação, Tempo total de retorno aos valores iniciais de StO_2 (T100), 50% do tempo (T50) e taxa de reoxigenação. A análise dos dados foi realizada no software OxySoft, sendo os resultados expressos em média \pm desvio-padrão, percentual ou percentis, conforme a distribuição dos dados avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foram incluídos 60 participantes, dos quais 60% eram do sexo masculino, 26,7% tabagistas ativos e 60% ex-tabagistas. A maioria apresentava comorbidades, sendo 85% com hipertensão arterial sistêmica (HAS), 35% com diabetes mellitus (DM) e 33% com doença arterial coronariana (DAC). A média de idade foi de $66,62 \pm 10,42$ anos e o IMC de $27,26 \pm 4,81 \text{ kg/m}^2$. Os valores médios do ITB foram $0,65 \pm 0,18$ (direito) e $0,63 \pm 0,17$ (esquerdo). A análise do comportamento da oxigenação muscular demonstrou uma queda abrupta da StO_2 no início do ISWT, seguida de uma recuperação gradual no pós-teste. A taxa de desoxigenação apresentou valores elevados, indicando uma redução rápida da StO_2 , enquanto a taxa de reoxigenação foi menor, caracterizando um retorno mais lento aos níveis basais. O estudo demonstrou que o ISWT é um teste capaz de reproduzir o comportamento típico de desoxigenação rápida e reoxigenação muscular periférica lenta em indivíduos com DAP. Nesse sentido, o instrumento pode ser uma alternativa promissora para avaliar a capacidade funcional de indivíduos com DAP.

Palavras-chave: doença arterial periférica; oxigenação muscular; espectroscopia de luz próxima ao infravermelho; incremental shuttle walking test.

ABSTRACT

Peripheral Arterial Disease (PAD) is a clinical manifestation of atherosclerosis. It is characterized by partial or total obstruction of peripheral arteries, leading to reduced blood flow and oxygenation distal to the lesion, predominantly affecting the lower limbs. Its main symptom, intermittent claudication, is a consequence of muscle ischemia induced by walking, resulting in functional capacity limitation. This study aims to evaluate the behavior of muscle deoxygenation and reoxygenation during the Incremental Shuttle Walking Test (ISWT) in individuals with PAD. This is a descriptive study. Individuals diagnosed with PAD, ankle-brachial index (ABI) < 0.9 , with intermittent claudication, and aged 18 years or older were included. Exclusion criteria were rest pain, neuromusculoskeletal, respiratory, or cognitive limitations, or any condition that contraindicated physical exertion. Functional capacity was assessed using the ISWT, with the main outcome being the total distance walked. Muscle oxygenation was measured using near-infrared spectroscopy (NIRS), with the device placed on the medial gastrocnemius of the most symptomatic limb. The variables analyzed were: delta of muscle tissue oxygen saturation (ΔStO_2), time and rate of deoxygenation, total time to return to baseline StO_2 values (T100), 50% of the recovery time (T50), and rate of reoxygenation. Data analysis was performed using OxySoft software, and the results were expressed as mean \pm standard deviation, percentage, or percentiles, according to data distribution assessed by the Shapiro-Wilk test. A total of 60 participants were included, of whom 60% were male, 26.7% were current smokers, and 60% were former smokers. Most participants had comorbidities, with 85% diagnosed with systemic arterial hypertension, 35% with diabetes mellitus, and 33% with coronary artery disease. The mean age was 66.62 ± 10.42 years and the mean body mass index was 27.26 ± 4.81 kg/m². The mean ABI values were 0.65 ± 0.18 (right) and 0.63 ± 0.17 (left). The analysis of muscle oxygenation behavior demonstrated an abrupt decrease in StO_2 at the beginning of the ISWT, followed by a gradual recovery after the end of the test. The deoxygenation rate showed high values, indicating a rapid reduction in StO_2 , while the reoxygenation rate was lower, characterizing a slower return to baseline levels. The study demonstrated that the ISWT is a test capable of reproducing the typical pattern of rapid peripheral muscle deoxygenation and slow reoxygenation in individuals with PAD. Therefore, the instrument may be a promising alternative for assessing the functional capacity of individuals with PAD.

Keywords: peripheral arterial disease; near-infrared spectroscopy; incremental shuttle walking test; muscle oxygenation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação gráfica das variáveis do estudo em um teste de esforço... 9

Figura 2 - Representação gráfica do comportamento da StO₂ durante o ISWT..... 1

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados antropométricos e clínicos	10
Tabela 2 - Resultados da oxigenação muscular durante o ISWT e durante o período de recuperação	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVE	Acidente vascular encefálico
CI	Claudicação intermitente
DAC	Doença arterial coronariana
DAP	Doença arterial periférica
DM	Diabetes mellitus
FC	Frequência cardíaca
IMC	Índice de massa corporal
ISWT	Incremental Shuttle Walking Test
HAS	Hipertensão arterial sistêmica
HbO ₂	Oxihemoglobina
HHb	Deoxihemoglobina
IAM	Infarto agudo do miocárdio
ITB	Índice Tornozelo Braquial
NIRS	Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho
StO ₂	Saturação tecidual muscular de oxigênio
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
T100	Tempo total de retorno aos valores iniciais de StO ₂
T50	50% do tempo para retorno aos valores iniciais de StO ₂
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	13
3 MÉTODOS	13
3.1 Local de realização	13
3.2 Amostra: critérios de inclusão e exclusão	14
3.3 Incremental Shuttle Walking Test (ISWT)	14
3.4 Espectroscopia por luz próxima ao infravermelho (NIRS)	15
3.5 Procedimentos de coleta	16
3.6 Análise dos dados	17
4 RESULTADOS	17
5 DISCUSSÃO	19
6 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

A aterosclerose é amplamente descrita na literatura como uma doença de alta complexidade, inflamatória, crônica e sistêmica, que se associa à disfunção endotelial (Castro, 2020; Wolf, 2016). O desenvolvimento dos ateromas está relacionado a fatores de risco como a hipertensão arterial sistêmica (HAS), o diabetes mellitus (DM), a dislipidemia e o tabagismo (Gerhard-Herman *et al.*, 2017). A progressão da aterosclerose tem como possíveis consequências condições cardiovasculares relevantes, como o infarto agudo do miocárdio (IAM) e acidente vascular encefálico (AVE) (Garcia-Cerdeña, 2016).

Destaca-se como uma de suas apresentações clínicas a Doença Arterial Periférica (DAP), cuja principal causa é o processo aterosclerótico, responsável por 95% dos casos (Nordanstig *et al.*, 2023). A DAP é definida como a obstrução parcial ou total de artérias periféricas, com consequente diminuição do fluxo e da oxigenação distal à lesão (Askew *et al.*, 2014). A doença acomete, na maior parte dos casos, os membros inferiores – sobretudo a musculatura do tríceps sural (Campia *et al.*, 2019) – podendo afetar também os membros superiores. Atualmente, a DAP é marcada por sua alta prevalência; estima-se que, no mundo, mais de 200 milhões de pessoas são afetadas pela condição (Shamaki *et al.*, 2022).

Existem diversos recursos capazes de diagnosticar, caracterizar e classificar a DAP, seja quanto à localização e gravidade da lesão obstrutiva, à presença e qualidade do fluxo periférico de macrocirculação e de microcirculação, ou sintomatologia autorrelatada. O diagnóstico de DAP normalmente é realizado por meio do histórico do paciente em conjunto ao exame físico e ao Índice Tornozelo Braquial (ITB) (Gornik *et al.*, 2024). Embora esses métodos sejam eficazes para o manejo clínico, por serem realizados em repouso, não são capazes de analisar o transporte de oxigênio e o metabolismo oxidativo muscular fisiológico (Jones *et al.*, 2016; Vardi; Nini, 2008). Isso é particularmente importante, pois o principal sintoma da DAP – a claudicação intermitente (CI) – está associado à isquemia na musculatura

periférica durante a atividade física, especialmente a caminhada, o que resulta em declínio da capacidade funcional (Hageman D *et al.*, 2018). A CI é definida como dor, desconforto ou câimbra induzidos pelo esforço durante a marcha, com alívio ao repouso (Narula *et al.*, 2020).

Nesse contexto, torna-se importante a avaliação objetiva dessa população durante o esforço. A espectroscopia de luz próxima ao infravermelho ou *near infrared spectroscopy* (NIRS) tem sido utilizada em muitos estudos por ser um instrumento capaz de analisar o comportamento fisiológico da disponibilidade de oxigênio em detrimento ao metabolismo muscular periférico (Manfredini *et al.*, 2020). Ademais, por ser um aparelho de fácil acoplamento, é possível que a dinâmica da oxigenação tecidual seja acompanhada durante o repouso, mensurando os níveis basais de oxigenação, assim como a resposta dessas variáveis durante avaliação clínica funcional desses indivíduos (Cornelis *et al.* 2021, Faria *et al.* 2022). Com isso, é possível definir de forma objetiva o desequilíbrio entre oferta e demanda de oxigênio e a avaliar a capacidade oxidativa da musculatura periférica.

Atualmente o teste de caminhada na esteira, realizado com velocidade e inclinação constantes, é considerado o padrão ouro para a mensuração da capacidade funcional de indivíduos com DAP (Henni *et al.*, 2019). Entretanto, alguns fatores são limitantes para sua aplicabilidade na prática clínica, como o alto custo do ergômetro, a necessidade de profissionais treinados (Zwierska *et al.*, 2004) e a alta complexidade da caminhada exigida pela esteira, haja vista que muitos pacientes não são familiarizados, por não terem acesso ao recurso. Além disso, a padronização do protocolo é desafiadora, devido à heterogeneidade dos níveis de limitação funcional e de sintomatologia dos indivíduos, sendo a carga inicial imposta excessiva para pessoas com maior comprometimento funcional (Nicolaï *et al.*, 2009).

Em contrapartida, o *Incremental Shuttle Walking Test* (ISWT) tem se mostrado como uma alternativa para atenuar essas limitações. Esse teste tem como desfecho primário a distância caminhada, a qual é avaliada no solo, atividade similar ao habitual, isso ocorre por meio do cadenciamento externo

atrelado ao incremento de intensidade. Trata-se de uma ferramenta de baixo custo, fácil aplicação, com necessidade de pouco espaço, é reproduzível e já validado para indivíduos com DAP (Cunha-Filho *et al.*, 2007), além de não apresentar necessidade de familiarização como no teste realizado em esteira (Zwierska *et al.*, 2004).

Contudo, ainda existem poucos estudos que exploram as respostas musculares fisiológicas em testes funcionais, sobretudo quanto ao seu comportamento, sintomatologia e limitação funcional resultantes da CI na população com DAP. Por ser acessível aos centros de reabilitação, a análise dessas respostas durante o ISWT fornece informações relevantes no contexto clínico, tanto para a prescrição individualizada do treinamento físico quanto para mensurar a evolução com o tratamento fisioterapêutico. Dessa forma, torna-se importante investigar com detalhamento as respostas metabólicas diante da oxigenação da musculatura periférica, por meio do uso da NIRS, durante um teste incremental de caminhada no solo.

2 OBJETIVO

Avaliar o comportamento da desoxigenação e reoxigenação muscular durante o ISWT em indivíduos com DAP.

3 MÉTODOS

Trata-se de um estudo descritivo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (CAEE: 51042621.5.0000.5149). Os indivíduos recrutados para o estudo foram orientados sobre os procedimentos de pesquisa e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

3.1 Local de realização

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

3.2 Amostra: critérios de inclusão e exclusão

O recrutamento da amostra foi realizado no Hospital das Clínicas da UFMG, serviço público de saúde, por meio do encaminhamento médico realizado pelo serviço de cirurgia vascular. Foram elegíveis aqueles com diagnóstico de DAP, com pelo menos 18 anos de idade, que apresentassem índice tornozelo-braço (ITB) menor que 0,9, com queixa de claudicação intermitente. Os critérios de exclusão considerados foram dor ao repouso, condições neuromusculoesqueléticas, respiratórias ou alterações de marcha limitantes para caminhar, comprometimento cognitivo, além de qualquer outra condição de saúde que contraindicasse o esforço físico. O nível de comprometimento cognitivo foi avaliado pelo Mini-Exame do Estado Mental, sendo não elegíveis aqueles com escore inferior ao ponto de corte referente à população a qual se enquadra (Bertolucci *et al.*, 1994).

3.3 Incremental Shuttle Walking Test (ISWT)

O ISWT foi utilizado para avaliação da capacidade funcional submáxima, sendo seu desfecho principal a distância total de caminhada (Agarwal *et al.*, 2016). É um teste de campo que tem como vantagens ser um método de avaliação de baixo custo, confiável e validado para avaliação de indivíduos com

DAP (Cunha-Filho *et al.*, 2007), exigindo poucos recursos. O teste é realizado em uma pista de 10 metros, com cadência externa por sinais sonoros, que incrementam a velocidade em 12 níveis, em 10m/min. Três “bipes” indicam início do teste, incremento da velocidade e mudança de direção, já um “bipe” sinaliza apenas a mudança de direção na pista. Os critérios de interrupção do teste foram dificuldade de manter a velocidade de deslocamento exigida, relato do sintoma claudicante máximo e atingir frequência cardíaca (FC) limite de segurança (85% da FC máxima prevista para a idade ou 95% da FC máxima em teste ergométrico) (Monteiro *et al.*, 2014). Para análise do estudo foi considerada a distância total percorrida no teste.

3.4 Espectroscopia por luz próxima ao infravermelho (NIRS)

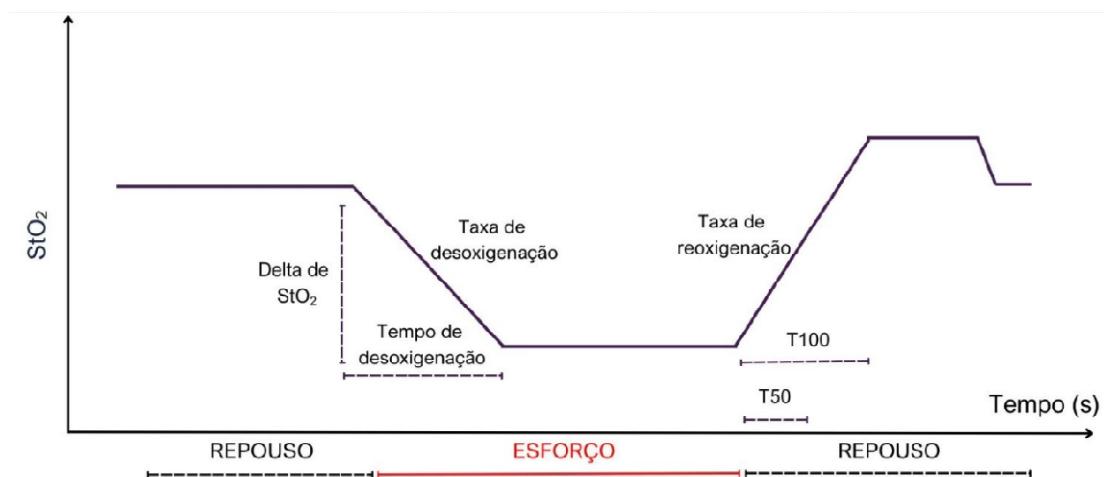
A NIRS é uma técnica não invasiva capaz de obter a saturação tecidual muscular de oxigênio (StO_2) por meio do cálculo das concentrações de oxihemoglobina (HbO_2) e deoxihemoglobina (HHb). A NIRS obtém essas medidas através da emissão de luz próxima ao infravermelho que penetra o tecido e retorna para um canal receptor presente no equipamento (Boezeman *et al.*, 2016). O dispositivo utilizado, modelo PortaMon® (Artinis, Holanda), é um microprocessador que emite as luzes em dois comprimentos de ondas (760 e 850 nm) (Artinis, Holanda), as quais retornam após a penetração no tecido muscular a um canal receptor, e com esse retorno, a partir das diferentes taxas de absorção de luz dos componentes metabólicos do tecido, o equipamento consegue analisar as concentrações de HbO_2 e HHb e relacioná-las $[HbO_2]/(HbO_2 + HHb)$ para obtenção da StO_2 muscular (Cornelis *et al.*, 2021).

O instrumento disposto para o estudo é portátil e sem fio, o qual se emparelha ao bluetooth de um computador, para transferir os dados sincronicamente ao OxySoft, software específico da NIRS utilizado para o estudo. Essas características permitem seu uso durante o ISWT, possibilitando a análise do comportamento da oxigenação muscular, de forma dinâmica, durante o esforço físico.

As seguintes variáveis, esquematizadas na figura 1, foram utilizadas para análise descritiva do comportamento da oxigenação muscular durante o

ISWT: delta de StO_2 (menor StO_2 – StO_2 inicial), tempo de desoxigenação (tempo em segundos até atingir a menor StO_2), taxa de desoxigenação (razão entre o delta da StO_2 e o tempo de desoxigenação), , T100 (tempo total para retornar aos valores iniciais de StO_2 após término do teste), T50 (50% do tempo para retornar aos valores iniciais de StO_2 após término do teste) e taxa de reoxigenação (razão entre o delta StO_2 e o T100).

Figura 1. Representação gráfica das variáveis do estudo em um teste de esforço.



Acervo Pessoal. Legenda: StO_2 (Saturação de oxigênio muscular); T100 (Tempo total de retorno aos valores iniciais de StO_2); T50 (Metade do tempo para retorno aos valores iniciais de StO_2); s (segundos).

3.5 Procedimentos de coleta

Inicialmente, o participante respondeu a um questionário estruturado para coleta de dados sociodemográficos. Posteriormente, foram mensurados os dados antropométricos como altura e peso, para cálculo do índice de massa corporal (IMC).

O aparelho de NIRS foi fixado na porção medial do gastrocnêmio com uso de uma faixa elástica, na altura de maior circunferência, do membro inferior mais sintomático. O repouso por dois minutos foi realizado após o posicionamento do aparelho a fim de estabilizar os dados basais de HbO_2 , HHb e StO_2 . Em seguida, deu-se início ao ISWT, com o registro simultâneo dos

dados da NIRS. As medidas iniciais foram coletadas com o indivíduo já em ortostatismo, na posição de início do teste.

Para realização do ISWT, o indivíduo foi instruído a indicar o momento inicial da dor claudicante durante a caminhada. Antes do início e após a finalização do teste foram coletadas frequência cardíaca, pressão arterial, saturação periférica de oxigênio e percepção subjetiva de esforço pela Escala Modificada de Esforço de Borg (0-1). Foram registrados o número de percursos para cálculo da distância final percorrida, o tempo de dor inicial, tempo total do teste, e a FC a cada estágio completo. Após o fim do teste, as variáveis da NIRS foram coletadas através da análise gráfica e da planilha de Excel gerada, ambas disponibilizadas pelo software OxySoft.

3.6 Análise dos dados

A normalidade dos dados foi testada pelo Shapiro-Wilk e análise gráfica de histograma. A estatística foi realizada por meio do Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 17.0. Os dados contínuos descritivos da amostra estão reportados como média \pm desvio-padrão e os categóricos como percentual, e os dados do ISWT e da NIRS foram descritos em percentis.

4 RESULTADOS

Foram inclusos no estudo 60 participantes, que realizaram o ISWT com o registro do comportamento dinâmico da oxigenação periférica. A amostra foi composta em 60% pelo sexo masculino, 26,7% tabagistas ativos, 60% ex-tabagistas. Entre os participantes, 85% eram diagnosticados com Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS), 35% com Diabetes Mellitus (DM) e 33% com Doença Arterial Coronariana (DAC). Na Tabela 1 encontra-se a descrição dos dados antropométricos e clínicos da amostra.

Tabela 1. Dados antropométricos e clínicos da amostra (n = 60).

Variáveis	Média ± desvio-padrão
Idade (anos)	66,62 ± 10,42
IMC (kg/m ²)	27,26 ± 4,81
ITB D	0,65 ± 0,18
ITB E	0,63 ± 0,17

Legenda: IMC (Índice de massa corporal); ITB D (Índice tornozelo braquial direito); ITB E (Índice tornozelo braquial esquerdo).

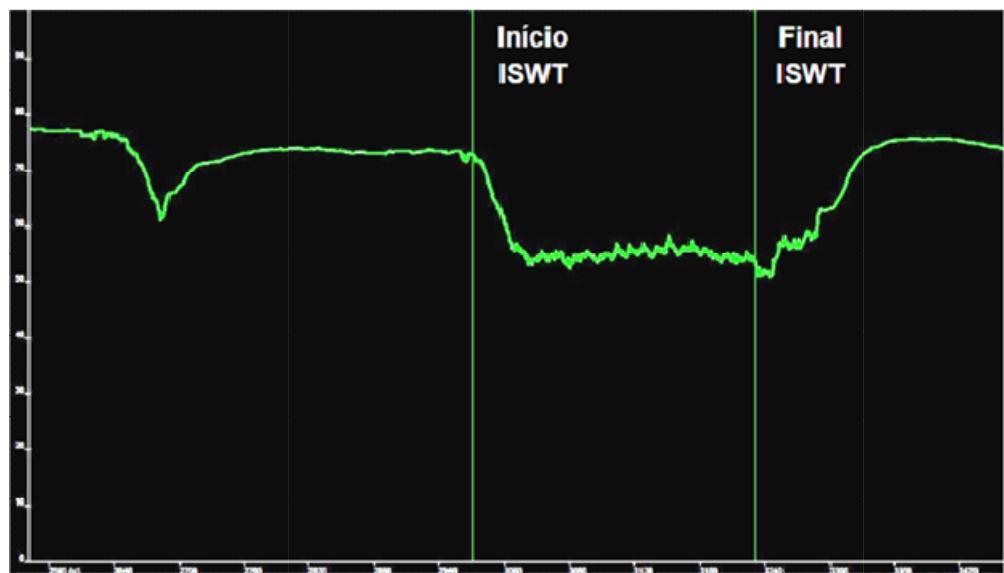
O comportamento das variáveis dinâmicas da oxigenação muscular foi caracterizado pela alteração da StO₂, durante o esforço e o período de recuperação. A análise gráfica, representada na Figura 2, demonstra essa variação que ocorre por meio da queda abrupta da StO₂ ao iniciar o ISWT, enquanto seu retorno aos níveis basais ocorre de forma gradual, após o término do teste. Esse padrão é evidenciado pela média da taxa de desoxigenação, que apresenta valores elevados, indicando uma diminuição da StO₂ mais rápida ao ser comparada com o período retorno aos valores basais. Este, por sua vez, é representado por uma taxa de reoxigenação menor, ou seja, ocorre de forma mais lenta em comparação com a queda de StO₂. Os valores referentes ao comportamento da oxigenação muscular periférica durante o ISWT e o período de recuperação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados em percentis da oxigenação muscular durante o ISWT e durante o período de recuperação (n=60).

Variáveis	Percentis				
	10	25	50	75	90
Distância total ISWT (metros)	131	172,5	210	277,5	330
Tempo total ISWT (minutos)	3,15	4	4,48	5,37	5,99
Tempo de menor StO ₂ (minutos)	0,51	0,65	0,87	2,03	3,65
Taxa de desoxigenação (%/segundo)	3,18	7,1	13,95	20,74	28,27
Delta de StO ₂	- 3,6	- 9,15	- 14,98	- 19,72	- 25,95
T100 (segundos)	57,2	92,5	140,05	201,28	267,67
T50 (segundos)	28,6	46,25	70,03	100,64	133,84
Taxa de reoxigenação (%/segundo)	0,03	0,67	0,09	0,16	0,19

ISWT (Incremental Shuttle Walking Test); StO₂ (saturação tecidual muscular de oxigênio); T100 (tempo de recuperação total); T50 (Metade do tempo de recuperação).

Figura 2. Representação gráfica do comportamento da StO₂ durante o ISWT.



Acervo Pessoal. Legenda: Linha verde - StO₂ (Saturação de oxigênio muscular).

5 DISCUSSÃO

Os achados do estudo demonstraram como as variáveis dinâmicas da oxigenação muscular periférica se comportam durante o esforço e a recuperação em indivíduos com DAP. Em repouso a StO₂ permanece estável; porém, ao iniciar a caminhada, ocorre queda acentuada dessa variável, que atinge um valor mínimo, que é mantido até o fim do teste. No pós teste, inicia-se a recuperação aos parâmetros basais. Considerando os valores medianos do estudo, observa-se que as variações de StO₂ ocorrem em ritmos distintos. Sendo que a velocidade de retorno à StO₂ basal (taxa de reoxigenação) é 155 vezes menor do que a velocidade com que o indivíduo atinge a menor saturação após o início do teste (taxa de desoxigenação).

Faria *et al.* (2022) determinaram os valores normativos da oxigenação muscular periférica em indivíduos saudáveis durante o ISWT, sendo identificada uma discrepância em relação aos valores encontrados no estudo atual. Ao comparar o comportamento das variáveis da NIRS de indivíduos com DAP com os parâmetros normativos para saudáveis, observa-se que existe um delta de StO₂ 73% mais acentuado, associado a uma queda brusca da StO₂, caracterizada pela taxa de desoxigenação aproximadamente 700 vezes. Além disso, é notado que a capacidade de recuperação de indivíduos com DAP é reduzida, evidenciada por uma taxa de reoxigenação cerca de 57% menor, indicando um processo mais lento.

Fuglestad *et al.* (2020), Gardner *et al.* (2014) e Monteiro (2019) analisaram a resposta da oxigenação muscular periférica durante esforço, na população com DAP, por meio de testes de caminhada constante ou incremental, realizados em esteira ou no solo. Os achados desses autores corroboram com os do atual estudo, sendo percebido comportamento similar de StO₂ em esforço, que apresenta variação por um declínio severo desse valor em um curto intervalo de tempo, seguido por uma recuperação prolongada. Esse período de reoxigenação, determinado pelo T50 ou T100, se apresenta de forma lentificada, devido a pior capilaridade, redução de mitocôndrias e recrutamento muscular compensatório. Este comportamento

parece ser justificado pela disfunção endotelial, microvascular e pela baixa capacidade muscular oxidativa (Monteiro, 2019; Hafner *et al.*, 2014; Hamburg *et al.*, 2011), característicos dessa população, decorrentes do processo isquêmico crônico.

A presença do sintoma isquêmico acarreta um padrão restritivo do nível de atividade física diária (Silva *et al.*, 2024), o que agrava o comportamento muscular e endotelial, reduzindo a capacidade funcional, desfecho preditor na progressão da patologia (Hamburg *et al.*, 2017). Nesse sentido, Geisel *et al.* (2022) demonstrou que indivíduos com maior taxa de desoxigenação e menor taxa de reoxigenação durante a caminhada apresentam menor capacidade funcional. Ao comparar os valores normativos de distância de caminhada no ISWT de Probst *et al.* (2012) e Azman *et al.* (2023) com os valores medianos deste estudo, observa-se que a amostra de indivíduos com DAP caminha entre um terço e um quarto da distância esperada para pessoas saudáveis. Tais achados reforçam que as alterações fisiopatológicas da DAP comprometem a funcionalidade e a qualidade de vida dessa população (Moreira *et al.* 2016).

A amostra recrutada possui características similares a demais pesquisas com a mesma população (Golledge, 2022; Vun *et al.*, 2016; Manfredini *et al.*, 2009). Além da idade avançada e o ITB menor que 0,7, destaca-se a presença de fatores de risco modificáveis como o IMC elevado, tabagismo, DM e HAS, estes são prevalentes e diretamente associados a doenças cardiovasculares (Fowkes *et al.*, 2013; Makdisse *et al.*, 2008), demonstrando necessidade de maior atenção ao estilo de vida e manejo adequado das condições crônicas.

Dessa forma, as análises realizadas no estudo reforçam o ISWT como instrumento capaz de avaliar a funcionalidade de indivíduos com DAP, de maneira mais acessível e replicável no contexto clínico, quando comparado ao teste em esteira. Trata-se de uma alternativa que permite o registro objetivo da capacidade de caminhada, da apresentação dos sintomas e das respostas hemodinâmicas ao esforço, em função do comportamento periférico típico de desoxigenação e reoxigenação.

Algumas limitações devem ser consideradas neste estudo. Uma delas é que a análise de variáveis foi realizada desconsiderando o sexo do participante, apesar de achados recentes indicarem diferenças entre o comportamento do metabolismo periférico entre homens e mulheres com DAP (Kao *et al.* 2015). Além disso, a imprecisão do local de obstrução arterial, caracterização relevante, uma vez que a apresentação da doença em nível distal ou proximal pode se relacionar tanto com a capacidade funcional quanto com os desfechos de oxigenação em tríceps sural.

6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o ISWT é um teste capaz de reproduzir comportamento típico de desoxigenação rápida e reoxigenação muscular periférica lenta em indivíduos com DAP. Nesse sentido, o instrumento pode ser uma alternativa promissora ao teste de caminhada na esteira para avaliação da capacidade funcional dessa população. Os resultados deste estudo contribuem aumentando o escopo de instrumentos capazes de mensurar, de forma objetiva, desfechos dinâmicos relacionados à caminhada em indivíduos com DAP. No entanto, são necessários estudos adicionais para inferir o nível de equivalência e a correlação entre os protocolos de forma mais precisa.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, B. *et al.* Incremental shuttle walk test: Reference values and predictive equation for healthy Indian adults, *Lung India*, v. 33, n. 1, p. 36-41, jan./fev. 2016.

ARTINIS MEDICAL SYSTEMS. PortaMon – NIRS muscle oxygenation monitor. Disponível em: <https://www.artinis.com/portamon>. Acesso em: 23 nov. 2024.

ASKEW, C. D. *et al.* Exercise & Sports Science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for patients with peripheral arterial disease and intermittent claudication. *Journal of Science and Medicine in Sport*, Elsevier Ltd, 1 nov. 2014.

AZMAN, M. Z. B. *et al.* Normative reference values, determinants and regression equations for the incremental shuttle walk test (ISWT) in healthy Asian population aged 21 to 80 years. *PLOS ONE*, San Francisco, v. 18, n. 9, e0291132, 5 set. 2023.

BERTOLUCCI, P. H. *et al.* The Mini-Mental State Examination in a general population: impact of educational status. *Arquivos de Neuro-psiquiatria*, v. 52, n. 1, p. 1–7, 1 mar. 1994.

BOEZEMAN, R. P. E. *et al.* Systematic review of clinical applications of monitoring muscle tissue oxygenation with near-infrared spectroscopy in vascular disease. *Microvascular Research*, San Diego, v. 104, p. 11–22, 2016.

CAMPIA, U. *et al.* Peripheral Artery Disease: Past, Present, and Future. *American Journal of Medicine*, Elsevier Inc., 1 out. 2019.

CASTRO, I. M. Endothelial dysfunction and atherosclerosis. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, n. 2, p. 25410–25426, 2020.

CORNELIS, N. *et al.* The Use of Near Infrared Spectroscopy to Evaluate the Effect of Exercise on Peripheral Muscle Oxygenation in Patients with Lower Extremity Artery Disease: A Systematic Review. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, W.B. Saunders Ltd, 1 maio 2021.

CUNHA-FILHO, I. T. *et al.* The reliability of walking tests in people with claudication. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, v. 86, n. 7, p. 574–582, jul. 2007.

FARIA, V. C. *et al.* Reference values for triceps surae tissue oxygen saturation by near-infrared spectroscopy. *Physiological Measurement*, v. 43, n. 10, 28 out. 2022.

FOWKES, F. G. *et al.* Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. *The Lancet*, London, v. 382, n. 9901, p. 1329-1340, 19 out. 2013.

FUGLESTAD, M. A. *et al.* A low-cost, wireless near-infrared spectroscopy device detects the presence of lower extremity atherosclerosis as measured by computed tomographic angiography and characterizes walking impairment in peripheral artery disease. *Journal of Vascular Surgery*, Philadelphia, v. 71, n. 3, p. 946-957, mar. 2020.

GARDNER, A. W. *et al.* Step-monitored home exercise improves ambulation, vascular function, and inflammation in symptomatic patients with peripheral artery disease: a randomized controlled trial. *Journal of the American Heart Association*, Dallas, v. 3, n. 5, e001107, 18 set. 2014.

GEISEL, P. P. *et al.* Evaluation of functional capacity and muscle metabolism in individuals with peripheral arterial disease with and without diabetes. *Journal of Vascular Surgery*, Philadelphia, v. 75, n. 2, p. 671-679, fev. 2022.

GERHARD-HERMAN, M. D. *et al.* 2016 AHA/ACC guideline on the management of patients with lower extremity peripheral artery disease: Executive Summary: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines. *Circulation*, v. 135, n. 12, p. e686–e725, 2017.

GOLLEDGE, J. Update on the pathophysiology and medical treatment of peripheral artery disease. *Nature Reviews Cardiology*, London, v. 19, n. 7, p. 456-474, jul. 2022.

GORNIK, Heather L. *et al.* 2024 ACC/AHA/AACVPR/APMA/ABC/SCAI/SVM/SVN/SVS/SIR/VESS guideline for the management of lower extremity peripheral artery disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, [S.I.], v. 149, n. 24, p. e1313–e1410, 11 jun. 2024.

HAFNER, F. *et al.* Endothelial dysfunction and brachial intima-media thickness: long term cardiovascular risk with claudication related to peripheral arterial disease: a prospective analysis. *PLoS ONE*, San Francisco, v. 9, n. 4, e93357, 2014.

HAGEMAN, D. *et al.* Supervised exercise therapy versus home-based exercise therapy versus walking advice for intermittent claudication. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, John Wiley and Sons Ltd, 6 abr. 2018.

HAMBURG, N. M.; BALADY, G. J. Exercise rehabilitation in peripheral artery disease: functional impact and mechanisms of benefits. *Circulation*, Dallas, v. 123, n. 1, p. 87-97, 4 jan. 2011.

HENNI, S. et al. Treadmill Measured vs. Questionnaire Estimated Changes in Walking Ability in Patients With Peripheral Artery Disease. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, v. 57, n. 5, p. 676–684, 1 maio 2019.

HAMBURG, N. M.; CREAGER, M. A. Pathophysiology of intermittent claudication in peripheral artery disease. *Circulation Journal*, Tokyo, v. 81, n. 3, p. 281-289, fev. 2017.

JONES, S. et al. Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery Research*, Elsevier Ltd, 1 dez. 2016.

KAO, W. L.; SUN, C. W. Gender-related effect in oxygenation dynamics by using farinfrared intervention with near-infrared spectroscopy measurement: A gender differences Controlled Trial. *PLoS ONE*, v. 10, n. 11, 10 nov. 2015.

MAKDISSE, M. et al. Prevalência e fatores de risco associados à doença arterial periférica no projeto Corações do Brasil. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, São Paulo, v. 91, n. 6, p. 370-382, dez. 2008.

MANFREDINI, F. et al. Biomarkers of muscle metabolism in peripheral artery disease: A dynamic NIRS-assisted study to detect adaptations following revascularization and exercise training. *Diagnostics*, v. 10, n. 5, 1 maio 2020.

MANFREDINI, F. et al. A Dynamic Objective Evaluation of Peripheral Arterial Disease by Near-Infrared Spectroscopy. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, v. 38, n. 4, p. 441–448, out. 2009.

MONTEIRO, D. P. et al. Effects of modified aerobic training on muscle metabolism in individuals with peripheral arterial disease: a randomized clinical trial. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, 1 dez. 2019.

MOREIRA, M. M. R.; BLANES, L.; AUGUSTO, F. da S.; GRAGNANI, A.; FERREIRA, L. M. Qualidade de vida e capacidade funcional em pacientes com úlcera arterial. *Avances en Enfermería, [S. I.]*, v. 34, n. 2, p. 170–180, 2016. DOI: 10.15446/av.enferm.v34n2.61617. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/avenferm/article/view/61617>. Acesso em: 1 jun. 2025.

MONTEIRO, D. P. et al. Shuttle walking test as an instrument for assessment of functional capacity: a literature review. *Ciência & Saúde*, v. 7, n. 2, p. 92-97, 2014.

NARULA, Nupoor; OLIN, Jeffrey W.; NARULA, Navneet. Pathologic disparities between peripheral artery disease and coronary artery disease. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, Philadelphia, v. 40, n. 9, p. 1982–1989, set. 2020.

NICOLAÏ, S. P. A. et al. Reliability of treadmill testing in peripheral arterial disease: A meta-regression analysis. *Journal of Vascular Surgery*, v. 50, n. 2, p. 322–329, ago. 2009.

NORDANSTIG, J. et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2024 Clinical Practice Guidelines on the Management of Asymptomatic Lower Limb Peripheral Arterial Disease and Intermittent Claudication. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, v. 67, n. 6, p. 729–738, 2023. DOI: 10.1016/j.ejvs.2023.08.067.

PROBST, V. S. et al. Reference values for the incremental shuttle walking test. *Respiratory Medicine*, Oxford, v. 106, n. 2, p. 243-248, fev. 2012.

SARMAKI, G. R. et al. Peripheral artery disease: a comprehensive updated review. *Current Problems in Cardiology*, v. 47, n. 11, p. 101082, nov. 2022.

SILVA, G. A. R. da; NASCIMENTO, I. de O.; VELLOSO, M.; PEREIRA, D. A. G. Comportamento de atividade física em indivíduos com doença arterial periférica: um estudo descritivo. *ConScientiae Saúde*, São Paulo, v. 23, n. 1, e25786, 24 jun. 2024.

VARDI, M.; NINI, A. Near-infrared Spectroscopy for Evaluation of Peripheral Vascular Disease. A Systematic Review of Literature. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, jan. 2008.

VUN, S. V. et al. The effect of supervised exercise therapy for intermittent claudication on lower limb lean mass. *Journal of Vascular Surgery*, Philadelphia, v. 64, n. 6, p. 1763-1769, dez. 2016.

WOLF, D.; ZIRLIK, A.; LEY, K. Beyond vascular inflammation—recent advances in understanding atherosclerosis. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v. 73, n. 6, p. 1021–1031, 2016.

ZWIERSKA, Irena; NAWAZ, Shah; WALKER, Richard D.; WOOD, Richard F. M.; POCKLEY, A. Graham; SAXTON, John M. Treadmill versus shuttle walk tests of walking ability in intermittent claudication. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Philadelphia, v. 36, n. 11, p. 1835–1840, nov. 2004.

