

O desempenho e as respostas fisiológicas ao teste de elevação do calcanhar bipodal são influenciados pela cadência e posição dos tornozelos

Bilateral heel-rise test performance and physiological response are influenced by cadence and ankle position

Lucas Santos da Silveira¹ Felipe Moreira Mortimer² Ana Beatriz Alves de Oliveira Roque³ Edgar Manoel Martins⁴ Anelise Sonza⁵ Marlus Karsten⁶ 

¹⁻⁵Universidade do Estado de Santa Catarina (Florianópolis). Santa Catarina, Brasil. lucasantosdasilveira@gmail.com, fmmortimer@gmail.com, bia.roque@hotmail.com, edgarmartins@live.com, anelise.sonza@udesc.br, marlus.karsten@udesc.br

⁶Autor para correspondência. Universidade do Estado de Santa Catarina (Florianópolis). Santa Catarina, Brasil. marlus.karsten@udesc.br

RESUMO | INTRODUÇÃO: Diferentes protocolos do teste de elevação do calcanhar (TEC) têm sido utilizados, sendo necessário analisar o impacto das variações nas respostas do teste. **OBJETIVO:** Comparar o desempenho e respostas de oxigenação muscular (OM) e frequência cardíaca (FC) de adultos em diferentes protocolos do TEC bipodal. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Este foi um estudo transversal do tipo cruzado. Trinta participantes (23,1±2,9 anos; 16 homens) realizaram quatro protocolos do TEC bipodal, variando cadenciamento (autocadenciado e cadenciado externamente) e posição dos tornozelos (neutra e dorsiflexão). Para a OM, analisamos a saturação tecidual de oxigênio (StO₂) e variação da concentração de oxihemoglobina (Δ[O₂Hb]) e calculamos a variação entre os menores valores e os valores finais (ΔNadir-Final) e área sob a curva (AUC). Para a FC, calculamos a variação dos valores iniciais e finais (ΔFC) e constante de tempo (τ). O teste de Friedman foi utilizado para comparar as variáveis entre os protocolos. A ANOVA de dois fatores foi utilizada para identificar o impacto da cadência e/ou posição dos tornozelos. **RESULTADOS:** O número de repetições e o tempo de execução foram maiores nos protocolos em posição neutra e cadenciado externamente (p<0,001 para ambos). ΔNadir-Final (StO₂: p<0,001; Δ[O₂Hb]: p=0,005) e AUC (StO₂: p<0,001; Δ[O₂Hb]: p<0,001) de ambas as variáveis de OM foram maiores nos protocolos em posição neutra. Protocolos autocadenciados apresentaram maior aumento da FC e τ mais rápida (p=0,006 e p=0,046). **CONCLUSÃO:** O TEC realizado em posição neutra e cadenciamento externo gera maiores repetições e tempo de execução. A dorsiflexão promoveu menor reperfusão muscular e o autocadenciamento, maior e mais rápido aumento da FC.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho Físico Funcional. Fadiga Muscular. Oxihemoglobina. Frequência cardíaca. Teste de Elevação do Calcanhar.

ABSTRACT | INTRODUCTION: Different heel-rise test (HRT) protocols have been used, possibly leading to varied responses. It is necessary to analyse the impact of protocol variation on test responses. **PURPOSE:** To compare the performance, muscle oxygenation (MO), and heart rate (HR) responses of adults in bilateral HRT protocols. **METHODS:** This was a cross-sectional crossover study. Thirty participants (23.1±2.9 years; 16 men) performed four bilateral HRT protocols with varying cadence (self-cadenced; externally cadenced) and ankle position (neutral; dorsiflexion). For MO responses, we analysed tissue oxygen saturation (StO₂) and oxyhemoglobin concentration variation (Δ[O₂Hb]) and calculated the variation between the smallest and final values (ΔNadir-Final) and the area under the curve (AUC). The variation between the initial and final HR values (ΔHR) and the time constant (τ) were calculated. Friedman's test was used to compare the variables among the protocols. Two-way ANOVA was used to identify the impact of cadence and/or ankle position. **RESULTS:** The number of repetitions and execution time were higher in the neutral position and externally cadenced protocols (p<0.001 for both). ΔNadir-Final (StO₂: p<0.001; Δ[O₂Hb]: p=0.005) and AUC (StO₂: p<0.001; Δ[O₂Hb]: p<0.001) of both MO variables were higher in the neutral position protocols. Self-cadenced protocols presented higher HR increase and faster τ (p=0.006 and p=0.046). **CONCLUSION:** Bilateral HRT performed in a neutral position, and external cadence promotes more repetitions and a longer execution time. Dorsiflexion promotes lower muscle reperfusion, and self-cadence higher and faster HR increase.

KEYWORDS: Physical Functional Performance. Muscle fatigue. Oxyhemoglobin. Heart Rate. Heel-Rise Test.

Introdução

O teste de elevação do calcanhar (TEC) consiste na realização de sucessivas flexões plantares até a falha mecânica do movimento.^{1,2} Devido a sua facilidade operacional e ao baixo custo, o TEC tem sido amplamente utilizado na prática clínica para avaliar a funcionalidade do grupo muscular tríceps sural de pacientes em reabilitação ortopédica, neurológica ou cardiovascular.²⁻⁵ No entanto, sua aplicabilidade ainda é limitada pela falta de um protocolo padronizado, visto que diversas variações existem na literatura.⁶

Hebert-Losier et al.³ mencionam que a posição dos pés, amplitude de movimento, cadência e o uso dos braços para equilíbrio são os principais fatores que diferenciam nos protocolos. Outro fator importante ao desempenho no TEC é o tipo de apoio utilizado pelos indivíduos. Usualmente, o apoio unipodal tem sido utilizado em avaliações ortopédicas e neurológicas⁷, e o apoio bipodal tem sido utilizado em avaliações cardiovasculares.⁸ Segundo Monteiro e colaboradores², o TEC bipodal é mais confiável para avaliação da fadiga muscular, pois minimiza problemas relacionados ao equilíbrio. No entanto, a influência de tais fatores no desempenho e nas alterações fisiológicas induzidas pelo teste ainda é incerta.

Grande parte das discussões sobre o TEC é centrada em modelos teóricos.^{3,6} Svantesson et al.⁵ foram os primeiros a demonstrar que o TEC realizado até a exaustão era capaz de induzir fadiga no tríceps sural. Outros autores também concluíram que o TEC é um teste válido, confiável e de fácil aplicação para avaliação da fadiga muscular periférica.^{4,5} Desde então, pesquisadores começaram a investigar a associação do TEC com desfechos clínicos^{2-5,8} e desenvolveram valores de referência.^{1,9} No entanto, pouca atenção tem sido dada às alterações fisiológicas que este teste causa.

A avaliação dos fatores influenciadores e a análise do estresse fisiológico causados por diferentes protocolos permitiria o esclarecimento do conhecimento sobre o TEC. Portanto, o objetivo deste estudo foi comparar o desempenho (número de repetições e tempo

de teste), e variáveis fisiológicas (oxigenação muscular e frequência cardíaca – FC) e subjetivas (percepção de esforço e fadiga) entre quatro diferentes protocolos do TEC bipodal em adultos saudáveis, com o propósito de identificar o comportamento fisiológico dessas variáveis durante o teste.

Métodos

O presente estudo transversal do tipo cruzado foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CAAE 07741919.0.0000.0118). Todos os indivíduos foram informados dos protocolos e assinaram o termo de consentimento de acordo com a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

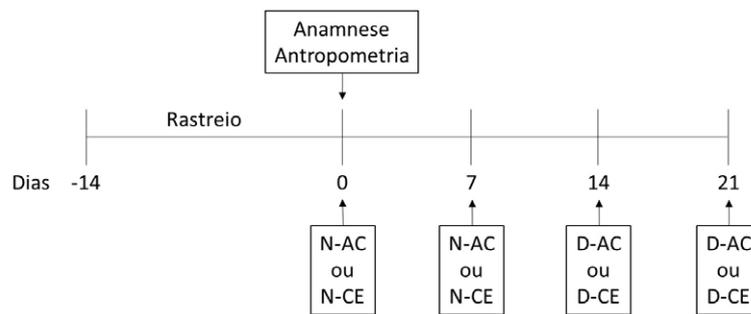
Participantes

Adultos aparentemente saudáveis com idade entre 18 e 35 anos foram selecionados utilizando amostragem por conveniência (não-probabilística). Aqueles que relatassem a presença de doenças ou lesões cardiovasculares, neurológicas ou musculoesqueléticas que interferissem na execução dos protocolos foram excluídos do estudo. O recrutamento foi realizado de abril a outubro de 2019 por contato direto e mídias sociais.

Desenho do estudo

Cada participante realizou quatro protocolos diferentes do TEC, cada um em um dia, com sete dias de intervalo entre eles. Os participantes foram orientados a evitar a realização de exercício físico antes de cada avaliação. Para evitar possíveis fontes de viés, todos os procedimentos foram realizados no mesmo período do dia e foram precedidos por um período de repouso de pelo menos 10 minutos. O desenho do estudo está ilustrado na Figura 1. A anamnese e a avaliação antropométrica foram realizadas no primeiro dia do estudo antes da aplicação do primeiro teste.

Figura 1. Fluxograma do desenho do estudo



Fonte: Os autores (2022).

Avaliação antropométrica

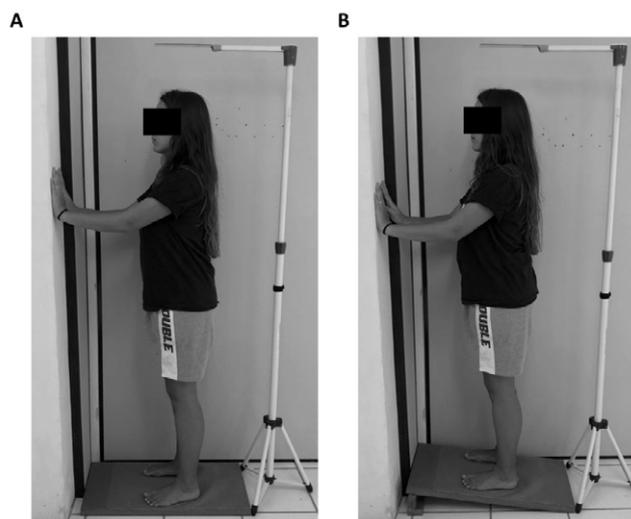
A massa corporal foi medida utilizando uma balança digital, com os participantes descalços, e a estatura foi medida utilizando um estadiômetro portátil. Subsequentemente, o índice de massa corporal (IMC) foi calculado como a razão entre a massa corporal (kg) e a estatura ao quadrado (m²).

Teste de elevação do calcanhar

Os protocolos do TEC foram divididos de acordo com a posição dos tornozelos (neutra ou dorsiflexão) e cadência (autocadência ou cadência externa), totalizando quatro protocolos: neutro e autocadenciado (N-AC), neutro e cadenciado externamente (N-CE), dorsiflexão e autocadenciado (D-AC) e dorsiflexão e cadenciado externamente (D-CE). Durante o estudo piloto, os participantes relataram mais dor muscular tardia após os protocolos com dorsiflexão. Assim, para reduzir a influência da dor muscular, os protocolos com a posição neutra foram administrados nos dias 1 e 2. A cadência foi randomizada de maneira simples.

Para realizar os protocolos, os indivíduos permaneceram em posição ortostática e apoio bipodal sobre uma plataforma de madeira, de frente para uma parede com ambas as mãos apoiadas. A Figura 2 ilustra as posições dos tornozelos para cada protocolo. Em resumo, a plataforma permaneceu paralela ao chão nos protocolos neutros e com uma inclinação de 10° nos protocolos em dorsiflexão (o ângulo foi confirmado utilizando um goniômetro). Os testes foram realizados até o ponto de fadiga, como descrito previamente.¹⁴ O número máximo de repetições e o tempo total de teste foram registrados. Estes dados foram utilizados para calcular a taxa de repetições.

Figura 2. Posicionamento dos protocolos do teste de elevação do calcanhar. A: posição neutra de tornozelos. B: posição em dorsiflexão de tornozelos



Fonte: Os autores (2022).

A cadência do teste foi ajustada para uma repetição por segundo (rep/s) e foi conduzida utilizando um metrônomo digital nos protocolos com cadência externa. A cadência livre (o mais rápido possível) foi adotada nos protocolos autocadenciados. A oxigenação muscular e a frequência cardíaca foram registradas durante todo o procedimento. Ao final de cada teste, os indivíduos foram questionados sobre a percepção subjetiva de esforço (PSE) e de fadiga de pernas (PSFP).

Oxigenação muscular

Os dados de oxigenação muscular foram medidos utilizando um dispositivo de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS, do inglês near-infrared spectroscopy). Os optodos e o receptor foram posicionados no ventre muscular do gastrocnêmio medial do membro inferior dominante, com distância fixa.¹⁰ O comprimento de onda foi ajustado entre 760 e 850nm. A frequência de obtenção foi de 10 Hz, e os dados foram suavizados utilizando um filtro de média móvel de oito pontos no software Oxysoft (Artinis Medical Systems, Holanda). Nós extraímos os dados de saturação tecidual de oxigênio (StO_2) e variação de concentração de oxihemoglobina ($\Delta[O_2Hb]$), e calculamos a área sob a curva (AUC, do inglês area under the curve), como descrito previamente.¹¹ A variação na saturação (ΔStO_2), os menores valores obtidos (Nadir) e a variação do Nadir para os valores finais ($\Delta Nadir$) também foram calculados.

Frequência cardíaca

O registro da FC, para posterior avaliação da cinética da FC, foi realizado por meio do frequencímetro de pulso RS800CX (Polar®, Finlândia), com gravação batimento a batimento (intervalos RR). Os sinais foram transmitidos para o software adequado e suavizados utilizando um filtro de média móvel de oito pontos. Foram utilizados filtros de passa-alta e baixa de dois desvios-padrão para determinar a amplitude e variação da FC (ΔFC), assim como a constante de tempo (τ) foi determinada por uma equação monoexponencial previamente descrita.^{12,13} O software CardioKin 1.2 (Brasil) foi utilizado para obter os dados da cinética da FC.

Percepção subjetiva de esforço e de fadiga de pernas

A escala modificada de Borg foi utilizada para avaliar as percepções subjetivas.¹⁴ Os participantes foram questionados no início e no final de cada TEC sobre a PSE e PSFP. As variações (ΔPSE e $\Delta PSFP$) foram determinadas subtraindo-se os valores iniciais dos valores finais.

Análise estatística

Um estudo piloto foi realizado para identificar o número mínimo de participantes a serem incluídos na amostra. Considerando o número de repetições obtidas em cada protocolo (N-AC: $96,4 \pm 40,1$ reps; N-CE: $104,6 \pm 73,1$ reps; D-AC: $80,0 \pm 36,0$ reps; D-CE: $67,0 \pm 21,7$ reps), com uma probabilidade de erro bidirecional de 5% e um tamanho de efeito de 80%, observou-se a necessidade de incluir 27 indivíduos na amostra.

Os dados foram extraídos para planilhas eletrônicas e analisados utilizando o software SPSS Statistics, versão 20.0 (IBM, EUA). O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a distribuição dos dados. O teste de Friedman, seguido do teste pós-hoc de Bonferroni, foi utilizado para comparar as variáveis de interesse. A análise de variância (ANOVA) de dois fatores foi utilizada para determinar a influência da cadência, da posição dos tornozelos e sua interação nas respostas fisiológicas e de desempenho. Foi utilizado 95% de confiança para as análises estatísticas ($p < 0.05$). Os dados estão expressos em média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil.

Resultados

Trinta e um indivíduos concordaram em participar do estudo e realizaram todos os procedimentos. Um participante foi excluído por falha na captação dos dados de oxigenação muscular. A amostra final foi constituída principalmente de homens (53%), a idade média foi de $23,1 \pm 2,9$ anos e o IMC médio de $24,3 \pm 3,2$ kg/m². A tabela 1 apresenta os resultados de desempenho, cinética da FC, PSE e PSFP. A tabela 2 sintetiza os dados de oxigenação muscular. Não houve diferença na ΔPSE ($p = 0,609$) e na $\Delta PSFP$ ($p = 0,558$) entre os protocolos.

Tabela 1. Comparações de desempenho, cinética da frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço e fadiga das pernas entre diferentes protocolos do teste de elevação de calcanhar

	N-AC	N-CE	D-AC	D-CE	Friedman p-valor	ANOVA de dois fatores		
						Cadência	Posição	Interação
Repetições, n	90,7 ± 49,7	103,1 ± 66,9	67,9 ± 34,4*#	80,4 ± 60,8*#	<0,001	0,214	0,024	0,995
Tempo, s	85,9 ± 56,2	105,3 ± 68,1	60,4 ± 25,2*#	83,7 ± 61,9*#	<0,001	0,037	0,022	0,846
Taxa de repetição, rep/s	1,15 ± 0,34	0,98 ± 0,06*	1,14 ± 0,33#	0,97 ± 0,97*#	0,035	<0,001	0,793	0,905
FC basal, bpm	87,7 ± 14,0	87,6 ± 12,8	87,1 ± 14,3	87,8 ± 9,3	0,660	-	-	-
Amplitude, bpm	43,1 ± 17,7	34,0 ± 12,4*	44,3 ± 15,1#	33,9 ± 12,5*#	0,024	0,004	0,853	0,819
ΔFC, bpm	39,8 ± 16,1	32,1 ± 14,7*	38,9 ± 11,0#	33,7 ± 17,0*#	0,006	0,019	0,893	0,650
τ, s	19,1 ± 10,6	40,2 ± 39,2*	21,5 ± 19,0#	31,6 ± 56,7#	0,046	0,033	0,668	0,448
ΔPSE, pts	2,0 (0,5-3,0)	2,0 (0-4,0)	2,0 (0,5-3,0)	2,0 (0,5-3,0)	0,609	0,962	0,848	0,388
ΔPSFP, pts	4,5 (4,0-5,25)	4,5 (3,75-6,0)	5,0 (3,87-6,12)	4,75 (3,0-6,6)	0,558	0,813	0,705	0,508

N-AC, protocolo com posição neutra e autocadenciado. N-CE, protocolo em posição neutra e cadenciado externamente. D-AC, protocolo em dorsiflexão e autocadenciado. D-CE, protocolo em dorsiflexão e cadenciado externamente. rep/s, repetições por segundo. FC, frequência cardíaca. ΔFC, variação da frequência cardíaca. bpm, batimentos por minuto. τ, constante de tempo. ΔPSE, variação da percepção subjetiva de esforço. ΔPSFP, variação da percepção subjetiva de fadiga de perna. Dados expressos em média ± desvio padrão ou mediana (intervalo interquartil).

*p<0,05 vs. N-AC.

#p<0,05 vs. N-CE.

\$p<0,05 vs. D-AC.

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 2. Oxigenação muscular entre diferentes protocolos do teste de elevação do calcanhar

	N-AC	N-CE	D-AC	D-CE	Friedman p-valor	ANOVA de dois fatores		
						Cadência	Posição	Interação
StO₂ Basal (%)	69,4 ± 5,0	68,9 ± 5,0	68,0 ± 4,68	68,1 ± 6,0	0,856	-	-	-
Δ[O₂Hb] Basal (μmol)	1,06 ± 1,08	0,54 ± 1,47	1,21 ± 1,20	0,88 ± 1,33	0,164	-	-	-
NadirStO₂(%)	51,2 ± 11,0	49,6 ± 10,4	51,9 ± 9,8	51,5 ± 10,3	0,362	0,599	0,495	0,735
Nadir Δ[O₂Hb] (μmol)	-21,0 ± 10,2	-21,2 ± 12,5	-19,3 ± 8,3 [#]	-19,5 ± 9,1	0,015	0,894	0,252	0,817
ΔStO₂ (pp)	-18,2 ± 7,4	-18,0 ± 9,8	-16,1 ± 6,5 [#]	-16,7 ± 7,2	0,029	0,884	0,363	0,992
ΔNadir-Final StO₂ (pp)	6,8 ± 3,7	6,0 ± 3,2	4,4 ± 4,0 ^{*#}	5,2 ± 4,4 ^{*#}	<0,001	0,973	0,027	0,259
ΔNadir-Final O₂Hb (μmol)	11,4 ± 7,9	10,4 ± 7,6	8,6 ± 7,2 ^{*#}	9,9 ± 7,5	0,005	0,912	0,232	0,439
AUC StO₂ (%/s) x 1,000	48,51 ± 26,86	53,77 ± 33,39	33,14 ± 12,26 ^{*#}	43,76 ± 26,00 ^{*#}	<0,001	0,095	0,008	0,571
AUC O₂Hb (μmol/s) x 1,000	11,96 ± 9,64	17,52 ± 16,27 [*]	7,86 ± 5,38 ^{*#}	10,98 ± 11,91 [#]	<0,001	0,041	0,012	0,563

N-AC, protocolo com posição neutra e autocadenciado. N-CE, protocolo em posição neutra e cadenciado externamente. D-AC, protocolo em dorsiflexão e autocadenciado. D-CE, protocolo em dorsiflexão e cadenciado externamente. StO₂, saturação tecidual de oxigênio. Δ[O₂Hb], variação da concentração de oxihemoglobina. μmol, micromol. ΔStO₂, variação da saturação tecidual de oxigênio. ΔNadir-Final, variação dos menores valores para os maiores valores. pp, pontos percentuais. AUC, área sob a curva. Dados expressos em média ± desvio padrão.

*p<0,05 vs. N-AC.

#p<0,05 vs. N-CE.

\$p<0,05 vs. D-AC.

Fonte: Os autores (2022).

Medidas de desempenho

Um maior número de repetições foi observado nos protocolos com a posição neutra dos tornozelos, sendo impactado pela posição dos tornozelos ($p=0,024$). Os protocolos em dorsiflexão foram executados em um tempo menor do que o N-CE, e essa variável foi influenciada pela cadência ($p=0,037$) e a posição dos tornozelos ($p=0,022$). O tempo de execução do D-AC foi menor do que o do N-AC ($p=0,022$) e do D-CE ($p=0,037$). A taxa de repetições dos protocolos autocadenciados foi superior para ambas as posições dos tornozelos ($p<0,001$).

Oxigenação muscular

Não houve diferença nos valores basais de StO_2 ($p=0,856$), $\Delta[O_2Hb]$ ($p=0,164$), ou Nadir StO_2 ($p=0,362$). O protocolo D-AC apresentou valores de Nadir $\Delta[O_2Hb]$ ($p=0,015$) e ΔStO_2 ($p=0,029$) inferiores àqueles do protocolo N-CE. Os valores de Δ Nadir-Final StO_2 ($p=0,027$), Δ Nadir-Final O_2Hb ($p=0,027$), AUC StO_2 ($p<0,001$) e AUC O_2Hb ($p<0,001$) foram maiores nos protocolos em posição neutra do que nos seus pares em dorsiflexão, exceto pelo protocolo D-CE (Δ Nadir-Final O_2Hb). Além disso, a AUC $[O_2Hb]$ apresentou valores mais significantes no protocolo N-CE do que no D-CE, com a influência tanto da cadência ($p=0,041$) quanto da posição dos tornozelos ($p=0,012$).

Frequência cardíaca

A FC basal foi similar entre os testes ($p=0,660$). Tanto a amplitude ($p=0,004$) quanto a ΔFC ($p=0,019$) foram maiores nos protocolos autocadenciados do que nos testes com cadência externa. Adicionalmente, o protocolo N-CE apresentou maiores valores de constante de tempo do que os outros testes ($p=0,033$).

Discussão

Este é um estudo pioneiro que avaliou a oxigenação muscular e as respostas de FC durante o TEC, bem como a comparação do desempenho em diferentes protocolos de TEC. Este estudo demonstrou que os protocolos do TEC bipodal fornecem respostas

diferentes no sistema cardiovascular e na oxigenação tecidual, que podem estar associadas à variação do desempenho. Demonstramos também que a cadência pode influenciar a cinética da FC e a posição dos tornozelos pode influenciar os níveis de oxigenação muscular periférica.

Considerando o número de repetições como a principal variável de desempenho^{1,3,7}, observamos que os protocolos na posição neutra mostraram melhores respostas do que os da posição em dorsiflexão. Essa constatação reforça os achados de Hebert-Losier et al.⁶, que afirmam que a posição dos tornozelos durante o TEC pode reduzir o número de flexões plantares. De fato, a dorsiflexão proporciona maior amplitude de movimento do tornozelo. No entanto, aumenta o comprimento das fibras musculares do tríceps sural, prejudicando a geração de torque com um consequente aumento do trabalho muscular.⁶

O tempo de teste foi maior nos protocolos sem inclinação e foi influenciado pela posição dos tornozelos e pela cadência. O maior trabalho muscular imposto pela posição de dorsiflexão e a maior velocidade de execução durante a cadência livre³ exigem maior resistência muscular, o que promove a fadiga muscular precoce. Dado que a fadiga muscular está diretamente relacionada à capacidade de resistência muscular, que é tempo-dependente¹⁵, os protocolos com inclinação neutra e cadência externa podem ter promovido um ponto de fadiga voluntária mais tardio, facilitando a mecânica do movimento e gerando menor intensidade de trabalho.

No presente estudo, a taxa de repetição foi maior nos protocolos autocadenciados. Este comportamento era esperado porque a cadência externa objetivava padronizar a velocidade do TEC³, proporcionando menor intensidade de esforço. De acordo com Hebert-Losier et al.³, o trabalho muscular observado em protocolos autocadenciados pode levar à fadiga precoce.

Com base nessas descobertas, pode-se inferir que a cadência externa e a posição neutra facilitaram o desempenho do teste, refletindo tanto em mais repetições quanto em tempos de execução mais longos. Sua aplicação clínica pode subestimar os indivíduos devido ao menor trabalho muscular.

Com relação à oxigenação muscular, todos os protocolos de TEC induziram à dessaturação e desoxigenação (redução em ΔStO_2 e Nadir $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$). Vale ressaltar que os protocolos N-CE e D-AC mostraram diferenças em ambas as variáveis. O protocolo N-CE induziu maior dessaturação e desoxigenação durante o teste, demonstrando que a posição dos tornozelos e a cadência podem afetar a mecânica e a intensidade do TEC, alterando o estresse muscular e induzindo maior consumo muscular de oxigênio, apesar da ausência de sua influência na ΔStO_2 e no Nadir $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$.

Uma diminuição na ΔStO_2 e no Nadir $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ era esperada, dado o esforço muscular induzido durante o TEC, que pode ser considerado um teste com protocolo de fadiga.^{3,16} Felici et al.¹⁷ e Denis, Bringard e Perry¹⁰ demonstraram que a StO_2 apresenta um declínio constante em duas fases durante um protocolo de fadiga, uma rápida e outra lenta, com estabilização no final, independentemente da sobrecarga. Entretanto, em nosso estudo, os comportamentos de StO_2 e $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ foram diferentes dos descritos por esses autores, com um aumento em seus valores após o Nadir, evidenciado pelo aumento da variável $\Delta\text{Nadir-Final}$.

Luck et al.¹⁸ encontraram um comportamento semelhante de StO_2 durante o exercício do grupo muscular do tríceps sural. Entretanto, o exercício foi cíclico, de baixa intensidade, com intervalos (com um segundo de descanso entre as contrações) e realizado na posição supina¹⁸, o que difere do TEC. Esse aumento observado pode estar associado ao aumento progressivo do fluxo sanguíneo local e à maior oferta de oxigênio para atender à demanda de energia. Vale ressaltar que a $\Delta\text{Nadir-Final}$ foi menor nos protocolos com dorsiflexão. A alteração mecânica decorrente da inclinação dos pés pode ter levado a uma sobrecarga muscular, influenciando a reperusão local durante a execução dos protocolos inclinados.

Além disso, a posição influenciou diretamente a AUCStO_2 e $\text{AUC}\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$, com valores menores nos protocolos com inclinação. A avaliação da AUC é uma forma de aferir o comportamento dinâmico das variáveis de oxigenação, com áreas maiores indicando maior variação, traduzida como maior dessaturação e desoxigenação.¹¹ No presente estudo, como ambos os parâmetros eram semelhantes, as menores AUCs obtidas nos protocolos inclinados poderiam derivar

de dois fatores: 1) menor reperusão após o Nadir e 2) menor tempo de execução desses protocolos, gerando menor número de dados.

Em resumo, a posição dos tornozelos influenciou diretamente as variáveis de oxigenação relacionadas à reperusão local. A dorsiflexão parece causar um trabalho muscular maior⁶, e o movimento em desvantagem mecânica decorrente da execução do TEC nesta posição pode ter gerado maior demanda local de oxigênio, ocasionando uma resposta bioenergética muscular maior, que levou à fadiga precoce e à finalização do teste antes do observado nos protocolos executados na posição neutra.

A cinética da FC diferiu entre os protocolos avaliados. Tanto a amplitude quanto a ΔFC foram superiores nos protocolos de cadência livre. Portanto, pode-se inferir que os protocolos de cadência livre causam maior sobrecarga cardíaca. Isso pode estar associado com a velocidade de execução destes protocolos. A velocidade pode ser considerada como um marcador direto da intensidade do exercício durante o TEC.^{1,3} Diante de uma intensidade mais significativa, um incremento gradual da FC é necessário para suprir a demanda metabólica.¹³

Outro fator que corrobora a hipótese de cadência como marcador de intensidade é a diferença da τ entre os protocolos. Esse marcador representa uma constante de tempo e a velocidade de ajuste cardiovascular, com valores menores indicando maior velocidade de ajuste.¹³ No presente estudo, os protocolos autocadenciados apresentaram valores menores de τ , indicando um aumento mais rápido da FC. Além disso, os maiores valores de τ observados nos protocolos de cadência externa podem expressar um aumento mais lento e progressivo da FC durante estas variações.

Embora tenham sido encontradas diferenças nas variáveis de desempenho, oxigenação e FC, a PSE e PSFP se mostraram semelhantes. Esse achado pode estar relacionado à subjetividade do instrumento (CR10, Borg), bem como à sensação de dificuldade semelhante na execução dos protocolos. Vale ressaltar que todos os testes resultaram no aumento dos valores de PSE e PSFP. O equilíbrio entre a intensidade do esforço e o tempo de execução pode ter contribuído para essa resposta.

Limitações

A principal limitação deste estudo está relacionada à amostra de indivíduos saudáveis. Embora adultos saudáveis geralmente não sejam os sujeitos alvo na prática clínica, conhecer o comportamento fisiológico normal dessas variáveis é necessário para realizar estudos futuros com outras faixas etárias e/ou com alterações ortopédicas, neurológicas e cardiovasculares. Além disso, nossas descobertas mostram claramente uma interdependência entre as variáveis fisiológicas e de desempenho ao aplicar diferentes protocolos de TEC.

Conclusão

Protocolos na posição neutra e com o uso de cadência externa promovem maior número de repetições e tempo de execução do TEC bipodal em adultos saudáveis, aumentando o desempenho no teste. Além disso, a dorsiflexão gerou menor reperfusion muscular, enquanto a autocadência levou à maior sobrecarga cardíaca. Portanto, a escolha do protocolo é determinante para o desempenho do paciente e para a resposta na prática clínica. Sendo assim, é necessário considerar a influência da cadência e da posição dos tornozelos no desempenho e nas variáveis fisiológicas.

Contribuições dos autores

Silveira LS participou da concepção da pergunta de pesquisa, delineamento metodológico, formulação da coleta de dados, procedimento de coleta de dados, extração e análise dos dados, interpretação dos resultados e redação do artigo científico. Mortimer FM, Roque ABAO e Martins EM participaram do procedimento de coleta de dados, análise dos dados e interpretação dos resultados. Sonza A participou da formulação da coleta de dados, interpretação dos resultados, supervisão da pesquisa e revisão do artigo científico. Karsten M participou da concepção da pergunta de pesquisa, delineamento metodológico, formulação da coleta de dados, interpretação dos resultados, supervisão da pesquisa e revisão do artigo científico.

Conflitos de interesses

Nenhum conflito financeiro, legal ou político envolvendo terceiros (governo, empresas e fundações privadas, etc.) foi declarado para nenhum aspecto do trabalho submetido (incluindo, mas não se limitando a subvenções e financiamentos, participação em conselho consultivo, desenho de estudo, preparação de manuscrito, análise estatística, etc.).

Indexadores

A Revista Pesquisa em Fisioterapia é indexada no [EBSCO](#), [DOAJ](#), [LILACS](#) e [Scopus](#).

EBSCO

DOAJ

LILACS

Scopus®

Referências

1. Monteiro DP, Britto RR, Fregonezi GAF, Dias FAL, Silva MG, Pereira DAG. Reference values for the bilateral heel-rise test. *Braz J Phys Ther.* 2017;21(5):344-349. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.06.002>
2. Monteiro DP, Britto RR, Lages ACR, Basílio ML, Pires MCO, Carvalho MLV, et al. Heel-rise test in the assessment of individuals with peripheral arterial occlusive disease. *Vasc Health Risk Manag.* 2013;9:29-35. <https://doi.org/10.2147/VHRM.S39860>
3. Hébert-Losier K, Newsham-West RJ, Schneiders AG, Sullivan SJ. Raising the standards of the calf-raise test: a systematic review. *J Sci Med Sport.* 2009;12(6):594-602. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.628>
4. Pereira DAG, Oliveira KL, Cruz JO, Souza CG, Cunha Filho IT. Avaliação da reprodutibilidade de testes funcionais na doença arterial periférica. *Fisioter. Pesqui.* 2008;15(3):228-234. <https://doi.org/10.1590/s1809-29502008000300003>
5. Svantesson U, Österberg U, Grimby G, Sunnerhagen KS. The standing heel-rise test in patients with upper motor neuron lesion due to stroke. *Scand J Rehabil Med.* 1998;30(2):73-80. Citado em: PMID: [9606768](#).

6. Hébert-Losier K, Schneiders AG, Newsham-West RJ, Sullivan SJ. Scientific bases and clinical utilisation of the calf-raise test. *Phys Ther Sport*. 2009;10(4):142-9. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.07.001>
7. Bohannon RW. The heel-raise test for ankle plantarflexor strength: a scoping review and meta-analysis of studies providing norms. *J Phys Ther Sci*. 2022;34(7):528-31. <https://doi.org/10.1589/JPTS.34.528>
8. Pereira DAG, Furtado SRC, Amâncio GPO, Zuba PP, Coelho CC, Lima AP, et al. Association between heel-rise test performance and clinical severity of chronic venous insufficiency. *Phlebology*. 2020;35(8):631-6. <https://doi.org/10.1177/0268355520924878>
9. Hébert-Losier K, Wessman C, Alricsson M, Svantesson U. Updated reliability and normative values for the standing heel-rise test in healthy adults. *Physiotherapy*. 2017;103(4):446-52. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2017.03.002>
10. Denis R, Bringard A, Perrey S. Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21(12):276-82. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.12.006>
11. Agbangla NF, Audiffren M, Albinet CT. Assessing muscular oxygenation during incremental exercise using near-infrared spectroscopy: comparison of three different methods. *Physiol Res*. 2017;66(6):979-85. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933612>
12. Karsten M, Contini M, Cefalù C, Cattadori G, Palermo P, Apostolo A, et al. Effects of carvedilol on oxygen uptake and heart rate kinetics in patients with chronic heart failure at simulated altitude. *Eur J Prev Cardiol*. 2012;19(3):444-51. <https://doi.org/10.1177/1741826711402736>
13. Zuccarelli L, Porcelli S, Rasica L, Marzorati M, Grassi B. Comparison between slow components of HR and VO2 kinetics: functional significance. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(8):1649-57. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001612>
14. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):377-81. Citado em: PMID: [7154893](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/).
15. Finsterer J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:218. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-218>
16. Faria VC, Oliveira LFL, Ferreira AP, Cunha TEO, Fernandes JSA, Pussieldi GA, et al. Reference values for triceps surae tissue oxygen saturation by near-infrared spectroscopy. *Physiol Meas*. 2022;43(10):105005. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/AC9452>
17. Felici F, Quaresima V, Fattorini L, Sbriccoli P, Filligoi GC, Ferrari M. Biceps brachii myoelectric and oxygenation changes during static and sinusoidal isometric exercises. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009;19(2):e1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.07.010>
18. Luck JC, Miller AJ, Aziz F, Radtka JF, Proctor DN, Leuenberger UA, et al. Blood pressure and calf muscle oxygen extraction during plantar flexion exercise in peripheral artery disease. *J Appl Physiol*. 2017;123(1):2-10. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01110.2016>