

O nível de aptidão física afeta o equilíbrio corporal e as respostas fisiológicas após uma tarefa de transporte de carga por 4 km?

Does physical fitness level affect body balance and physiological responses after a 4 km load carriage task?

Resumo: Não está claro em que medida o melhor nível de aptidão física (NAF), dentro do universo de militares que atendam ao padrão de desempenho físico mínimo exigido pela instituição, é realmente uma vantagem em tarefas operacionais. Objetivo: investigar os efeitos do NAF sobre o equilíbrio corporal e as respostas fisiológicas em uma tarefa de transporte de carga de 4km. O equilíbrio corporal foi coletado (n=22) usando o equipamento pessoal (22kg), antes e após o transporte de carga de 4km (esteira). A frequência cardíaca (FC) foi avaliada ao longo da tarefa, e o resultado mais recente do teste de avaliação física do Exército foi considerado para o NAF. Testes do tipo ANOVA de medidas repetidas mista e testes t independentes foram aplicados ($p < 0,05$). O transporte de carga aumentou significativamente a área de oscilação ($72,21 \pm 30,94$ para $102,68 \pm 48,57$ mm²) e outras variáveis de equilíbrio, sem efeito do NAF. Valores mais baixos de FC média foram observados para o grupo com NAF excelente ($104,55 \pm 9,37$ bpm), em comparação com o grupo de NAF bom/muito bom ($115,07 \pm 10,14$ bpm). Transportar 22kg por 4km piorou o equilíbrio corporal e os militares com melhor NAF realizaram essa tarefa com menos esforço cardíaco.

Palavras-chave: controle postural; sistema cardiovascular; suporte de carga; Ciências Militares; militares.

Abstract: It is not known whether higher physical fitness level (PFL) is really an advantage for military personnel in operational tasks. Objective: To investigate the effects of PFL on body balance and physiological responses in a 4 km load carriage task. Body balance was analyzed (n=22) using personal equipment (22 kg) before and after the 4km load carriage (treadmill). Heart rate (HR) was assessed throughout the task and PFL considered the result of the most recent Brazilian Army physical fitness test. Two-way mixed ANOVA and independent t-tests were applied ($p < 0.05$). Load carriage significantly increased sway area (72.21 ± 30.94 to 102.68 ± 48.57 mm²) and other balance variables, without effects of PFL. The group with excellent PFL had lower mean HR values (104.55 ± 9.37 bpm) compared with the group with good or very good PFL (115.07 ± 10.14 bpm). Carrying 22 kg for 4 km worsened body balance and the military personnel with better PFL performed this task with less cardiac effort.

Keywords: postural control; cardiovascular system; weight-bearing; military sciences; military personnel.

Míriam Raquel Meira Mainenti¹ 

miriam.mainenti@hotmail

Ricardo Alexandre Falcão¹ 

ricfal9@gmail.com

Jonathan Vieira da Silva¹ 

mattbarryan@gmail.com

Victor Vinícius Ribeiro de Lima¹ 


victorvlima@gmail.com

Fabio Alves Machado² 

machado.fa@gmail.com

Adriane Mara de Souza Muniz¹ 

adriane_muniz@yahoo.com

Luis Aureliano Imbiriba³ 

luis_aureliano@hotmail.com

¹Exército Brasileiro. Escola de Educação Física do Exército. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Exército Brasileiro. Instituto de Pesquisa da Capacitação Física do Exército. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Educação Física e Desportos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Recebido: 23 jun. 2022

Aprovado: 17 abr. 2023

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



1 INTRODUÇÃO

Militares devem realizar várias atividades de qualificação e treinamento de combate. Essas tarefas físicas e operacionais envolvem desafios complexos de diferentes graus de dificuldade, como atividades físicas ou manobras táticas e técnicas extenuantes. Por exemplo, as tropas militares devem caminhar por longas distâncias enquanto carregam cargas pesadas de suprimentos, munições e equipamentos, além de enfrentarem obstáculos psicológicos e físicos, muitas vezes resultando no que é chamado, na literatura, de fadiga de combate (MALA *et al.*, 2015).

A carga transportada pelos soldados é geralmente carregada em mochilas ou pacotes que tendem a exigir que o militar tenha uma resposta corporal mecânica e realize ajustes posturais para manter o equilíbrio quando em pé (KNAPIK; REYNOLDS; HARMAN, 2004). Nesse contexto, equilíbrio postural pode ser definido como os processos realizados para manter o corpo dentro de uma base de apoio através da congruência de estímulos dos sistemas visual, proprioceptivo e vestibular, e respostas adequadas do sistema neuromuscular (KLEINER; SCHLITTLER; SÁNCHEZ-ARIAS, 2011; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2016). Normalmente, essa capacidade física é medida objetivamente por uma plataforma de força (DUARTE; FREITAS, 2010), que avalia o deslocamento do Centro de Pressão (COP). Este parâmetro refere-se à localização do vetor resultante das forças de reação do solo aplicadas sobre a base de suporte, formada pela base dos pés (WINTER, 1995). Diversas variáveis são calculadas a partir dos deslocamentos do COP, como área, velocidade, amplitude, desvio padrão e frequência, auxiliando na compreensão do padrão de oscilação corporal do indivíduo (DUARTE; FREITAS, 2010).

Estudos anteriores já mostraram que suportar uma carga (sem transporte) resulta em aumentos significativos na área de oscilação, velocidade média e comprimento do deslocamento total de oscilação (SPL) do COP (GOLRIZ *et al.*, 2015; HELLER; CHALLIS; SHARKEY, 2009; RUGELJ; SEVŠEK, 2011; ZULTOWSKI; ARUIN, 2008). No entanto, ainda não se sabe como essas variáveis baseadas em COP se comportam após as tarefas de transporte de carga, que são muito comuns na rotina real das tropas militares devido aos equipamentos e armamentos que eles próprios têm que transportar. Nesse contexto, Dahl *et al.* (2016) avaliaram o impacto dessa atividade no alinhamento postural (mas não no equilíbrio postural), observando uma maior anteriorização da cabeça após 6 minutos de caminhada usando uma mochila de duas alças; contudo, este estudo abrangeu um tempo que não representa tarefas ocupacionais reais: apenas seis minutos.

Além disso, o transporte de carga pode ficar muito extenuante dependendo das condições específicas de execução, e uma maneira de quantificar o nível de esforço realizado pelas tropas é a medição da frequência cardíaca (FC) durante a atividade. Este parâmetro é descrito na literatura científica como um marcador fisiológico de fadiga e esforço, utilizado para quantificar o estresse decorrente da carga de treinamento físico (FERREIRA *et al.*, 2017; FREITAS; MIRANDA; BARA FILHO, 2009). O registro da frequência cardíaca é um método simples, não invasivo e frequentemente aplicado, que tem sido amplamente utilizado para prescrição de cargas de treinamento, dada a facilidade do uso desse método no monitoramento da intensidade das atividades físicas (LOPES; OSIECKI; RAMA, 2012).

Além da FC, outro marcador fisiológico da intensidade da atividade física é a Escala de Percepção de Esforço (RPE). O RPE foi desenvolvido por Gunnar Borg (1982) como uma ferramenta para quantificar a percepção de esforço em uma determinada tarefa, e essa escala é amplamente utilizada para a prescrição de treinamentos devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação (ESTON, 2012). Estudos de demandas

fisiológicas em indivíduos transportando cargas por longas distâncias mostraram, em geral, um aumento na frequência cardíaca e em variáveis como consumo de oxigênio e RPE (GILES *et al.*, 2019; GRENIER *et al.*, 2012; PIHLAINEN *et al.*, 2014). A avaliação do equilíbrio postural, frequência cardíaca e RPE durante uma atividade de transporte de carga pode retratar respostas biomecânicas, neurológicas e fisiológicas. Essa visão integrada ajudaria a identificar o desempenho físico dos soldados em tal tarefa operacional.

De fato, as organizações militares operacionais brasileiras (que incluem tarefas de transporte de carga de longa distância) exigem que os militares apresentem um alto nível de aptidão física, pontuado no teste de avaliação física do Exército como bom, muito bom ou excelente (BRASIL, 2022). No entanto, apesar do pessoal militar ser reconhecido como um grupo com bom condicionamento físico, dentro do universo de militares fisicamente ativos e que atendam ao padrão de desempenho físico mínimo exigido pela instituição, não se sabe em que medida o melhor nível de desempenho físico observado no TAF se traduz em vantagens na execução de tarefas operacionais, como o transporte de carga. Além disso, não foi investigado se essas variáveis citadas estão associadas entre si e poderiam realmente apresentar uma visão integrada, como proposto anteriormente. Espera-se que indivíduos com melhor aptidão física cardiopulmonar possam apresentar menor FC média absoluta durante a realização de atividades físicas, como já observado (DU *et al.*, 2005). No entanto, até onde sabemos, a associação entre demanda fisiológica e nível de aptidão física ainda não foi investigada para essa tarefa militar específica: o transporte de carga. Nossa hipótese era que militares bem condicionados realizariam tarefas de transporte de carga com respostas mínimas fisiológicas e de equilíbrio corporal, indicando um possível atraso no desenvolvimento da fadiga.

O estudo dos efeitos do transporte de carga no equilíbrio postural e nas variáveis fisiológicas deve revelar as repercussões físicas dessa tarefa realizada por muitos grupos ocupacionais, como militares, tanto durante o treinamento quanto nos cenários reais. Com esse conhecimento, os instrutores de treinamento físico militar poderão desenvolver estratégias específicas para minimizar os efeitos e garantir a prontidão das tropas, mesmo após um transporte de carga de longa distância. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos sobre o equilíbrio corporal e as respostas fisiológicas ao longo de uma tarefa de transporte de carga de 4 km, em função do nível de aptidão física (NAF). Além disso, a relação entre equilíbrio e alterações fisiológicas provocadas pela tarefa de transporte de carga também foi investigada.

2 MÉTODOS

2.1 Amostra e delineamento do estudo

Trata-se de um estudo observacional transversal com uma amostra de 22 participantes do sexo masculino da Escola de Educação Física do Exército Brasileiro (EsEFEx), uma organização militar localizada no Rio de Janeiro, Brasil (amostra de conveniência). Os critérios de inclusão foram ser do sexo masculino, ter idade entre 18 e 30 anos e apresentar pontuação mínima de “Bom” no último Teste de Aptidão Física do Exército (TAF), que é aplicado a cada quatro meses. Esse critério de inclusão foi aplicado para representar os militares que normalmente realizam o transporte de cargas no Exército Brasileiro: os empregados em bases operacionais, que exigem um mínimo de “Bom”. Nenhum indivíduo tinha histórico de doença musculoesquelética ou neurológica. Os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética local (número do protocolo: 83493618.1.00000.5235).

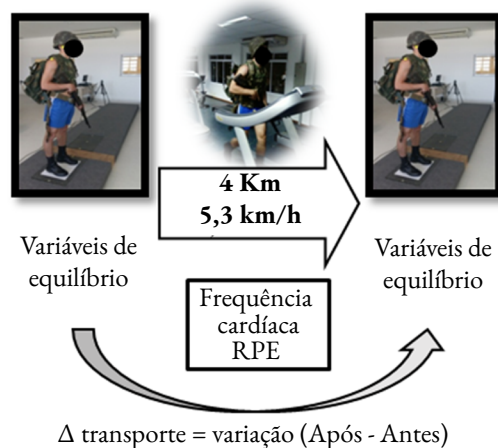
Um tamanho de amostra de 20 foi calculado por G*Power (versão 3.1.9.7, Alemanha) para os seguintes parâmetros: potência = 0,80, α = 0,05 e tamanho de efeito = 0,35 (Família de testes = testes F, Anova: medidas repetidas, dentro-entre interação). Como nenhum estudo anterior fez essa avaliação antes (antes e depois do transporte de carga com variáveis de equilíbrio corporal), o valor do tamanho do efeito foi escolhido para classificar esse efeito como “não alto”. Uma vez que 0,40 ou 0,50 são frequentemente adotados como o limite para efeitos altos (para análise etc), um valor logo abaixo dele (0,35) foi usado no G*Power. Assim, vinte e dois militares foram selecionados para evitar que um possível abandono da amostra pudesse reduzir o poder de análise do estudo.

2.2 Marcha simulada de 4km

A distância de 4 km foi percorrida em 45 minutos a uma velocidade constante de 5,3 km/h, em uma esteira (TechnoGym, modelo Exite Run 900, Itália), no mesmo período do dia para todos os participantes, em um ambiente com temperatura e umidade controlada no Laboratório de Biociências (EsEFEx). Esse protocolo foi baseado nas características das marchas militares estabelecidas pelas diretrizes do Manual de Campo do Exército Brasileiro (BRASIL, 2019). Os participantes usaram seus equipamentos pessoais (média da carga transportada: 21,8 ± 0,77 kg) ao longo de todo o protocolo experimental: rifle, capacete, mochila de tamanho médio com 15 kg, suspensórios, cinto tático com uma cantil de água (1 litro) presa no lado esquerdo.

Os procedimentos experimentais foram realizados na seguinte ordem: (i) avaliação do equilíbrio postural sustentando equipamentos pessoais; (ii) transporte de carga durante 4 km em marcha simulada na esteira com medição da frequência cardíaca (FT1, Polar, Finlândia) e classificação do esforço percebido (RPE); e (iii) avaliação pós-marcha do equilíbrio postural com equipamentos pessoais (Figura 1). Toda a coleta de dados para cada participante levou cerca de 80 minutos.

Figura 1 – Representação esquemática do protocolo experimental para avaliação do equilíbrio postural e fisiológico (frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço – RPE)



RPE = percepção subjetiva de esforço (do inglês *rating of perceived exertion*)

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

Todos os equipamentos individuais foram pesados em balança Filizola® modelo PL 2007 (Brasil), que também foi utilizada para medir a massa corporal total dos participantes. A estatura foi mensurada com estadiômetro Sanny® (Brasil), conforme protocolo padrão.

2.3 Avaliação do equilíbrio postural (estabilometria)

Uma plataforma de força (Bertec, EUA) foi usada para avaliar o deslocamento do centro de pressão (COP). Três testes de avaliação do equilíbrio postural foram coletados para garantir maior confiabilidade dos dados (RUHE *et al.*, 2010) e sua média foi utilizada para análise. Cada teste estabilométrico foi coletado durante 80 segundos, com os 20 s iniciais descartados para evitar possíveis distúrbios transitórios (CARROLL; FREEDMAN, 1993; LIN *et al.*, 2008). Um intervalo de 45 segundos foi estabelecido entre cada medição, durante o qual os participantes permaneceram sentados, mas sem remover o equipamento pessoal. Os dados estabilométricos foram adquiridos a uma taxa de amostragem de 1 kHz e foram filtrados usando um filtro passa-baixa Butterworth bidirecional de 2ª ordem com uma frequência de corte de 5 Hz (DUARTE; FREITAS, 2010).

Os participantes foram orientados a permanecer em posição confortável, com os pés afastados aproximadamente na largura dos ombros. A posição dos pés do participante foi marcada em uma folha de papel colocada na plataforma de força, para evitar mudanças na área da base de apoio ao longo dos testes. Todos os participantes foram instruídos a evitar movimentos durante as medições e fixaram os olhos em um ponto três metros à frente deles.

As variáveis dependentes calculadas a partir do deslocamento do COP foram: área de oscilação (mm²), comprimento do deslocamento total de oscilação (mm) e, separadamente, velocidade, desvio padrão e amplitude nas direções anteroposterior (AP) e médio-lateral (ML) (PRIETO *et al.*, 1996). Essas variáveis do COP foram calculadas usando rotinas específicas no software Matlab 2020 (The Mathworks, EUA).

2.4 Avaliação das variáveis fisiológicas

Durante a marcha simulada, a frequência cardíaca (FC) foi monitorada ao longo do experimento e registrada a cada cinco minutos por um monitor de frequência cardíaca portátil (FT1, Polar, Finlândia). A percepção subjetiva de esforço (RPE) também foi registrada a cada cinco minutos, utilizando a Escala de Borg modificada, variando de 0 (nenhum esforço) a 10 (esforço máximo) (BORG, 2000). Antes da tarefa, os participantes foram familiarizados com a escala e os pesquisadores enfatizaram o significado de cada número. Por exemplo, sempre foi afirmado que o número 5 não era “moderado” como muitos podem pensar (como o ponto médio entre 0 e 10), mas “difícil”. A FC média e o RPE médio foram calculados considerando as nove medidas realizadas ao longo da caminhada de 45 minutos. Também foram analisados a frequência cardíaca máxima (FC máx.) e a RPE (RPE máx.), considerados como o maior valor medido nos últimos 15 minutos de transporte de carga.

2.5 Nível de Aptidão Física (NAF)

Os níveis de aptidão física foram obtidos usando a pontuação alcançada no último Teste de Avaliação Física do Exército (TAF), conforme registrado em cada arquivo institucional individual. O TAF consiste em corrida de 12 minutos, flexões de braço no solo, flexões na barra e abdominais. Os militares são classificados em escores de aptidão de acordo com os resultados da TAF: I (insuficiente), R (regular), B (bom), MB (muito bom) e E (excelente) (BRASIL, 2022). O NAF final, registrado na ficha institucional individual, é a pior nota entre os quatro testes.

Para evitar viés de seleção e de outras fontes, aplicamos algumas condutas padrão ao longo da pesquisa: (i) os dados de elegibilidade foram conferidos no formulário de anamnese por questões específicas; (ii) o pesquisador que auxiliou o participante a preencher este formulário não foi aquele que acompanhou os militares na marcha terrestre simulada de 4km; e (iii) os escores do TAF foram os últimos dados incluídos na planilha utilizada na análise.

2.6 Análise dos dados

Inicialmente, os participantes foram divididos em dois grupos de acordo com seu nível de aptidão física (NAF): um com os participantes que obtiveram um escore TAF de excelente (EX, $n = 11$) e outro grupo com aqueles cujo escore TAF foi bom ou muito bom (BMB, $n = 11$). A distribuição dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Para identificar os efeitos do transporte de carga, considerando o nível de aptidão física, aplicou-se ANOVA de dois fatores mista (para variáveis de equilíbrio postural) e teste t para amostras independentes (comportamento cardíaco durante a tarefa de transporte de carga: variáveis FC média e FC máxima). Para a percepção subjetiva de esforço, a comparação entre os grupos de acordo com o NAF foi realizada por meio do Teste Exato de Fisher, que comparou as frequências dos escores do RPE para ambos os grupos de nível de aptidão física (EX vs. BMB).

Por fim, os testes de correlação de Pearson entre as variáveis estabilométricas e frequência cardíaca foram utilizados para avaliar a relação entre as alterações do equilíbrio postural causadas pelo transporte de carga (Δ transporte, para variáveis que apresentaram modificações significativas em análises anteriores) e a demanda cardíaca para a tarefa (FC média e FC máxima).

Os dados foram apresentados como média \pm desvio padrão e como frequência. Todas as análises foram realizadas utilizando o IBM SPSS Statistics (versão 27). Diferenças estatisticamente significativas foram consideradas para valores de $p < 0,05$. O coeficiente de correlação (r) foi considerado muito forte para valores de $r \geq 0,9$; forte para r entre 0,6 (incluso) e 0,9; regular para r entre 0,3 (incluso) e 0,6; e fraco para r entre 0 e 0,3 (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

3 RESULTADOS

Foram avaliados 22 militares ($27,09 \pm 2,07$ anos, $75,70 \pm 9,14$ kg e $1,77 \pm 0,07$ m). Em relação à última pontuação obtida no Teste de Avaliação Física do Exército (TAF), 31,80% dos participantes foram classificados como bons (B), 18,20% como muito bons (MB) e 50,00% como excelentes (E). As características antropométricas do grupo excelente (EX, $n = 11$)

foram $27,09 \pm 1,97$ anos, $70,26 \pm 7,73$ kg, $1,75 \pm 0,07$ m e para o grupo bom e muito bom (BMB, n = 11) foram $27,09 \pm 2,26$ anos, $81,13 \pm 7,13$ kg, $1,79 \pm 0,07$ m.

A ANOVA de dois fatores mista apresentou efeito do fator transporte de carga, com aumentos significativos para: área de oscilação ($F = 13,174$, $p = 0,002$), desvio padrão ML ($F = 16,836$, $p = 0,001$) e amplitude ML ($F = 26,648$, $p < 0,001$) (Tabela 1). Não foi observado efeito do fator nível de aptidão física e também não foi verificada interação.

Tabela 1 – Variáveis de equilíbrio corporal antes e após o transporte de carga de 4km para toda a amostra (n=22), e para os grupos de nível de aptidão física excelente (EX, n=11) e bom ou muito bom (BMB, n=11)

Variáveis	Antes do transporte de carga	Após o transporte de carga
Área de oscilação (mm²)		
EX	$69,03 \pm 38,59$	$94,04 \pm 57,18$
BMB	$75,39 \pm 22,33$	$111,32 \pm 38,98$
Total	$72,21 \pm 30,94$	$102,68 \pm 48,57^*$
Velocidade média ML (mm/s)		
EX	$2,61 \pm 0,75$	$2,53 \pm 0,73$
BMB	$2,56 \pm 0,50$	$2,71 \pm 0,56$
Total	$2,59 \pm 0,62$	$2,62 \pm 0,64$
Velocidade média AP (mm/s)		
EX	$4,51 \pm 0,76$	$4,37 \pm 0,93$
BMB	$4,68 \pm 1,15$	$4,86 \pm 0,97$
Total	$4,59 \pm 0,95$	$4,61 \pm 0,96$
Desvio padrão ML (mm)		
EX	$1,88 \pm 0,71$	$2,46 \pm 0,97$
BMB	$1,80 \pm 0,41$	$2,56 \pm 0,55$
Total	$1,84 \pm 0,57$	$2,51 \pm 0,77^*$
Desvio padrão AP (mm)		
EX	$3,28 \pm 1,01$	$3,64 \pm 1,55$
BMB	$3,72 \pm 0,83$	$3,79 \pm 1,01$
Total	$3,50 \pm 0,93$	$3,71 \pm 1,28$
Amplitude ML (mm)		
EX	$9,88 \pm 3,44$	$12,15 \pm 4,30$
BMB	$9,37 \pm 1,95$	$13,47 \pm 2,40$
Total	$9,62 \pm 2,74$	$12,81 \pm 3,46^*$
Amplitude AP (mm)		
EX	$17,24 \pm 5,07$	$17,67 \pm 5,66$
BMB	$19,10 \pm 3,81$	$19,91 \pm 5,18$
Total	$18,17 \pm 4,48$	$18,79 \pm 5,41$
SPL (mm)		
EX	$340,11 \pm 60,55$	$328,33 \pm 71,38$
BMB	$347,05 \pm 65,98$	$362,36 \pm 62,94$
Total	$343,58 \pm 61,90$	$345,34 \pm 67,94$

Os dados são mostrados como média \pm desvio padrão. AP = direção anteroposterior.

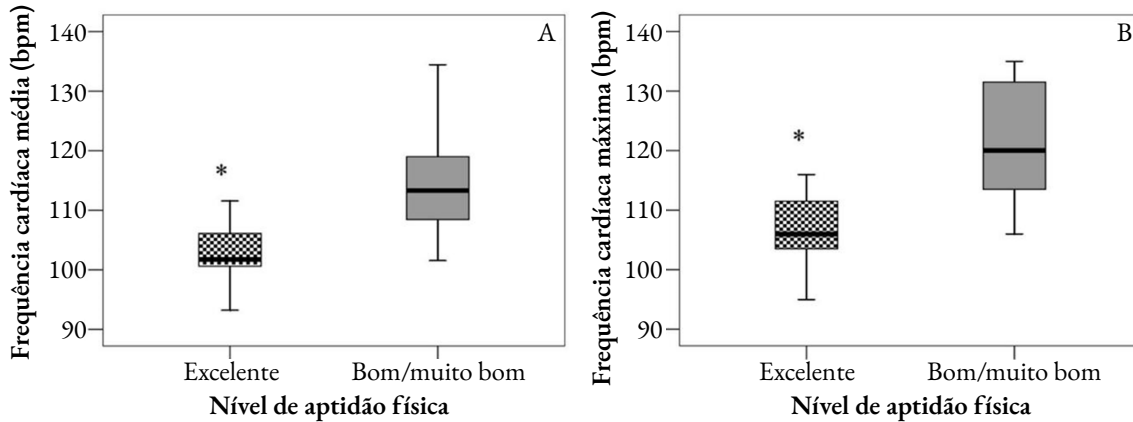
EX = grupo excelente (n = 11). BMB = grupo bom e muito bom (n = 11). ML = direção médio-lateral.

SPL = comprimento do caminho de oscilação, do inglês *sway path length*. * $p < 0,05$

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

O comportamento cardíaco, de acordo com o nível de aptidão física, mostrou diferença estatística significativa entre os grupos. Os participantes com excelente nível de aptidão apresentaram menor esforço cardíaco do que o grupo com nível de aptidão bom/muito bom, com valores de frequência cardíaca média e máxima mais baixos (Figura 2).

Figura 2 – Boxplots (mínimo, 1º quartil, mediana, 3º quartil, valores máximos) para frequência cardíaca média (A) e frequência cardíaca máxima (B). * diferença estatística entre os grupos de nível de aptidão física (teste t para amostras independentes)



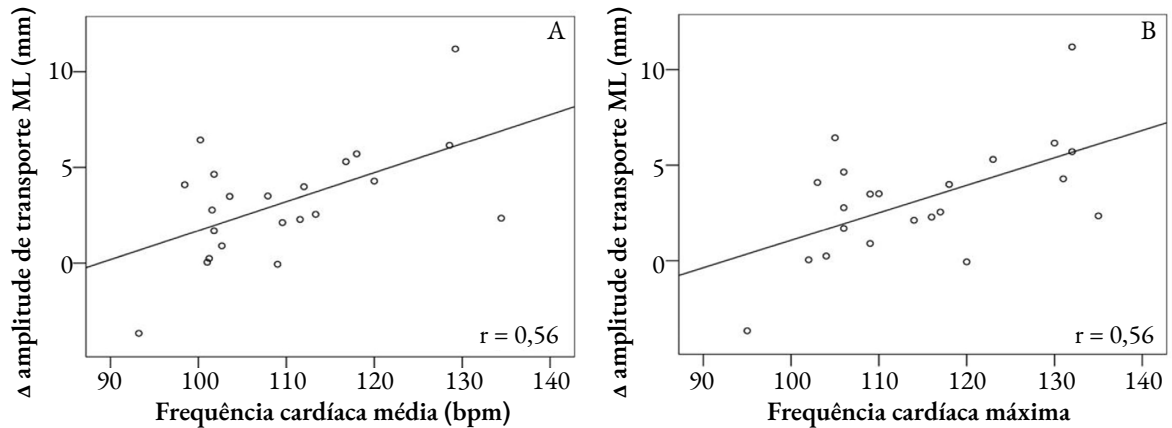
Fonte: elaborado pelos autores, 2023

Apesar da diferença encontrada para a frequência cardíaca, a percepção subjetiva de esforço (RPE) não mostrou diferença entre os grupos EX e BMB, tanto para a RPE média quanto para a RPE máxima. A análise dos valores médios de RPE para o EX mostrou que sete participantes apresentaram escore 2 e quatro participantes apresentaram escore 3. No grupo BMB, quatro participantes apresentaram escore 2 e sete participantes apresentaram escore 3. O Teste Exato de Fisher não apresentou diferença estatística para o RPE Médio ($p = 0,40$). Para a variável RPE máximo, seis participantes do grupo EX relataram 2 como RPE máximo, quatro relataram 3 e um relatou 4. No grupo BMB, dois participantes relataram 2 como RPE máximo, oito relataram 3 e um relatou 4. Da mesma forma que o RPE médio, o RPE máximo não apresentou diferença estatística no Teste Exato de Fisher ($p = 0,19$).

Por fim, as variáveis cardíacas apresentaram correlação significativa, positiva e regular com Δ transporte do desvio padrão ML (FC média: $r = 0,50$, $p = 0,019$; FC máxima: $r = 0,46$, $p = 0,033$) e Δ transporte da amplitude ML (FC média: $r = 0,56$, $p = 0,007$; FC máxima: $r = 0,56$, $p = 0,007$) (Figura 3). Outra correlação significativa foi encontrada entre a FC média e a Δ transporte da área de oscilação ($r = 0,45$, $p = 0,038$). A correlação entre FC máxima e Δ transporte da área de oscilação não apresentou resultados significativos ($r = 0,38$, $p = 0,083$).

Figura 3 – Gráficos de dispersão para Δ transporte da amplitude ML vs. frequência cardíaca média (A) e frequência cardíaca máxima (B)

r = Coeficiente de correlação de Pearson



Fonte: elaborado pelos autores, 2023

4 DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo identificar os efeitos do transporte de carga de 4 km (com cerca de 22 kg) no equilíbrio postural e nas respostas cardíacas, comparando sujeitos com diferentes níveis de aptidão física. Os resultados mostraram que: (i) carregar o equipamento pessoal por 4 km levou a mudanças na área de oscilação, amplitude ML e desvio padrão ML; (ii) o nível de aptidão física foi associado à frequência cardíaca durante a caminhada na esteira, mas não com mudanças no controle postural; e (iii) houve uma correlação positiva entre mudanças posturais e fisiológicas resultantes do transporte de carga.

4.1 Equilíbrio postural e transporte de carga

As alterações observadas no equilíbrio postural após o transporte de carga poderiam ser explicadas por um possível cansaço causado pela tarefa. Em exercícios militares prolongados, a sustentação de equipamentos pessoais parece levar à fadiga muscular importante dos membros inferiores. A exaustão desses músculos impacta o equilíbrio corporal, com maior desafio e modificações na propriocepção (ARLIANI *et al.*, 2013; MARCHETTI; ORSELLI; DUARTE, 2013). Manter o equilíbrio postural após pequenas perturbações é difícil, em função de alterações na noção de posição (ALLEN; PROSKE, 2006) e na estabilidade articular do tornozelo (YAGGIE; MCGREGOR, 2002), e prejuízo na sinergia da musculatura do quadril e joelho para reagir a essas pequenas perturbações (GRIBBLE; HERTEL, 2004). Além disso, a fadiga impacta a própria função neuromuscular, piorando a capacidade de contrações musculares rápidas e adequadas aos ajustes posturais.

Vários estudos argumentaram que a fadiga é um fator que prejudica o equilíbrio postural (ALLEN; LEUNG; PROSKE, 2010; NARDONE *et al.*, 1997; RAHNAMA *et al.*, 2003). Por exemplo, Baroni *et al.* (2011) confirmaram a relação direta de dependência entre fadiga e

equilíbrio postural (onde o aumento da fadiga leva a um maior desequilíbrio); mas esse resultado foi observado pela aplicação de um protocolo de fadiga do cicloergômetro, diferente da intervenção do presente estudo. Outros autores chegaram a conclusões semelhantes usando dinamometria isocinética de músculos isolados (GRIBBLE; HERTEL, 2004; YAGGIE; MCGREGOR, 2002). Nosso estudo mostra que o equilíbrio postural é modulado por uma tarefa anterior de transporte de carga e as correlações positivas observadas entre alterações posturais e fisiológicas melhoram essa discussão, afirmando que quanto mais esforço cardíaco durante a tarefa, pior o equilíbrio corporal. Certamente, como um estudo observacional transversal, essa correlação não garante uma relação de causa-efeito, mas observando esses resultados, parece que a visão integrada (comportamento biomecânico, neurológico e fisiológico) citada na introdução faz sentido.

Nossos resultados mostraram modificações significativas nos ajustes posturais ML após o transporte de carga, o que poderia ser explicado por uma possível assimetria de carga nos membros (ZULTOWSKI; ARUIN, 2008). Durante a caminhada de 4 km, os participantes foram autorizados a carregar a arma na posição que considerassem mais confortável, mas alternaram a arma entre as duas mãos, algo que poderia ter causado as diferenças observadas principalmente no eixo ML. Vale ressaltar também que o corpo humano possui estratégias posturais para manter o equilíbrio em relação aos eixos de movimento. Para o eixo AP, as estratégias tornozelo e quadril parecem ser mais observadas (HORAK; NASHNER, 1986), e para o eixo ML a estratégia carga-descarga (WINTER, 1995) é mais comum, que mostra certa assimetria postural. Nesse sentido, não é de todo surpreendente que o eixo ML tenha apresentado o maior impacto nos parâmetros estabilométricos em função da demanda física.

Para nosso conhecimento, o presente estudo foi o primeiro a avaliar o equilíbrio postural após uma caminhada de longa distância com transporte de carga. O único estudo que abordou posturas estáticas após o transporte de carga avaliou o alinhamento postural após uma caminhada com carga por 6 minutos. Dahl *et al.* (2016) encontraram um aumento na hiperextensão do pescoço após a caminhada, mas não investigaram o equilíbrio postural.

4.2 Relação do nível de aptidão física com a frequência cardíaca e mudanças estabilométricas

Nossos resultados mostraram que o nível de aptidão física esteve associado ao comportamento cardíaco na tarefa de transporte de carga. Os participantes com melhores escores TAF realizaram os 4 km de caminhada com menor esforço cardíaco, refletido em menores valores de FC média e máxima. Além disso, o aumento dos parâmetros estabilométricos pós-caminhada não foi o mesmo para todos os indivíduos da amostra. Aqueles que apresentaram mais alterações no equilíbrio postural após a caminhada de 4 km são aqueles que também apresentaram maior esforço cardiovascular. Os participantes que apresentaram melhor aptidão física provavelmente estavam mais adaptados à tarefa, o que pode ter contribuído para menor necessidade de ajustes na frequência cardíaca durante o baixo esforço físico.

Embora a associação entre o comportamento cardíaco em uma tarefa de transporte de carga de longa distância e os níveis de aptidão nunca tenha sido investigada, os resultados corroboraram os achados tradicionais da área de estudo da fisiologia do exercício.

Indivíduos com melhores níveis de aptidão apresentariam melhor eficiência/economia de movimento, demandando menos de seu sistema cardiovascular em uma determinada tarefa física (LITLESKARE *et al.*, 2020). Apesar de termos observado uma influência do nível de aptidão física no comportamento da frequência cardíaca, não houve impacto no equilíbrio corporal. Isso pode ser explicado pelo alto nível de experiência dos participantes e pelo baixo nível de dificuldade da avaliação do equilíbrio (60s mantendo a posição vertical com equipamentos pessoais).

4.3 Limitações e destaques

Não foram realizados testes específicos para avaliar a fadiga muscular periférica associada à caminhada de 4 km, sendo essa uma das limitações do presente estudo. Outra limitação importante foi o uso de uma esteira para simular uma marcha em um ambiente controlado, quando as tarefas reais de transporte de carga são geralmente realizadas pelas tropas em terrenos irregulares, com encostas íngremes e sob as mais variadas condições climáticas. No entanto, como este foi o primeiro estudo a examinar os efeitos do transporte de carga de longa distância no equilíbrio postural, optou-se por trabalhar em ambiente controlado, a fim de permitir um acompanhamento abrangente e individualizado.

Usar a escala RPE com membros do serviço militar não é uma tarefa fácil. Como esses indivíduos geralmente estão fisicamente aptos (devido ao seu treinamento militar), eles geralmente subestimam o esforço percebido na maioria das tarefas. Nesse sentido, é imprescindível a familiarização com cada valor significado da escala, estratégia realizada no presente estudo. Por fim, cabe ressaltar que dentre os estudos sobre transporte e sustentação de carga, uma amostra de 22 indivíduos é maior do que em muitos estudos, aumentando a relevância de nossos achados.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Transportar 22kg por 4km piorou o equilíbrio corporal com modificações na área de oscilação, desvio padrão médio-lateral e amplitude médio-lateral. Os participantes com melhor nível de aptidão física realizaram essa tarefa com menos esforço cardíaco, mas nenhuma influência foi observada na oscilação corporal. Por fim, os participantes que realizaram o transporte de carga de 4 km com menor esforço cardíaco também apresentaram as menores variações do equilíbrio postural, em função do transporte de carga.

Outras pesquisas sobre este tema poderiam avaliar o comportamento da frequência cardíaca após a realização da tarefa de transporte de carga, a fim de identificar por quanto tempo os militares mantêm condições próximas ao pré-esforço, fato que melhora a capacidade de realizar as missões atribuídas. Outra sugestão é avaliar os efeitos no equilíbrio postural do transporte de carga posicionada simetricamente, verificando se esses efeitos desaparecem, como geralmente ocorre nas tarefas de suporte de carga (sem transporte). Além disso, seria importante verificar as modificações após o transporte de carga no terreno (fora do laboratório) e também para distâncias mais longas.

6 AUTORIA E CONTRIBUIÇÕES

Miriam Raquel Meira Mainenti, Ricardo Alexandre Falcão, Luis Aureliano Imbiriba – concepção e desenho da obra; aquisição, análise e interpretação dos dados; revisão crítica da obra para garantir a importância do conteúdo intelectual; aprovação final da versão submetida à Coleção Meira Mattos.

Jonathan Vieira da Silva, Victor Vinícius Ribeiro Lima – aquisição, análise e interpretação dos dados; elaboração do trabalho; aprovação final da versão submetida à Coleção Meira Mattos.

Fabio Alves Machado – interpretação dos dados; revisão crítica do trabalho para garantir a importância do conteúdo intelectual; aprovação final da versão submetida à Coleção Meira Mattos.

Adriane Mara de Souza Muniz – análise e interpretação dos dados; revisão crítica do trabalho para garantir a importância do conteúdo intelectual; aprovação final da versão submetida à Coleção Meira Mattos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, T. J.; PROSKE, U. Effect of muscle fatigue on the sense of limb position and movement. **Experimental Brain Research**, Bethesda, v. 170, n. 1, p. 30-38, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16328298/>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- ALLEN, T. J.; LEUNG, M.; PROSKE, U. The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. **Journal of Physiology**, Bethesda, v. 588, n. 8, p. 1369-1377, 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2872740/>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- ARLIANI, G. G.; ALMEIDA, G. P. L.; SANTOS, C. V.; VENTURINI, A. M.; ASTUR, D. C.; COHEN, M. O efeito do esforço na estabilidade postural em jovens jogadores de futebol. **Acta Ortopédica Brasileira**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 155-158, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aob/a/TTs4rXhkqgDbMqtDcDhQLfw/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BARONI, B. M.; WIEST, M. J.; GENEROSI, R. A.; VAZ, M. A.; LEAR JUNIOR, E. C. P. Efeito da fadiga muscular sobre o controle postural durante o movimento do passe em atletas de futebol. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, Santa Catarina, v. 13, n. 5, p. 348-353, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcdh/a/gxZPZRjTt65QTPKz9MMHXqH/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Bethesda, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BORG, G. **Escalas de Borg para a dor e o esforço percebido**. São Paulo: Manole, 2000.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Portaria nº 850-EME, de 31 de agosto de 2022**. Aprova diretriz para a avaliação física do Exército Brasileiro EB20-D-03.053. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2022. Disponível em: http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/01_diretrizes/04_estado-maior_do_exercito/port_n_850_eme_31ago2022.html. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Portaria nº 041-COTER, de 4 de abril de 2019**. Manual de Campanha EB70-MC-10.304. Marchas a Pé. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2019.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CARROLL, J. P.; FREEDMAN, W. Nonstationary properties of postural sway. **Journal of Biomechanics**, Bethesda, v. 26, n. 4-5, p. 409-416, 1993. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8478345/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DAHL, K. D.; WANG, H.; POPP, J. K.; DICKIN, D. C. Load distribution and postural changes in young adults when wearing a traditional backpack versus the BackTpack. **Gait Posture**, Bethesda, v. 45, p. 90-96, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26979888/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DU, N. *et al.* Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. **Journal of Sports Science & Medicine**, Bethesda, v. 4, n. 1, p. 9-17, 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3880089/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DUARTE, M.; FREITAS, S. M. S. Revisão sobre posturografia baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 183-192, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/hFQTppgw4q3jGBCDKV9fdCH/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ESTON, R. Use of ratings of perceived exertion in sports. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Bethesda, v. 7, n. 2, p. 175-182, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22634967/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

FERREIRA, L. L.; SOUZA, N. M.; BERNARDO, A. F. B.; VITOR, A. L. R.; VALENTI, V. E.; VANDERLEI, L. C. M. Variabilidade da frequência cardíaca como recurso em fisioterapia: análise de periódicos nacionais. **Fisioterapia & Movimento**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 25-36, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fm/a/wtXh958WvNYsP37scpDtDgP/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2023.

FREITAS, D. S.; MIRANDA, R.; BARA FILHO, M. Marcadores psicológico, fisiológico e bioquímico para determinação dos efeitos da carga de treino e do overtraining. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Santa Catarina, v. 11, n. 4, p. 457-465, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/1980-0037.2009v11n4p457>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GILES, G. E.; HASSELQUIST, L.; CARUSO, C. M.; EDDY, M. D. Load carriage and physical exertion influence cognitive control in military scenarios. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Bethesda, v. 51, n. 12, p. 2540-2546, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31274685/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GOLRIZ, S.; HEBERT, J. J.; FOREMAN, K. B.; WALKER, B. F. The effect of hip belt use and load placement in a backpack on postural stability and perceived exertion: a within-subjects trial. **Ergonomics**, Bethesda, v. 58, n. 1, p. 140-147, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25265931/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GRENIER, J. G. *et al.* Effects of Extreme-Duration Heavy Load Carriage on Neuromuscular Function and Locomotion: A Military-Based Study. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 8, p. 1-11, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22927995/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GRIBBLE, P. A.; HERTEL, J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural balance. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Bethesda, v. 85, n. 4, p. 589-592, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15083434/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

HELLER, M. F.; CHALLIS, J. H.; SHARKEY, N. A. Changes in postural sway as a consequence of wearing a military backpack. **Gait Posture**, Bethesda, v. 30, n. 1, p. 115-117, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19403310/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

HORAK, F. B.; NASHNER, L. M. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 55, n. 6, p. 1369-1381, 1986. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3734861/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

KLEINER, A. F. R.; SCHLITTLER, R. D. C.; SÁNCHEZ-ARIAS, M. D. R. O papel dos sistemas visual, vestibular, somatosensorial e auditivo para o controle postural. **Revista Neurociências**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 349-357, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/72584>. Acesso em: 20 abr. 2023.

KNAPIK, J. J.; REYNOLDS, K. L.; HARMAN, E. Soldier Load Carriage: Historical, Physiological, Biomechanical, and Medical Aspects. **Military Medicine**, Bethesda, v. 169, p. 45-56, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14964502/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LIN, D.; SEOL, H.; NUSSBAUM, M. A.; MADIGAN, M. L. Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. **Gait Posture**, Bethesda, v. 28, n. 2, p. 337-342, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18316191/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LITLESKARE, S.; ENOKSEN, E.; SANDVEI, M.; STØEN, L.; STENSRUD, T.; JOHANSEN, E.; JENSEN, J. Sprint Interval Running and Continuous Running Produce Training Specific Adaptations, Despite a Similar Improvement of Aerobic Endurance Capacity—A Randomized Trial of Healthy Adults. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Bethesda, v. 17, n. 11, p. 3865, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32485945/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LOPES, R. F.; OSIECKI, R.; RAMA, L. M. P. L. Resposta da frequência cardíaca e da concentração de lactato após cada segmento do triathlon olímpico. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 158-160, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbme/a/Y6tMwmCXy6NZVRZQ4NBMBvN/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MALA, J. *et al.* The role of strength and power during performance of high intensity military tasks under heavy load carriage. **US Army Medical Department Journal**, Bethesda, p. 3-11, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26101902/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MARCHETTI, P. H.; ORSELLI, M. I. V.; DUARTE, M. The effects of uni- and bilateral fatigue on postural and power tasks. **Journal of Applied Biomechanics**, Bethesda, v. 29, n. 1, p. 44-48, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22814245/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

NARDONE, A.; TARANTOLA, J.; GIORDANO, A.; SCHIEPPATI, M. Fatigue effects on body balance. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, Bethesda, v. 105, n. 5, p. 309-320, 1997. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9284239/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PIHLAINEN, K.; SANTTIIA, M.; HÄKKINEN, K.; LINDHOLM, H.; KYRÖLÄINEN, H. Cardiorespiratory Responses Induced by Various Military Field Tasks. **Military Medicine**, Bethesda, v. 179, n. 2, p. 218-224, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24491620/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PRIETO, T. E.; MYKLEBUST, J. B.; HOFFMANN, R. G.; LOVETT, E. G.; MYKLEBUST, B. M. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. **IEEE Transactions on Bio-medical Engineering**, Bethesda, v. 43, n. 9, p. 956-966, 1996. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9214811/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

RAHNAMA, N., REILLY, T., LEES, A., GRAHAM-SMITH, P. Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. **Journal of Sports Sciences**, Bethesda, v. 21, n. 11, p. 933-942, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14626373/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

RUGELJ, D.; SEVŠEK, F. The effect of load mass and its placement on postural sway. **Applied Ergonomics**, Bethesda, v. 42, n. 6, p. 860-866, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21356532/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

RUHE, A.; FEJER, R.; WALKER, B. The test–retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions – A systematic review of the literature. **Gait Posture**, Bethesda, v. 32, n. 4, p. 436-445, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20947353/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Motor control**: translating research in clinical practice. 5. ed. Philadelphia: Lippincott, 2016.

WINTER, D. A. **A.B.C. of Balance During Standing and Walking**. Ontario: Waterloo Biomechanics, 1995.

YAGGIE, J. A.; MCGREGOR, S. J. Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Bethesda, v. 83, n. 2, p. 224-228, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11833026/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ZULTOWSKI, I.; ARUIN. A. Carrying loads and postural sway in standing: the effect of load placement and magnitude. **Work**, Bethesda, v. 30, n. 3, p. 359-368, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18725699/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

