

Respuestas fisiológicas a la marcha equipada de 12 km transportando una ametralladora MAG o un fusil: el efecto del peso del armamento en militares bien acondicionados

Physiological Responses to 12-Km Loaded March Carrying a Machine Gun or a Rifle: Effect of Weapon Weight in Physically Fit Military Personnel

Resumen: El objetivo fue comparar las respuestas fisiológicas, durante una marcha de 12 km siguiendo los protocolos del Ejército Brasileño, entre dos grupos que transportaban diferentes cargas (equipo personal más ametralladora y equipo personal más fusil). Además, investigamos si existe una correlación entre el peso de la carga, en porcentaje de la masa corporal total (%MCT) y esas respuestas fisiológicas. Se analizaron las siguientes variables: frecuencia cardíaca media, variación de la frecuencia cardíaca, variación del lactato sanguíneo y percepción subjetiva del esfuerzo media. El grupo de equipo personal + ametralladora presentó medianas significativamente más altas para la frecuencia cardíaca media y la variación de la frecuencia cardíaca. Además, nuestros datos mostraron que la carga (%MCT) se correlacionó positiva y significativamente con todas las variables fisiológicas evaluadas, excepto con la variación del lactato sanguíneo. Realizar un transporte de carga de larga distancia con una ametralladora provocó un mayor esfuerzo cardiovascular que llevar un fusil. Además, las cargas más pesadas (% MCT) se correlacionan con una mayor respuesta cardiovascular y una mayor clasificación de percepción subjetiva del esfuerzo.

Palabras clave: militar; soporte de peso; caminata; esfuerzo físico; respuestas fisiológicas.

Abstract: The objective was to compare physiological responses, during a 12-km march following Brazilian Army protocols, between two groups carrying different loads (personal equipment plus machine gun and personal equipment plus rifle). Additionally, we investigated whether there is a correlation between load weight, in percentage of total body mass (%TBM), and those physiological responses. The following variables were analyzed: mean heart rate, heart rate variation, blood lactate variation and mean rating of perceived exertion. The personal equipment + machine gun group presented significantly higher median values for mean heart rate and heart rate variation. Furthermore, our data showed that load (%TBM) was positively and significantly correlated with all physiological variables assessed, except for blood lactate variation. Performing long-distance load carriage with a machine gun caused greater cardiovascular effort than carrying a rifle.

Keywords: military; weight-bearing; walking; physical exertion; physiological responses.

Lucas Vieira Coelho Dos Santos* 
lucasvcoelhos@gmail.com

Adriane Mara de Souza Muniz* 
adriane_muniz@yahoo.com.br

Bruno Trassi Fernandes Silva De Souza* 
brunotrassi.eb@gmail.com

Ricardo Alexandre Falcão* 
ricfal9@gmail.com

Verônica Pinto Salerno** 
vpsalerno@yahoo.com.br

Luis Aureliano Imbiriba** 
luis_aureliano@hotmail.com

Miriam Raquel Meira Mainenti* 
miriam.mainenti@hotmail.com

* Exército Brasileiro.
Escola de Educação Física do Exército (EsEFEx).
Rio de Janeiro, Brasil.

** Universidade Federal do Rio de Janeiro.
Escola de Educação Física e Desportos (EEFD).
Rio de Janeiro, Brasil.

Recibido: 28 oct. 2022

Aprobado: 06 feb. 2023

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

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

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



1. INTRODUCCIÓN

El entrenamiento y las operaciones militares a menudo dependen de la movilidad personal. En estas situaciones, los soldados llevan su propio equipo y suministros en el cuerpo, generalmente en mochilas y chalecos tácticos, formando así un sistema de transporte de carga (BIRREL; HOOPER; HASLAM, 2007; KNAPIK; REYNOLDS; HARMAN, 2004). Los militares deben mantener un acondicionamiento físico adecuado, ya que a menudo pueden encontrarse en situaciones extremas en las que deben soportar niveles de fatiga más altos que los que normalmente se requieren de la población en general.

Entre las actividades de preparación militar, se destaca el entrenamiento de marcha, ya que es una de las actividades físicas más requeridas durante las operaciones militares, representando alrededor del 60-70% de las tareas militares australianas, por ejemplo (ORR, 2012). La falta de transporte motorizado disponible, las imposiciones tácticas o del terreno e incluso la instrucción militar o el entrenamiento físico son situaciones en las que las tropas deben marchar (BRASIL, 2019). Además, después de marchar, las tropas deben llegar a su destino indicado dentro del cronograma y en condiciones de luchar y cumplir la misión asignada.

Aunque el terreno, las condiciones climáticas y los factores psicológicos ejercen una influencia considerable en la marcha (JOVANOVIĆ *et al.*, 2014; MCCORMICK; MEIJEN; MARCORA, 2015; VOLOSHINA, 2013), se debe prestar especial atención a los factores fisiológicos, ya que la condición física tiene una relación decisiva al desempeño (KNAPIK *et al.*, 1990; KRAEMER *et al.*, 1987; SWAIN, 2011), y, por lo tanto, al cumplimiento de la tarea. El personal militar con experiencia en la marcha de pelotones reporta que hay funciones más agotadoras que desempeñar debido a la gran carga que se transporta. Por lo tanto, se están realizando investigaciones para evaluar las respuestas fisiológicas de los militares mientras transportan diferentes cargas (FAFUNDES *et al.*, 2017; HOLEWIJN, 1990; PAL *et al.*, 2009; PHILLIPS *et al.*, 2016; QUESADA *et al.*, 2000; STUEMPFLE; DRURY; WILSON, 2004), analizando frecuencia cardíaca (FC), consumo de oxígeno (VO_2), percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) y variables fisiológicas (umbral ventilatorio, volumen minuto de ventilación, tasa de intercambio respiratorio, gasto energético, presiones bucales inspiratorias y espiratorias, lactato sanguíneo, concentración de glucosa), biomecánicas (actividad electromiográfica, rotaciones y momentos articulares, contracción isométrica voluntaria máxima) y cognitivas (respuestas correctas, falsas alarmas, sensibilidad) (FAFUNDES *et al.*, 2017; FAGHY; BLACKER; BROWN, 2016; GILES, 2019; GRENIER *et al.*, 2012; HOLEWIJN, 1990; PAL *et al.*, 2009; PHILLIPS *et al.*, 2016; QUESADA *et al.*, 2000). Sin embargo, los resultados del estudio aún difieren, con un conjunto de estudios que no encuentran el efecto de las diferentes cargas en las respuestas fisiológicas (FAGHY; BLACKER; BROWN, 2016; FAGUNDES *et al.*, 2017; PHILLIPS, 2016) y otro conjunto que sí lo hace (BORGHOLS; DRESEN; HOLLANDER, 1978; GILES, 2019; GRENIER *et al.*, 2012; PAL *et al.*, 2009; PIHLAINEN *et al.*, 2014), como se describe a continuación.

Uno de los primeros estudios sobre este tema apuntó que, durante una caminata con pesos de hasta 30 kg, cada kg de peso adicional aumentaba el VO_2 en 33,5 mililitros por minuto (ml/min), la frecuencia cardíaca en 1,1 latidos por minuto (lpm) y la ventilación pulmonar a

0,6 litros por minuto (l/min) (BORGHOLS; DRESEN; HOLLANDER, 1978). Otro estudio comparó una marcha de 50 minutos a una velocidad media de 5,7 km/h, mientras transportaba 5,4 kg de equipo, con los primeros 60 minutos de marcha a una velocidad media de 5,4 km/h, mientras transportaba 24,4 kg de equipo, ambos en terreno con pendientes variables (PIHLAINEN *et al.*, 2014). Los resultados del estudio mostraron aumentos significativos en VO_2 , $\%VO_2\text{max}$, FC y $\%FC\text{max}$ al cargar 24,4 kg (PIHLAINEN *et al.*, 2014). Grenier *et al.* (2012) también identificaron una variación significativa en la FC media (91 lpm a 139 lpm) dependiendo de la carga (23 kg o 47 kg) y del cambio positivo de elevación (240 m y 570 m) en el transcurso de la marcha de 15 km. Otro estudio también mostró que la velocidad de la marcha interfiere en la FC (protocolo de Harbor modificado), que aumenta según la velocidad y la carga (sin carga: 88,7 lpm a 3,5 km/h, 94,8 lpm a 4,5 km/h; con 40 kg de carga: 114,4 lpm a 3,5 km/h, 127 lpm a 4,5 km/h) (PAL *et al.*, 2009). Más recientemente, Giles *et al.* (2019) encontraron un impacto significativo en el transporte de carga en la $\%FC$ de reserva, con valores que aumentan progresivamente para las condiciones de transporte de carga de 47,2 kg y 50,7 kg, en comparación con 8,8 kg.

Otros estudios, sin embargo, han encontrado resultados diferentes. Fagundes *et al.* (2017) no encontraron diferencias significativas en la FC y en la PSE al variar la carga del 0% al 15% de la masa corporal tanto en pruebas de carrera máxima como en una prueba submáxima al 90% del umbral ventilatorio. Phillips *et al.* (2016) tampoco encontraron variaciones significativas de la FC al comparar las pruebas de esfuerzo máximo con carga (25 kg; 189 lpm) y sin carga (187 lpm) utilizando el protocolo Balke modificado, a pesar de una reducción en la duración de la prueba en la condición de carga. Faghy, Blacker y Brown (2016) no encontraron diferencias significativas en los valores de lactato sanguíneo al comparar pruebas submáximas de 60 minutos realizadas en una cinta rodante, con cargas variables que oscilaban entre 0 y 20 kg.

Además de esta falta de consistencia en los hallazgos, la mayoría de los estudios realizó pruebas laboratoriales (FAGHY; BLACKER; BROWN, 2016; FAGUNDES *et al.*, 2017; HOLEWIJN, 1990; PHILLIPS *et al.*, 2016; PAL *et al.*, 2009; QUESADA *et al.*, 2000; STUEMPFLER, DRURY, WILSON, 2004) y no varió el peso del armamento, solo de las mochilas. Sin embargo, las armas generalmente se llevan durante las marchas, las actividades de entrenamiento y durante las operaciones militares, y deben ser consideradas y evaluadas. La función que implica el porte de un fusil tiene una gran importancia para la organización táctica del pelotón, ya que es la más básica y la que realiza la mayoría de los soldados del pelotón, así como el porte de una ametralladora, debido a la potencia de fuego de este armamento. Conocer las variaciones en las respuestas fisiológicas involucradas en cada una de las funciones del pelotón ayudará a establecer actividades de entrenamiento diferenciadas encaminadas a desarrollar un nivel de acondicionamiento físico adecuado al esfuerzo requerido para la marcha con carga.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar las respuestas fisiológicas entre un grupo de individuos que portaban equipo personal (EP) más una ametralladora, con otro grupo que portaba equipo personal más un fusil durante una marcha de 12 km. Además, examinamos si existe una correlación entre la carga transportada, en porcentaje de la masa corporal total ($\%MCT$ o $\%TBM$), y las respuestas fisiológicas medidas.

2. MÉTODOS

2.1 Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio experimental en el que los militares fueron asignados aleatoriamente a dos grupos para realizar una marcha de 12 km: portando un fusil (más ligero, grupo de control) o una ametralladora. Las respuestas fisiológicas se midieron antes, durante y después de la marcha.

2.2 Aspectos Éticos

El protocolo de investigación del estudio fue aprobado por el comité de ética local (CAAE: 83493618.1.0000.5235).

2.3 Muestra

Se compuso la muestra por 30 oficiales militares voluntarios (tenientes y capitanes) que prestan servicio en una guarnición del Ejército Brasileño en Río de Janeiro (muestra de conveniencia). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: los participantes debían ser voluntarios militares, del sexo masculino, con edad entre 20 y 32 años (mediana: 26,50; 1er cuartil: 25,00; 3er cuartil: 28,00 años), en servicio activo de 7 a 15 años (mediana: 8; 1er cuartil: 7; 3er cuartil: 10 años), haber obtenido una puntuación mínima de “Bueno” (B) en la Prueba de Aptitud Física del Ejército (PAF, o TAF, en portugués) y haber firmado el Formulario de Consentimiento Libre e Informado (FCLI, o TCLE, en portugués). Fueron excluidos del estudio aquellos que acababan de terminar su período de funciones diarias asignadas; con condiciones ortopédicas, reumatológicas, respiratorias o neurológicas; con dolor musculoesquelético agudo o crónico; o que usaron medicamentos que pudieran alterar los sistemas visual y vestibular. Las informaciones de salud fueron autoinformadas por los participantes y confirmadas con la Sección de Salud de su organización militar.

2.4 Procedimientos

Todos los participantes realizaron una marcha de 12 km de acuerdo con el Manual de Campaña del Ejército Brasileño (BRASIL, 2019). La marcha se dividió en tres etapas de 4 km, con una duración total de tres horas. La primera etapa tuvo una duración de 45 minutos (velocidad media de 5,3 km/h), seguida de un descanso de 15 minutos. La segunda y la tercera etapas se completaron en 50 minutos cada una (velocidad media de 4,8 km/h), con un intervalo de 10 minutos entre ellas (BRASIL, 2019). La marcha de 12 km se realizó en una pista de 1 km, con la salida y la meta en el mismo lugar. Dos personas en los puntos de control ubicados a unos 500 metros de distancia se encargaron de monitorear la velocidad media de los participantes y alertarlos para aumentar o reducir su ritmo.

Todos los participantes marcharon portando equipo personal (EP), compuesto por cinturón, tirantes, dos cantimploras de 1 litro llenas de agua, casco y mochila de gran capacidad. Sin embargo, la muestra se dividió aleatoriamente en dos grupos iguales de 15 participantes, cada grupo armado con un arma diferente: uno utilizó un simulador de fusil (4,7 kg) y el otro un simulador de ametralladora (10,8 kg). Ambos simuladores estaban compuestos por fusiles Mauser Modelo 1935 con diferentes cargas adosadas a sus centros para llegar al peso aproximado del fusil y de la ametralladora.

La marcha tuvo lugar en las instalaciones del Centro de Entrenamiento Físico del Ejército (CCFEx, en portugués), Río de Janeiro. Se seleccionaron tres voluntarios cada día entre las 17:00 y las 22:00 horas. La temperatura media durante las marchas fue de $22,94 \pm 1,93^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa de $79,61 \pm 4,78\%$.

Los voluntarios se presentaban en el laboratorio media hora antes de la marcha para llenar la ficha de anamnesis (informando su último puntaje en TAF, tiempo de servicio, edad y presencia o ausencia de dolor o lesión), firmar la FCLI y tener medidas masa corporal total (MCT, con y sin el equipo), lactato previo al esfuerzo y frecuencia cardíaca en reposo. Luego fueron asignados aleatoriamente a un grupo por sorteo. Primero fueron usadas 10 hojas de papel (10 días de adquisición de datos) con diferentes secuencias de tres condiciones (fueron recopilados datos de tres oficiales militares por día). La distribución de fusiles y ametralladoras en estas secuencias se organizó con el fin de asegurar un total de 15 individuos por cada grupo. Luego, usamos simples hojas de papel en una pequeña caja con las letras F y M, para fusil y ametralladoras, respectivamente (M, para la palabra ‘metralladora’, en portugués). Después de saber qué arma se utilizaría, presentamos instrucciones sobre la secuencia de actividades, la ruta a seguir y las normas de seguridad.

Antes de marchar, todos los participantes comieron una barra de cereal de 79 kilocalorías y se hidrataron con al menos 200 mililitros de agua. Cada voluntario marchaba solo y, para ello, iniciaba la marcha a intervalos de unos 20 minutos. Durante los períodos de descanso, a los participantes se les permitió quitarse la mochila y se les alimentó con una barra de cereal y se les hidrató.

La frecuencia cardíaca se registró de forma continua y la percepción subjetiva del esfuerzo se registró a intervalos de 0,5 km (a lo largo de la marcha) y al final de la marcha. Después de la marcha, se volvió a medir el lactato. Las evaluaciones fueron realizadas por examinadores capacitados que trabajaron con las principales variables de producción durante, al menos, seis meses. Además, el monitor de frecuencia cardíaca y el analizador de sangre empleados en este estudio se utilizan en todo el mundo y son muy respetados con fines científicos.

2.5 Equipos

La frecuencia cardíaca (FC) se midió con un monitor de frecuencia cardíaca V800 (Polar, Finlandia), equipado con una correa Polar H7. Después de la marcha, los datos (FC, distancia recorrida, ritmo, entre otros) se transmitieron vía *bluetooth* para su almacenamiento con el *software* Polar Flow (Polar, Finlandia). El lactato se midió mediante análisis de sangre capilar con un monitor Accutrend Plus (Roche, Portugal). La percepción subjetiva del esfuerzo

se evaluó utilizando la calificación de Borg modificada (PSE), que va de cero (sin esfuerzo) a diez (esfuerzo máximo) (BORG, 1998); los participantes recibieron instrucciones sobre la escala antes de la marcha, lo que luego se reforzó durante la recolección de datos.

La altura de los participantes se midió con un estadiómetro Sanny Professional (American Medical do Brasil Ltda, Brasil) y su Masa Corporal Total (MCT o TBM) con una balanza digital modelo 876 (Seca, Alemania). La temperatura y la humedad relativa se midieron con un termohigrómetro digital (Incoterm, modelo TTH100, Brasil) al inicio de cada etapa de marcha.

2.6 Análisis

Las variables de los resultados fueron la frecuencia cardíaca media durante la marcha de 12 km, excluyendo los períodos de descanso (FC media); la variación de la frecuencia cardíaca (Var FC), calculada restando el valor máximo alcanzado y el valor de reposo; la variación de lactato (Var Lac = valor después de la marcha - valor antes de la marcha); y la media de todos los valores registrados de PSE a lo largo de los 12 km (PSE media).

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad del conjunto de datos. Para la estadística descriptiva se utilizó la mediana [1er cuartil; 3er cuartil], porque la mayoría de los datos tiene una distribución no paramétrica. La comparación estadística de los grupos se realizó utilizando muestras independientes de la prueba T de Student para FC Media, Edad, masa corporal total (MCT), altura y peso total de transporte de carga (datos paramétricos), y la prueba U de Mann-Whitney para Var FC, Var Lac y PSE Media (datos no paramétricos). Los datos categóricos de las puntuaciones de TAF se presentaron en frecuencia absoluta y relativa, y los dos grupos se compararon mediante la prueba de Chi-cuadrado.

La correlación entre la carga (% de la masa corporal total) y las variables de resultado se evaluó mediante la prueba de Pearson (r) para la FC Media y la prueba de Spearman (ρ) para la Var FC, Var Lac y la PSE Media. El coeficiente de correlación (r/ρ) se clasificó como: muy fuerte para valores de $r \geq 0,90$; fuerte para r entre 0,6 (incluso) y 0,9; regular para r entre 0,3 (incluso) y 0,6; y débil entre 0 y 0,3 (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

La significación estadística se fijó en $p < 0,05$, y los análisis se realizaron con el *software* SPSS (versión 27.0).

3. RESULTADO

Los datos de caracterización de la muestra se encuentran en la Tabla 1. Los grupos no fueron diferentes en cuanto a la edad, la masa corporal total, la altura ni en los puntajes de TAF. Se diferenciaron únicamente en las condiciones establecidas para el propósito de este estudio, el peso total del transporte de carga: EP + Fusil = 24,7 [24,4; 24,8] kg y EP + Ametralladora = 30,7 [30,7-30,8] kg ($p < 0,001$).

Tabla 1 – Caracterización de la muestra

	Total	EP + fusil	EP + ametralladora	p valor
Edad (años)	26,,50 (25,00 - 28,00)	27,00 (25,00 – 28,00)	26,00 (25,00 – 29,00)	1,00 ^α
MCT (kg)	79,72 (73,96 - 85,88)	79,05 (74,15 – 85,85)	80,00 (69,55 – 86,00)	0,96 ^α
Altura (m)	1,77(1,71 - 1,82)	1,79 (1,70 – 1,87)	1,77 (1,71 – 1,81)	0,70 ^α
TAF (%)	E - 46,7% MB - 20,0% B - 33,3%	E - 53,3% MB - 20,0% B - 26,7%	E - 40,0% MB - 20,0% B - 40,0%	0,71 ^β

Fuente: los autores.

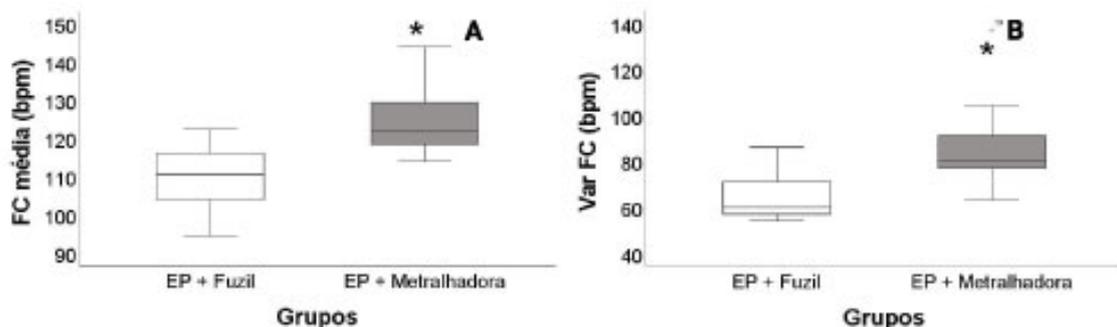
Subtitular: EP = Equipo personal, MCT = Massa Corporal Total, TAF = Puntaje de Prueba de Aptitud Física del Ejército, sigla en portugués, E = Excelente, MB = Muy Bueno, B = Bueno. ^αp valor para la prueba T de Student; ^βp valor para la prueba Chi-cuadrado.

Se utilizaron los datos de FC Media y Var FC solamente de 26 de los 30 participantes, debido a la pérdida de datos por problemas operativos con los frecuencímetros.

Considerando la muestra como un todo, se obtuvieron los siguientes resultados: FC Media = 117,19 (110,24 - 123,91) lpm; Var FC = 75,00 (59,75 - 81,25) lpm; Var Lac = -0,35 (-0,83 - 0,30) mmol/L; PSE Media = 2,38 (2,03 - 3,21). Las comparaciones entre los grupos revelaron que el grupo EP + Ametralladora mostró una FC media y una Var FC (Gráfico 1) más altas en comparación con el grupo EP + Fusil. No se encontró diferencia para Var Lac, con valores de EP + fusil = -0,40 [-0,80; 0,60] mmol/L y EP + Ametralladora: -0,30 [-0,90; 0,10] mmol/l (p = 0,983); y para PSE Media, con valores de 2,25 [2,00; 2.88] y 2.83 [2.33; 3,83], respectivamente (p = 0,065).

Gráfico 1 - Diagrama de caja con mediana, cuartiles (1er y 3er) y valores mínimos y máximos de FC Media (Frecuencia cardíaca media) y Var FC (variación de la frecuencia cardíaca)

FC Media e Variación de la FC en los grupos estudiados



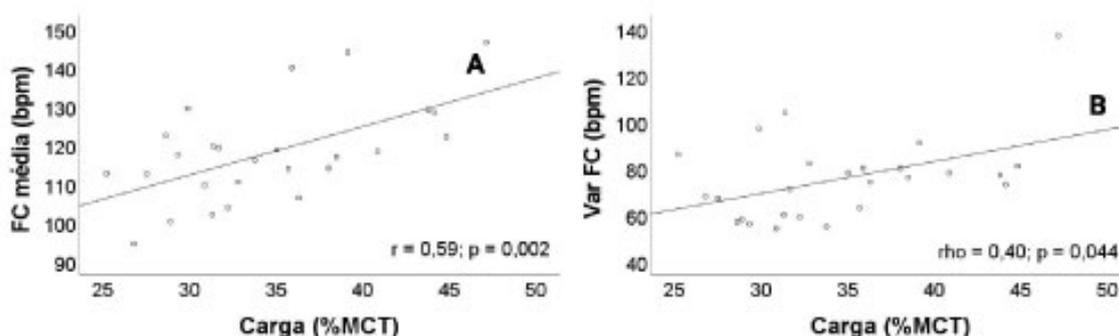
Fuente: los autores.

Subtitular: A) FC media (frecuencia cardíaca media) y B) Var FC (variación de la frecuencia cardíaca) para los grupos EP + Fusil (equipo personal + Fusil) y EP + Ametralladora (equipo personal + Ametralladora). * p < 0.05.

Con excepción de Var Lac ($\rho = 0,15$), todas las variables mostraron correlaciones positivas, regulares y significativas con la carga (% de la masa corporal total) (Gráficos 2, 3)

Gráfico 2 – Gráfico de dispersión para carga %MCT (% de la masa corporal total), FC media (frecuencia cardíaca media) y Var FC (variación de la frecuencia cardíaca)

Correlación entre carga (% de la masa corporal total) y variables de FC

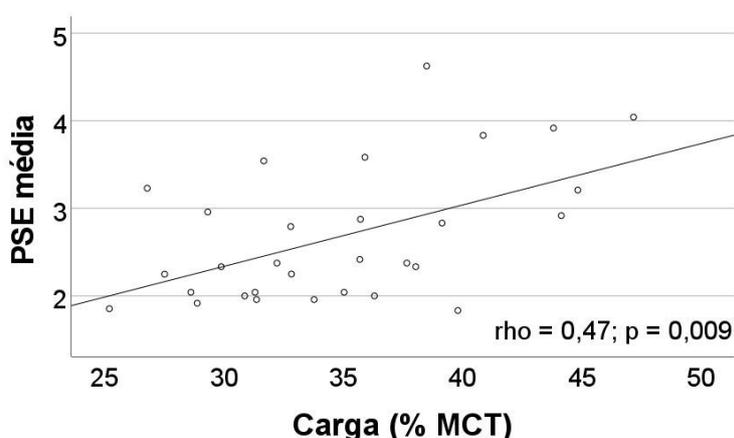


Fuente: los autores

Subtitular: A) FC MEDIA (frecuencia cardíaca media) y B) Var FC (variación de la frecuencia cardíaca).
 r = coeficiente de correlación de Pearson; ρ = coeficiente de correlación de Spearman.

Gráfico 3 – Gráfico de dispersión para carga %MCT (% de masa corporal total) y PSE media (percepción subjetiva del esfuerzo media)

Correlación entre carga e percepción subjetiva del esfuerzo



Fuente: los autores.

Subtitular: ρ = Coeficiente de Correlación de Spearman; PSE = percepción subjetiva del esfuerzo; MCT = masa corporal total.

4. DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo comparar las respuestas fisiológicas en una marcha cargada de 12 km entre dos grupos de participantes: uno con EP más una ametralladora y el otro con EP más un fusil. Además, investigamos si existe una correlación entre el peso del transporte de carga, en porcentaje de la masa corporal total (%MCT o % TBM, de total body mass) y las respuestas fisiológicas. Los resultados del estudio muestran que llevar el armamento más pesado resultó en un mayor estrés cardiovascular, y los participantes mostraron valores más altos para la FC media y la Var FC. Con excepción de la Var Lac, todas las variables mostraron una correlación positiva, regular y significativa con el peso del transporte de carga, en porcentaje de la masa corporal total.

Las mayores demandas cardiovasculares presentadas por el grupo que llevó la mayor carga pueden explicarse por el hecho de que la actividad física aumenta los requerimientos energéticos del organismo, provocando diversas respuestas fisiológicas encaminadas a satisfacer la mayor demanda metabólica (BRUM *et al.*, 2004). Las actividades cíclicas como la marcha provocan un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático (FORJAZ; TINUCCI, 2000), y, como consecuencia, de la frecuencia cardíaca (FC), el volumen sistólico (VS) y el salida cardíaca (SC) (FORJAZ *et al.*, 1998). Según Forjaz y Tinucci (2000), cuanto mayor es la intensidad del ejercicio, mayores son las respuestas fisiológicas, pero estas respuestas no cambian durante los ejercicios realizados a una intensidad por debajo del umbral anaeróbico. Así, tomar el peso adicional de la ametralladora y moverse con el requiere mayor SC, lo que puede lograrse a través de mayores FC y VS (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2014), explicando los valores significativamente mayores mostrados por el grupo EP + ametralladora.

Estos resultados son compatibles con los de Quesada *et al.* (2000), quienes identificaron que cada aumento del 15% en el peso de la carga resultó en un aumento del costo metabólico de alrededor del 5% al 6% al realizar una caminata de 40 minutos en cinta rodante; sin embargo, los resultados difieren de los de Fagundes *et al.* (2017), que no encontraron diferencia significativa en las pruebas de esfuerzo submáximo realizadas en una cinta rodante con cargas que oscilaban entre el 0 y el 15 % de la masa corporal. Phillips *et al.* (2016) no encontraron diferencia significativa en la FC media entre los grupos sin carga y con una carga de 25 kg en pruebas incrementales en la cinta rodante.

Grenier *et al.* (2012) encontraron una variación de 81 lpm en una marcha de 4 horas con una carga de 43 kg para una misión militar simulada, muy similar a nuestros resultados para el grupo EP + ametralladora, que mostró una variación mediana de alrededor de 80 lpm.

A diferencia de nuestros resultados medios de FC y Var FC, los datos de lactato indican que las diferencias en el peso transportado no alteran significativamente los niveles de lactato en la sangre, de acuerdo con los hallazgos de Faghy, Blacker y Brown (2016), quienes tampoco encontraron diferencias significativas en los niveles de lactato. La causa probable de este resultado es que ambos grupos realizaron una actividad aeróbica de larga duración, lo que conduce a un predominio del sistema oxidativo, resultando en una pequeña concentración de lactato producido por el músculo (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2014). El aumento de la concentración de lactato en la sangre está relacionado con una mayor producción de lactato en los músculos, lo que a su vez está directamente relacionado con el uso del sistema anaeróbico

láctico para generar suficiente energía para la actividad física (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2014). El sistema anaeróbico láctico es utilizado principalmente por el cuerpo en actividades físicas más intensas, que requieren una gran cantidad de energía en un corto período de tiempo (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2014). La marcha, para personas en buen estado físico, no tiene las características de estas actividades intensas y, por lo tanto, el sistema energético mayormente utilizado por los participantes del estudio fue el sistema aeróbico. Además, debido a que requiere mayor GC, hay un aumento en el flujo sanguíneo, lo que lleva a una eliminación más rápida de lactato de los músculos y su transporte al hígado para convertirse en glucosa. Así, es comprensible que no haya habido cambios importantes en los niveles de lactato.

Los datos de percepción subjetiva del esfuerzo, a su vez, no mostraron diferencia significativa entre los grupos fusil y ametralladora (0,065). Sin embargo, al considerar la carga relativa (un porcentaje de la masa corporal total del individuo), se pudo notar una correlación positiva significativa entre los valores de carga y de PSE. Estos resultados están de acuerdo con los de Quesada *et al.* (2000), quienes encontraron un aumento significativo del PSE para cargas iguales al 30% de la masa corporal (MC) en relación con cargas el 0%-MC y 15%-MC, indicando posiblemente que la PSE aumenta para cargas mayores que el 30% de la masa corporal.

Una particularidad de las operaciones militares reales es que, con respecto al transporte de carga, todos los individuos llevan valores de peso absolutos similares, independientemente de su masa corporal. Esto puede hacer que las personas más pequeñas gasten más energía, lo que posiblemente genere más fatiga y un mayor riesgo de lesiones. Para resolver esta posibilidad, se realizó un análisis de correlación para evaluar la correlación entre las respuestas fisiológicas y el peso de la carga transportada en porcentaje de la masa corporal total. Tres de las cuatro variables analizadas mostraron una correlación positiva y significativa con la carga (% de la masa corporal total), lo que confirma que un mayor porcentaje de carga de MC genera una mayor respuesta fisiológica.

Una de las limitaciones del estudio es que las respuestas fisiológicas se midieron mediante técnicas más sencillas en comparación con la medición directa del consumo de oxígeno (VO_2) mediante análisis de intercambios gaseosos, lo que permitiría estimar el gasto energético para una determinada actividad física (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2014). Este conocimiento, sin embargo, no sería aplicable a situaciones de combate, con personal militar transportando su equipo en una marcha a pie. Con este fin, la medición de la frecuencia cardíaca es una herramienta usada frecuentemente para estimar el nivel de intensidad de una actividad física. Otra limitación fue analizar la carga transportada como porcentaje de MCT (TBM) y no de masa corporal magra. El uso de este último en el análisis permitiría distinguir entre individuos con el mismo valor de masa corporal pero diferentes composiciones corporales. El porcentaje de grasa corporal y las evaluaciones de masa corporal magra deben agregarse en estudios futuros. Esto hará posible el análisis de la carga como porcentaje de la masa corporal magra o incluso específicamente de la masa muscular, lo que presentará mejores datos sobre la calidad y función muscular. Cabe señalar, sin embargo, que los valores de masa corporal magra de las tropas difícilmente estarían disponibles y, por otro lado, la medición de la MCT (TBM) es fácil de realizar, lo que hace que el enfoque de este estudio sea más realista y aplicable a grandes contingentes militares. Además, solo el armamento varió en peso, pero se sabe que la munición de ametralladora es más pesada, lo que aumenta el peso de la mochila y afecta aún más los resultados.

Uno de los puntos fuertes del estudio fue la realización de la marcha fuera del ambiente laboratorial, con un recorrido accidentado y condiciones climáticas externas, mejorando así la validez externa del estudio. Otro destaque fue el uso de equipos ofrecidos por la cadena de suministro del Ejército Brasileño, lo que permitió reproducir las mismas condiciones de transporte de carga que las tropas brasileñas enfrentan en las operaciones militares reales, especialmente en lo que respecta a la distribución del peso, al equilibrio y a la comodidad. La única excepción fueron las botas utilizadas, que pertenecían a cada participante, con el fin de garantizar una mayor comodidad y evitar posibles lesiones en los pies.

También vale la pena mencionar que este estudio tuvo como objetivo analizar las respuestas fisiológicas en condiciones las más cercanas posibles a las de las operaciones reales: la carga no solo se llevaba en la mochila sino que también se distribuía entre el casco, el armamento, el cinturón y los tirantes. Finalmente, la distancia de marcha fue mayor que en la mayoría de los estudios (BEEKLEY *et al.*, 2007; QUESADA *et al.*, 2000), con el fin de observar el comportamiento de las variables en un período de tiempo más largo.

5. CONCLUSIÓN

Realizar el transporte de carga de larga distancia con una ametralladora provocó un mayor esfuerzo cardiovascular que el transporte de carga con un fusil. Además, llevar cargas más pesadas (%MCT) se correlaciona con mayores respuestas cardiovasculares y mayores valores de PSE. El personal militar que suele llevar una ametralladora durante la marcha operativa debe prestar más atención a mejorar su entrenamiento aeróbico que los que suelen llevar un fusil. Otra implicación práctica de este hecho es que los comandantes deben seleccionar soldados con mejor acondicionamiento aeróbico para portar ametralladoras, ya que esta arma exige un mayor esfuerzo del sistema cardiovascular.

AGRADECIMIENTO

Los autores reconocen a CADESM/DECEX (Coordinación de Evaluación y Desarrollo de la Educación Superior Militar / Departamento de Educación y Cultura del Ejército), que apoyó parcialmente este trabajo, bajo la Beca “PRÓ-PESQUISA 2019”.

AUTORÍA Y CONTRIBUCIONES

Lucas Vieira Coelho Dos Santos – escritura (borrador original, revisión y edición)

Adriane Mara de Souza Muniz y Ricardo Alexandre Falcão – conceptualización, metodología y escritura (revisión)

Bruno Trassi Fernandes Silva De Souza – redacción (borrador original y revisión)

Verônica Pinto Salerno y Luis Aureliano Imbiriba – escritura (revisión)

Míriam Raquel Meira Mainenti – conceptualización, metodología y escritura (revisión y edición)

REFERENCIAS

- BEEKLEY, M. D. *et al.* Effects of heavy load carriage during constant-speed, simulated, road marching. **Military Medicine**, Oxford, v. 172, n. 6, p. 592-595, June 2007.
- BIRRELL, S. A.; HOOPER, R. H.; HASLAM, R. A. The effect of military load carriage on ground reaction forces. **Gait Posture**, Oxford, v. 26, n. 4, p. 611-614, Oct. 2007.
- BORG, G. **Borg's perceived exertion and pain scales**. [Champaign, IL]: Human Kinetics 1998.
- BORGHOLS, E. A.; DRESEN, M. H.; HOLLANDER, A. P. Influence of heavy weight carrying on the cardiorespiratory system during exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, Berlin, v. 38, n. 3, p. 161-169, Apr 1978.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército. **Manual de campanha marchas a pé**. 3 ed. Brasília, DF: Exército, 2019. EB70-MC-10.304. Disponible en: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3470/3/EB70MC10304-Final.pdf>. Acceso en: 13 Feb. 2022.
- BRUM, P. C. *et al.* Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular. *Revista Paulista de Educação Física*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 21-31, ago. 2004. Disponible en: <http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2009/09/arquivo-adaptacoes-musculares-ao-exercicio-fisico.pdf>. Acceso en: 13 Feb. 2022.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- FAGHY, M.; BLACKER, S.; BROWN, P. I. Effects of load mass carried in a backpack upon respiratory muscle fatigue. **European Journal of Sport Science**, Abingdon, v. 16, n. 8, p. 1032-1038, Nov 2016.
- FAGUNDES, A. O. *et al.* Effects of load carriage on physiological determinants in adventure racers. **PLoS One**, San Francisco, v. 12, n. 12, e0189516, 2017. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0189516>. Acceso en: 13 Feb. 2022.
- FORJAZ, C. L.; TINUCCI, T. A medida da pressão arterial no exercício. **Revista Brasileira de Hipertensão**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 79-87, jan./mar. 2000.
- FORJAZ, C. L. *et al.* Post-exercise changes in blood pressure, heart rate and rate pressure product at different exercise intensities in normotensive humans. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, São Paulo, v. 31, n. 10, p. 1247-1255, 1998.

GILES, G. E. Load carriage and physical exertion influence cognitive control in military scenarios. **Medicine and Science in Sports Exercise**, Hagerstown, v. 51, n. 12, p. 2540-2546, Dec 2019.

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, e43586, 2012.

HOLEWIJN, M. Physiological strain due to load carrying. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 61, n. 3-4, p. 237-245, 1990.

JOVANOVIĆ, D. *et al.* Physiological tolerance to uncompensated heat stress in soldiers: effects of various types of body cooling systems. **Vojnosanit Pregl**, Belgrade, v. 71, n. 3, p. 259-264, Mar. 2014.

KNAPIK, J. *et al.* **Frequency of loaded road march training and performance on a loaded road march**. Natick, MA: US Army Research Institute of Environmental Medicine, 1990. (Technical report, n. T13/90).

KNAPIK, J.J.; REYNOLDS, K.L.; HARMAN, E. Soldier load carriage: historical, physiological biomechanical, and medical aspects. **Military Medicine**, Oxford, v.169, n.1, p.45-56, Jan. 2004.

KRAEMER, W. J. *et al.* **The effects of various physical training programs on short duration, high intensity load bearing performance and the Army Physical Fitness Test**. Natick, MA: US Army Research Institute of Environmental Medicine, 1987. (Technical report, n. 30/87). Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA185473>. Acesso em: 13 Fev. 2022.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. 8th ed. [Riverwoods, IL]: Wolters Kluwer Health, 2014.

MCCORMICK, A.; MEIJEN, C.; MARCORA, S. Psychological determinants of whole-body endurance performance. **Sports Medicine**, Auckland, v. 45, n. 7, p. 997-1015, July 2015.

ORR, R. **The Australian Army load carriage context: a challenge for defence capability**. Brisbane, Australia: Faculty of Health Sciences & Medicine Publications, Oct 2012. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.878.697&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 10 Jan. 2022.

PAL, M. S. *et al.* Optimum load for carriage by soldiers at two walking speeds on level ground. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [s. l.], v. 39, p. 68-72, 2009.

PHILLIPS, D. B. *et al.* The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v. 116, n. 2, p. 275-280, Feb 2016.

PIHLAINEN, K. *et al.* Cardiorespiratory responses induced by various military field tasks. **Military Medicine**, Oxford, v. 179, n. 2, p. 218-224, Feb 2014.

QUESADA, P. M. *et al.* Biomechanical and metabolic effects of varying backpack loading on simulated marching. **Ergonomics**, London, v. 43, n. 3, p. 293-309, Mar 2000.

STUEMPFLE, K. J.; DRURY, D. G.; WILSON, A. L. Effect of load position on physiological and perceptual responses during load carriage with an internal frame backpack. **Ergonomics**, London, v. 47, n. 7, p. 784-789, June 2004.

SWAIN, D. P. *et al.* Effect of training with and without a load on military fitness tests and marksmanship. **Journal of Strength Conditioning Research**, v. 25, n. 7, p. 1857-1865, July 2011.

VOLOSHINA, A. S. *et al.* Biomechanics and energetics of walking on uneven terrain. *The Journal of Experimental Biology*, v. 216, pt. 21, p. 3963-3970, Nov 2013.