

¿El nivel de aptitud física afecta el equilibrio corporal y las respuestas fisiológicas después de realizar un ejercicio en el cual se transporta una carga durante 4 km?

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

Resumen: No está claro si un mejor nivel de aptitud física (NAF) es realmente una ventaja para el personal militar en funciones operativas. Propósito: investigar los efectos del NAF en el equilibrio corporal y las respuestas fisiológicas, en un ejercicio en el cual se transporta una carga durante 4 km. Se registró el equilibrio corporal (n=22) utilizando el equipo personal (22 kg), antes y después del transporte de la carga durante 4 km (cinta ergométrica). La frecuencia cardíaca (FC) se evaluó a lo largo del ejercicio, y con el resultado más reciente de la prueba de aptitud física del ejército se consideró el NAF. Se aplicaron pruebas del tipo ANOVA de diseño mixto bidireccional y t independientes ($p < 0.05$). El transporte de carga aumentó significativamente el área de oscilación ($72,21 \pm 30,94$ a $102,68 \pm 48,57$ mm²) y otras variables de equilibrio, sin efecto del NAF. Se observaron valores medios de FC más bajos para el grupo con el NAF excelente ($104,55 \pm 9,37$ lpm), en comparación con el grupo con el NAF buena/muy buena ($115,07 \pm 10,14$ lpm). Transportar 22 kg durante 4 km empeoró el equilibrio corporal y los militares con mejor NAF realizaron este ejercicio con menos esfuerzo cardíaco.

Palabras clave: control postural; sistema cardiovascular; soporte de peso; ciencias 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.

Recibido: 23 jun. 2022

Aprobado: 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 INTRODUCCIÓN

El personal militar debe llevar a cabo diversas actividades de calificación de habilidades y entrenamiento de combate. Estas tareas físicas y operativas implican desafíos complejos de diversos grados de dificultad, como actividades físicas o maniobras tácticas y técnicas extenuantes. Por ejemplo, las tropas militares deben caminar largas distancias mientras transportan cargas pesadas de suministros, municiones y equipos, además de enfrentar obstáculos psicológicos y físicos, resultando a menudo en la expresión registrada en la bibliografía como fatiga de combate (MALA *et al.*, 2015).

La carga que transportan los soldados suele llevarse en mochilas o bultos que suelen requerir que el militar tenga una respuesta corporal mecánica y realice ajustes posturales para mantener el equilibrio al estar de pie. (KNAPIK; REYNOLDS; HARMAN, 2004). En este contexto, el equilibrio postural puede definirse como los procesos realizados para mantener el cuerpo en una base de sustentación mediante la congruencia de estímulos de los sistemas visual, propioceptivo y vestibular, además de respuestas adecuadas del sistema neuromuscular (KLEINER; SCHLITTLER; SÁNCHEZ-ARIAS, 2011; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2016). Normalmente, esta capacidad física es medida objetivamente por una plataforma de fuerza (DUARTE; FREITAS, 2010), que evalúa el desplazamiento del Centro de Presión (COP). Este parámetro se refiere a la ubicación del vector resultante de las fuerzas de reacción del suelo aplicadas sobre la base de apoyo, formada por la base de los pies (WINTER, 1995). A partir de los desplazamientos del COP se calculan diversas variables, como área, velocidad, amplitud, desviación estándar y frecuencia, lo que ayuda a comprender el patrón de oscilación del cuerpo del individuo (DUARTE; FREITAS, 2010).

Estudios previos ya han demostrado que soportar una carga (sin transporte) produce aumentos significativos en el área de oscilación, la velocidad media y la longitud del camino de oscilación (SPL) del COP (GOLRIZ *et al.*, 2015; HELLER; CHALLIS; SHARKEY, 2009; RUGELJ; SEVŠEK, 2011; ZULTOWSKI; ARUIN, 2008). Sin embargo, aún se desconoce cómo se comportan estas variables basadas en COP después de los ejercicios transportando cargas, que son muy comunes en la rutina real de las tropas militares debido a los equipos y armas que ellos mismos tienen que transportar. En este contexto, Dahl *et al.* (2016) evaluaron el impacto de esta actividad en la alineación postural (pero no en el equilibrio postural), notando un aumento en la posición de la cabeza hacia adelante después de 6 minutos caminando usando una mochila de dos correas; sin embargo, este estudio abarcó un tiempo que no representa ejercicios ocupacionales reales: apenas seis minutos.

Además, el transporte de cargas puede ser bastante extenuante dependiendo de las condiciones específicas de ejecución, y una forma de cuantificar el nivel de esfuerzo realizado por las tropas es la medición de la frecuencia cardíaca (FC) durante la actividad. Este parámetro es descrito en la bibliografía científica como un marcador fisiológico de fatiga y esfuerzo, utilizado para cuantificar el estrés resultante de la carga de entrenamiento físico (FERREIRA *et al.*, 2017; FREITAS; MIRANDA; BARA FILHO, 2009). El registro de la frecuencia cardíaca es un método sencillo, no invasivo y de aplicación frecuente que ha sido ampliamente utilizado para la prescripción de cargas de entrenamiento, dada la facilidad de uso de este método en el seguimiento de la intensidad de las actividades físicas (LOPES; OSIECKI; RAMA, 2012).

Además de la FC, otro marcador fisiológico de la intensidad de la actividad física es el Índice de Esfuerzo Percibido (RPE). El RPE fue desarrollado por Gunnar Borg (1982) como una herramienta para cuantificar la percepción del esfuerzo en una determinada tarea, y este índice es muy utilizado para la prescripción de ejercicios debido a su bajo costo y facilidad de aplicación

(ESTON, 2012). Los estudios de demandas fisiológicas en individuos que transportan cargas a largas distancias, en general, han mostrado un aumento de la frecuencia cardíaca y de variables como el consumo de oxígeno y el RPE (GILES *et al.*, 2019; GRENIER *et al.*, 2012; PIHLAINEN *et al.*, 2014). La evaluación del equilibrio postural, la frecuencia cardíaca y el RPE durante una actividad transportando carga puede representar respuestas biomecánicas, neurológicas y fisiológicas. Esta visión integradora ayudaría a identificar el rendimiento físico de los soldados en este tipo de ejercicio operativo.

De hecho, las bases militares operativas brasileñas (que incluyen tareas de transporte de carga de larga distancia) exigen que los militares presenten un alto nivel de aptitud física, clasificadas como buenas, muy buenas o excelente (BRASIL, 2022). Sin embargo, a pesar de que se reconoce al personal militar como un grupo en buena forma física, no se sabe si un mayor nivel de aptitud física es realmente una ventaja en funciones operativas como el transporte de carga. Además, no se investigó si estas variables mencionadas están relacionadas entre sí y podrían presentar una visión integradora, como se propuso anteriormente. Se espera que individuos con mejor aptitud física cardiopulmonar puedan tener una FC absoluta media más baja mientras realizan actividades físicas, como ya se observó (DU *et al.*, 2005). Sin embargo, hasta donde sabemos, la asociación entre la demanda fisiológica y el nivel de aptitud física aún no se ha investigado para esta función militar específica: el transporte de carga. Nuestra hipótesis fue que los militares bien entrenados realizarían tareas de transporte de carga con respuestas fisiológicas y de equilibrio corporal mínimas, indicando una posible postergación en el desarrollo de la fatiga.

El estudio de los efectos del transporte de carga sobre el equilibrio postural y sobre variables fisiológicas debe revelar las repercusiones físicas de esta tarea realizada por muchos grupos ocupacionales, como el militar, tanto durante el entrenamiento como en escenarios reales. Con este conocimiento, los preparadores físicos militares podrán desarrollar estrategias específicas para minimizar los efectos y garantizar la preparación de las tropas, incluso después de un transporte de carga de larga distancia. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar los efectos sobre el equilibrio corporal y las respuestas fisiológicas durante un ejercicio de transporte de carga durante 4 km, en función del nivel de aptitud física (NAF). Además, también se investigó la relación entre el equilibrio y los cambios fisiológicos provocados por el ejercicio transportando carga.

2 MÉTODOS

2.1 Muestra y diseño del estudio

Se trata de un estudio observacional transversal con una muestra de 22 participantes del sexo masculino de la Escola de Educação Física do Exército (Escuela de Educación Física del Ejército Brasileño) (EsEFEx), una organización militar ubicada en Río de Janeiro, Brasil (muestreo por conveniencia). Los criterios de inclusión fueron ser hombre, con edad entre 18 y 30 años y presentar una puntuación mínima de “Buena” en la última Prueba de Evaluación Física del Ejército (PAFE), que se aplica cada cuatro meses. Este criterio de inclusión fue aplicado para representar al personal militar que normalmente transporta carga en el Ejército Brasileño: empleados en bases operativas, que requieren un mínimo de “Buena”. Ningún individuo tenía antecedentes de trastornos musculoesqueléticos o neurológicos. Los participantes firmaron el Formulario de Consentimiento Informado. El estudio fue aprobado por el comité de ética local (número de protocolo: 83493618.1.00000.5235).

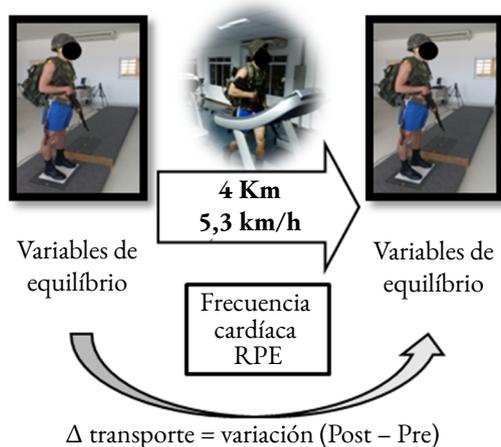
Se calculó un tamaño de muestra de 20 utilizando G*Power (versión 3.1.9.7, Alemania) para los siguientes parámetros: potencia = 0,80, α = 0,05 y tamaño del efecto = 0,35 (Familia de pruebas = pruebas F, ANOVA: medidas repetidas, interacción dentro y entre). Como ningún estudio previo ha realizado esta evaluación antes (antes y después del transporte de carga con variables de equilibrio corporal), se eligió el valor del tamaño del efecto para clasificar este efecto como “no elevado”. Dado que 0,40 o 0,50 a menudo se adoptan como límites para efectos mayores (para el análisis eta), en G*Power se utilizó un valor justo por debajo (0,35). Así, se seleccionaron veintidós militares para evitar que el posible abandono de la muestra redujera la potencia de análisis del estudio.

2.2 Simulación de una marcha de 4 km

La distancia de 4 km se recorrió en 45 minutos a una velocidad constante de 5,3 km/h, en una cinta ergométrica (TechnoGym, modelo Exite Run 900, Italia), en el mismo momento del día para todos los participantes, en un ambiente con temperatura y humedad controlados en el Laboratorio de Biociencias (EsEFEx). Este protocolo se basó en las características de las marchas terrestres establecidas por las directrices del Manual de Campo del Ejército Brasileño (BRASIL, 2019). Los participantes utilizaron su equipo personal (media del participante: $21,8 \pm 0,77$ kg) durante todo el protocolo experimental: rifle, casco, mochila mediana de 15 kg, correas para los hombros, cinturón táctico con una cantimplora de agua (1 litro) sujeta en el lado izquierdo.

Los procedimientos experimentales se realizaron en el siguiente orden: (i) evaluación del equilibrio postural llevando equipo personal; (ii) transporte de carga durante 4 km de marcha simulada en la cinta ergométrica durante la medición de la frecuencia cardíaca (FT1, Polar, Finlandia) y el Índice de Esfuerzo Percibido (RPE); y (iii) evaluación del equilibrio postural posterior a la marcha con equipo personal (Figura 1). Toda la recopilación de datos de cada participante fue de aproximadamente 80 minutos.

Figura 1 – Representación esquemática del protocolo experimental para evaluar el equilibrio postural y fisiológico (frecuencia cardíaca e Índice de Esfuerzo Percibido – RPE)



Fuente: elaborado por los autores, 2023

Todos los equipos individuales fueron pesados en una balanza Filizola®, modelo PL 2007 (Brasil), que también se utilizó para medir la masa corporal total de los participantes. La estatura se midió con un estadiómetro Sanny® (Brasil), de acuerdo con el protocolo estándar.

2.3 Evaluación del equilibrio postural (estabilometría)

Se utilizó una plataforma de fuerza (Bertec, EE. UU.) para evaluar el desplazamiento del centro de presión (COP). Se recopilaron tres pruebas de evaluación del equilibrio postural para garantizar una mayor confiabilidad de los datos (RUHE *et al.*, 2010) y se utilizó su promedio para el análisis. Cada prueba estabilométrica se registró durante 80 segundos, descartando los 20 segundos iniciales para evitar posibles perturbaciones transitorias (CARROLL; FREEDMAN, 1993; LIN *et al.*, 2008). Se estableció un intervalo de 45 segundos entre cada medición, durante el cual los participantes permanecieron sentados, pero sin quitarse el equipo personal. Los datos estabilométricos se recopilaron a una frecuencia de muestreo de 1 kHz y se filtraron utilizando un filtro de paso bajo Butterworth bidireccional de 2^o orden con una frecuencia de corte de 5 Hz (DUARTE; FREITAS, 2010).

Se instruyó a los participantes para que permanecieran en una posición cómoda, con los pies separados aproximadamente al ancho de los hombros. Se marcaba la posición de los pies del participante en una hoja de papel colocada sobre la plataforma de fuerza, para evitar cambios en la zona de la base de apoyo mientras eran realizadas las pruebas. Todos los participantes recibieron instrucciones para evitar el movimiento durante las mediciones y fijaron sus ojos en un punto a tres metros delante de ellos.

Las variables dependientes calculadas a partir del desplazamiento del COP fueron: área de oscilación (mm²), longitud del camino de oscilación (mm) y, por separado, velocidad, desviación estándar y amplitud en las direcciones anteroposterior (AP) y mediolateral (ML) (PRIETO *et al.*, 1996). Estas variables del COP se calcularon mediante rutinas específicas en el software Matlab 2020 (The Mathworks, EE. UU.).

2.4 Evaluación de las variables fisiológicas

Durante la simulación de la marcha, se monitoreó la frecuencia cardíaca (FC) durante todo el experimento y fue registrada a cada cinco minutos mediante un monitor de frecuencia cardíaca portátil (FT1, Polar, Finlandia). El Índice de Esfuerzo Percibido (RPE) también se registró cada cinco minutos, utilizando la escala de Borg modificada, variando de 0 (sin esfuerzo) a 10 (esfuerzo máximo) (BORG, 2000). Antes del ejercicio, los participantes estaban familiarizados con la escala y los investigadores enfatizaron el significado de cada número. Por ejemplo, siempre se afirmó que el número 5 no era “moderado” como muchos podrían pensar (como punto medio entre 0 y 10), sino “difícil”. La FC media y el RPE medio se calcularon considerando las nueve medidas tomadas durante la marcha de 45 minutos. También se analizó la frecuencia cardíaca máxima (FC máx.) y el RPE (RPE máx.), considerando el mayor valor medido en los últimos 15 minutos transportando la carga.

2.5 Nivel de aptitud física (NAF)

Los niveles de aptitud física se obtuvieron utilizando la puntuación obtenida en la última Prueba de Evaluación Física del Ejército (PAFE) registrada en cada expediente institucional individual. El PAFE consiste en una carrera de 12 minutos, flexiones en el suelo, flexiones con barra y abdominales. El personal militar se clasifica con una puntuación de aptitud de acuerdo con los resultados del PAFE: I (insuficiente), R (regular), B (buena), MB (muy buena) y E (excelente) (BRASIL, 2022). El NAF final, registrado en el formulario institucional individual, es la peor calificación entre las cuatro pruebas.

Para evitar el sesgo de selección y de otras fuentes, aplicamos algunas conductas estándar a lo largo de la investigación: (i) los datos de elegibilidad se verificaron en el formulario de anamnesis para preguntas específicas; (ii) el investigador que ayudó al participante a rellenar este formulario no fue quien acompañó a los militares en la simulación de la marcha terrestre de 4 km; y (iii) las puntuaciones del PAFE fueron los últimos datos incluidos en la hoja de cálculo utilizada en el análisis.

2.6 Análisis de los datos

Inicialmente, los participantes se dividieron en dos grupos según su nivel de aptitud física (NAF): un grupo con los participantes que obtuvieron una puntuación PAFE excelente (EX, $n = 11$) y otro grupo con aquellos cuya puntuación PAFE fue buena o muy buena (BMB, $n = 11$). La distribución de datos se evaluó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Para poder identificar los efectos del transporte de carga, considerando el nivel de aptitud física, se aplicó ANOVA mixto de dos vías (para variables de equilibrio postural) y prueba *t* para muestras independientes (comportamiento cardíaco durante el ejercicio de transporte de carga: variables FC media, y FC máxima). Para la clasificación del esfuerzo percibido, la comparación entre grupos según el NAF se realizó mediante la Prueba Exacta de Fisher, que comparó la frecuencia de las puntuaciones del RPE para ambos grupos en el nivel de aptitud física (EX vs. BMB).

Finalmente, se utilizaron las pruebas de correlación de Pearson entre las variables estabilométricas y la frecuencia cardíaca para evaluar la relación entre los cambios en el equilibrio postural causados por el transporte de carga (Δ transporte, para las variables que mostraron cambios significativos en análisis previos) y la demanda de frecuencia cardíaca para el ejercicio (FC media y FC máxima).

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar y como frecuencia. Todos los análisis se realizaron utilizando IBM SPSS Statistics (versión 27). Se consideraron diferencias estadísticamente significativas para valores de $p < 0,05$. El coeficiente de correlación (r) fue considerado muy fuerte para valores de $r \geq 0,9$; fuerte para r entre 0,6 (incluido) y 0,9; regular para r entre 0,3 (incluido) y 0,6; y débil para r entre 0 y 0,3 (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

3 RESULTADOS

Se evaluaron 22 militares ($27,09 \pm 2,07$ años, $75,70 \pm 9,14$ kg y $1,77 \pm 0,07$ m). Con relación a la última puntuación obtenida en la Prueba de Evaluación Física del Ejército (PAFE), el 31,80% de los participantes se clasificó como buena (B), el 18,20% como muy buena (MB) y el 50,00% como excelente (E). Las características antropométricas del grupo excelente (EX, $n = 11$)

fueron $27,09 \pm 1,97$ años, $70,26 \pm 7,73$ kg, $1,75 \pm 0,07$ m) y para el grupo buena y muy buena (BMB, n = 11) fueron $27,09 \pm 2,26$ años, $81,13 \pm 7,13$ kg, $1,79 \pm 0,07$ m.

El ANOVA mixto de dos vías mostró cambios debido al efecto principal del transporte de carga, con aumentos significativos en: el área de oscilación ($F = 13,174$, $p = 0,002$), desviación estándar de ML ($F = 16,836$, $p = 0,001$) y amplitud de ML ($F = 26,648$, $p < 0,001$) (Tabla 1). No se observó diferencias en el efecto principal del nivel de aptitud física y tampoco se verificó alguna interacción.

Tabla 1 – Variables de equilibrio corporal antes y después del transporte de carga durante 4 km para los grupos de nivel de aptitud física total (n=22), excelente (EX, n=11) y buena o muy buena (BMB, n=11)

Variables	Antes de transportar la carga	Después de transportar la carga
Área de oscilación (mm²)		
EX	69,03 ± 38,59	94,04 ± 57,18
BMB	75,39 ± 22,33	111,32 ± 38,98
Total	72,21 ± 30,94	102,68 ± 48,57*
Velocidad media ML (mm/s)		
EX	2,61 ± 0,75	2,53 ± 0,73
BMB	2,56 ± 0,50	2,71 ± 0,56
Total	2,59 ± 0,62	2,62 ± 0,64
Velocidad media AP (mm/s)		
EX	4,51 ± 0,76	4,37 ± 0,93
BMB	4,68 ± 1,15	4,86 ± 0,97
Total	4,59 ± 0,95	4,61 ± 0,96
Desviación estándar ML (mm)		
EX	1,88 ± 0,71	2,46 ± 0,97
BMB	1,80 ± 0,41	2,56 ± 0,55
Total	1,84 ± 0,57	2,51 ± 0,77*
Desviación estándar AP (mm)		
EX	3,28 ± 1,01	3,64 ± 1,55
BMB	3,72 ± 0,83	3,79 ± 1,01
Total	3,50 ± 0,93	3,71 ± 1,28
Amplitud ML (mm)		
EX	9,88 ± 3,44	12,15 ± 4,30
BMB	9,37 ± 1,95	13,47 ± 2,40
Total	9,62 ± 2,74	12,81 ± 3,46*
Amplitud AP (mm)		
EX	17,24 ± 5,07	17,67 ± 5,66
BMB	19,10 ± 3,81	19,91 ± 5,18
Total	18,17 ± 4,48	18,79 ± 5,41
SPL (mm)		
EX	340,11 ± 60,55	328,33 ± 71,38
BMB	347,05 ± 65,98	362,36 ± 62,94
Total	343,58 ± 61,90	345,34 ± 67,94

Los datos se muestran como media ± desviación estándar. AP = dirección anteroposterior.

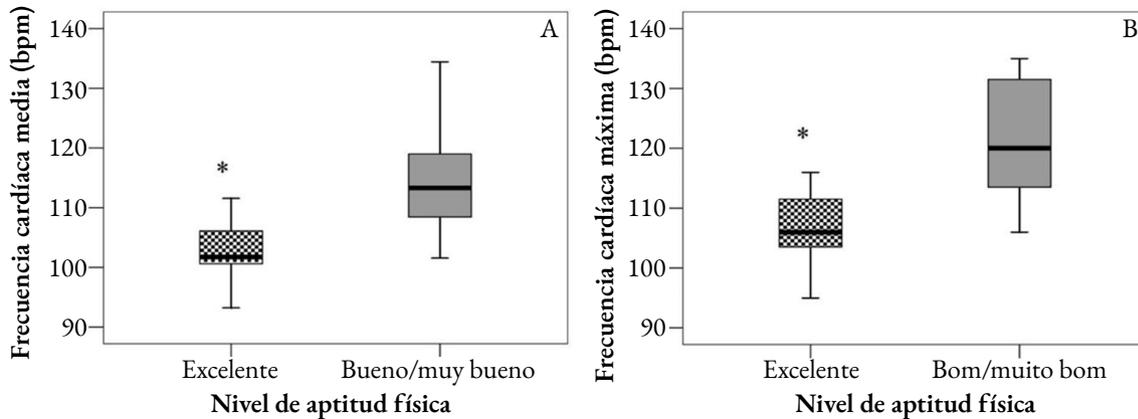
EX = grupo excelente (n = 11). BMB = grupo siendo buena y muy buena (n = 11). ML = dirección mediolateral.

SPL = longitud del camino de oscilación. * $p < 0,05$

Fuente: elaborado por los autores, 2023

El comportamiento cardíaco, según el nivel de aptitud física, presentó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Los participantes con excelente nivel de aptitud física mostraron menor esfuerzo cardíaco que el grupo con buena/muy buena aptitud física, con valores de frecuencia cardíaca media y máxima más bajos (Figura 2).

Figura 2 – Diagramas de caja (mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil, valores máximos) para la frecuencia cardíaca media (A) y la frecuencia cardíaca máxima (B). * diferencia estadística entre los grupos de nivel de aptitud física (prueba t para muestras independientes)



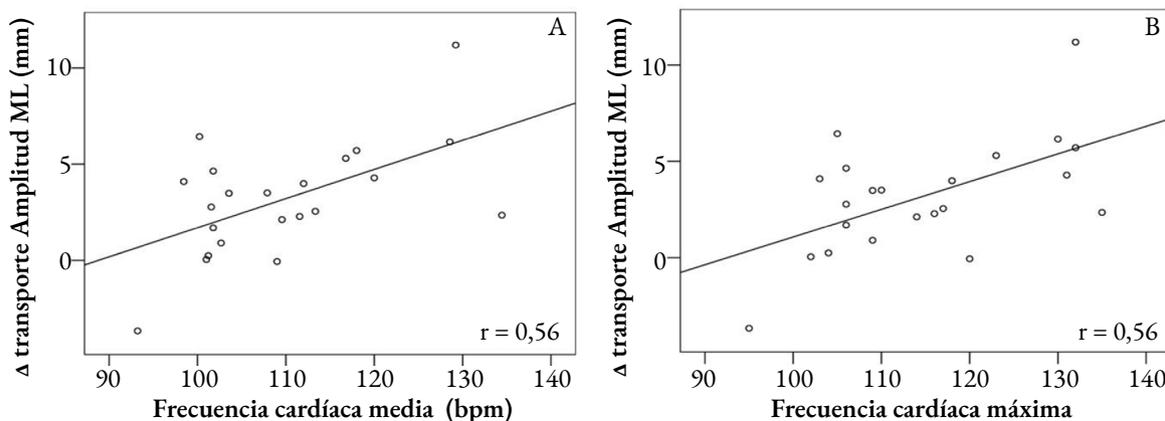
Fuente: elaborado por los autores, 2023

A pesar de la diferencia encontrada para la frecuencia cardíaca, el Índice de Esfuerzo Percibido (RPE) no mostró diferencias entre los grupos EX y BMB, tanto para el RPE medio como para el máximo. El análisis de los valores medios de RPE para EX mostró que siete participantes tuvieron una puntuación 2 y cuatro participantes una puntuación 3. En el grupo BMB, cuatro participantes tuvieron una puntuación 2 y siete participantes una puntuación 3. La Prueba Exacta de Fisher no mostró diferencias estadísticas para el RPE medio ($p = 0,40$). Para la variable RPE máximo, seis participantes del grupo EX reportaron 2 como RPE máximo, cuatro reportaron 3 y uno reportó 4. En el grupo BMB, dos participantes reportaron 2 como RPE máximo, ocho reportaron 3 y uno reportó 4. Al igual que el RPE medio, el RPE máximo no presentó diferencias estadísticas en la Prueba Exacta de Fisher ($p = 0,19$).

Finalmente, las variables cardíacas mostraron una correlación significativa, positiva y regular con Δ transporte Desviación estándar ML (FC media: $r = 0,50$, $p = 0,019$; FC máxima: $r = 0,46$, $p = 0,033$) y Δ transporte Amplitud ML (FC media: $r = 0,56$, $p = 0,007$, FC máxima: $r = 0,56$, $p = 0,007$) (Figura 3). Se encontró otra correlación significativa entre la FC media y Δ área de oscilación de transporte ($r = 0,45$, $p = 0,038$). La correlación entre FC máxima y Δ Área de oscilación de transporte no mostró resultados significativos ($r = 0,38$, $p = 0,083$).

Figura 3 – Gráficos de dispersión para Δ amplitud de transporte ML vs. frecuencia cardíaca media (A) y frecuencia cardíaca máxima (B)

r = Coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: elaborado por los autores

4 DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo identificar los efectos del transporte de carga (alrededor de 22 kg) durante 4 km sobre el equilibrio postural y las respuestas cardíacas, comparando individuos con diferentes niveles de aptitud física. Los resultados mostraron que: (i) llevar equipo personal durante 4 km provocó cambios en el área de oscilación, la amplitud ML y la desviación estándar ML; (ii) el nivel de aptitud física se asoció con la frecuencia cardíaca al caminar en la cinta, pero no con cambios en el control postural; y (iii) hubo una correlación positiva entre los cambios posturales y fisiológicos derivados por el transporte de carga.

4.1 Equilibrio postural y transporte de carga

Los cambios observados en el equilibrio postural tras el transporte de carga podrían explicarse por un posible cansancio provocado por la tarea. En ejercicios militares prolongados, soportar el equipo personal parece conducir a una fatiga muscular significativa en las extremidades inferiores. El agotamiento de estos músculos impacta en el equilibrio corporal, con mayor dificultad y alteraciones en la propiocepción (ARLIANI *et al.*, 2013; MARCHETTI; ORSELLI; DUARTE, 2013). Es complicado mantener el equilibrio postural después de pequeñas perturbaciones, debido a los cambios en el sentido de la posición (ALLEN; PROSKE, 2006) y la estabilidad de la articulación del tobillo (YAGGIE; MCGREGOR, 2002), además de perjudicar las sinergias de los músculos de la cadera y la rodilla. para reaccionar ante pequeños trastornos (GRIBBLE; HERTEL, 2004). Además, la fatiga afecta la función neuromuscular en sí, empeorando la capacidad de contracciones musculares rápidas y ajustes posturales adecuados.

Varios estudios han argumentado que la fatiga es un factor que perjudica el equilibrio postural (ALLEN; LEUNG; PROSKE, 2010; NARDONE *et al.*, 1997; RAHNAMA *et al.*, 2003). Por ejemplo, Baroni *et al.* (2011) confirmaron la relación directa de dependencia entre fatiga y equilibrio postural

(en donde una mayor fatiga conduce a mayor desequilibrio); pero este resultado fue observado por la aplicación de un protocolo de fatiga en cicloergómetro, diferente del abordaje del presente estudio. Otros autores llegaron a conclusiones similares utilizando dinamometría isocinética en el aislamiento de grupos musculares (GRIBBLE; HERTEL, 2004; YAGGIE; MCGREGOR, 2002). Nuestro estudio muestra que el equilibrio postural es modulado por una tarea previa de transporte de carga y que las correlaciones positivas observadas entre los cambios posturales y fisiológicos mejoran esta discusión, afirmando que cuanto mayor es el esfuerzo cardíaco durante el ejercicio, peor es el equilibrio corporal. Ciertamente, siendo un estudio observacional transversal, esta correlación no garantiza una relación causa-efecto, pero al verificar estos resultados, parece que la visión integradora (comportamiento bio-mecánico, neurológico y fisiológico) mencionada en la introducción tiene sentido.

Nuestros resultados mostraron alteraciones significativas en los ajustes posturales del ML después del transporte de cargas, lo que podría explicarse debido a una posible asimetría de carga en las extremidades (ZULTOWSKI; ARUIN, 2008). Durante la marcha de 4 km, a los participantes se les permitió llevar el arma en la posición que consideraran más cómoda, pero alternaron el arma entre las dos manos, algo que podría haber causado las diferencias percibidas principalmente en el eje ML. También cabe mencionar que el cuerpo humano cuenta con estrategias posturales para mantener el equilibrio en relación a los ejes de movimiento. Para el eje AP parecen observarse más las estrategias de tobillo y cadera (HORAK; NASHNER, 1986), y para el eje ML es más frecuente la estrategia de carga-descarga (WINTER, 1995), que muestra cierta asimetría postural. En este sentido, no sorprende en absoluto que el eje ML tuviera el mayor impacto sobre los parámetros estabilométricos en función de la demanda física.

Hasta donde sabemos, el presente estudio fue el primero en evaluar el equilibrio postural después de caminar largas distancias mientras se transportaba una carga. El único estudio que abordó las posturas estáticas después de llevar una carga evaluó la alineación postural después de caminar con una carga durante 6 minutos. Dahl *et al.* (2016) encontraron un aumento en la hiperextensión del cuello después de caminar, pero no investigaron el equilibrio postural.

4.2 Relación entre el nivel de aptitud física y la frecuencia cardíaca junto con los cambios estabilométricos

Nuestros resultados mostraron que el nivel de aptitud física se asoció con el comportamiento cardíaco en el ejercicio de transporte de carga. Los participantes con mejores puntuaciones PAFE realizaron la marcha de 4 km con menos esfuerzo cardíaco, siendo reflejado con valores de FC promedio y máximo más bajos. Además, el aumento de los parámetros estabilométricos posteriores a la marcha no fue el mismo para todos los individuos de la muestra. Los que mostraron más alteraciones en el equilibrio postural después de la marcha de 4 km son los que también mostraron mayor esfuerzo cardiovascular. Los participantes que tuvieron una mejor aptitud física probablemente se adaptaron mejor al ejercicio, lo que puede haber contribuido a una menor necesidad de ajustes de la frecuencia cardíaca durante menor esfuerzo físico.

Aunque nunca se ha investigado la asociación entre el comportamiento cardíaco, en un ejercicio de transporte de carga durante largas distancias, y los niveles de aptitud física, los resultados corroboran las tesis tradicionales en el área de estudio de la fisiología del ejercicio.

Los individuos con mejores niveles de aptitud física tendrían una mejor eficiencia/economía de movimientos, requiriendo menos de su sistema cardiovascular en una tarea física determinada (LITLESKARE *et al.*, 2020). Aunque observamos una influencia del nivel de aptitud física en el comportamiento de la frecuencia cardíaca, no hubo impactos en el equilibrio corporal. Esto se puede explicar por el alto nivel de experiencia de los participantes y el bajo nivel de dificultad de la evaluación del equilibrio (60 segundos manteniendo una posición vertical con el equipo personal).

4.3 Limitaciones y puntos destacados

No se realizaron pruebas específicas para evaluar la fatiga muscular periférica relacionada con la marcha de 4 km, lo cual es una de las limitaciones del presente estudio. Otra limitación importante fue el uso de una cinta ergométrica para realizar la simulación de una marcha en un ambiente controlado, cuando los ejercicios reales con transporte de carga suelen ser realizadas por tropas en terrenos irregulares, con fuertes pendientes y en las más variadas condiciones climáticas. Sin embargo, dado que este fue el primer estudio que examinó los efectos del transporte de carga durante largas distancias sobre el equilibrio postural, se decidió trabajar en un entorno controlado, para permitir un seguimiento integral e individualizado.

Usar la escala RPE con miembros de las fuerzas armadas no es una labor fácil. Debido a que estos individuos generalmente están en buena forma física (debido a su entrenamiento militar), a menudo subestiman el esfuerzo percibido en la mayoría de las tareas. En este sentido, es fundamental familiarizarse con el significado de cada valor de la escala, siendo esta la estrategia llevada a cabo en el presente estudio. Finalmente, cabe señalar que de entre las diversas investigaciones sobre el transporte y soporte de carga, el tamaño de la muestra con 22 sujetos es más numeroso que en la mayoría de los otros estudios, lo que aumenta la trascendencia de nuestras revelaciones.

5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Transportar 22 kg durante 4 km empeoró el equilibrio corporal con cambios en el área de oscilación, la desviación estándar mediolateral y la amplitud mediolateral. Los participantes con un mejor nivel de aptitud física realizaron este ejercicio con menor esfuerzo cardíaco, pero no se observó influencia en la oscilación del cuerpo. Por último, los participantes que realizaron el transporte de carga durante 4 km con menor esfuerzo cardíaco también mostraron las menores variaciones en el equilibrio postural, dependiendo del transporte de carga.

Otras investigaciones sobre este tema podrían evaluar el comportamiento de la frecuencia cardíaca después de realizar el ejercicio de transporte de carga, con el fin de identificar cuánto tiempo los militares mantienen las condiciones cercanas a las de preesfuerzo, hecho que mejora la capacidad para llevar a cabo las misiones asignadas. Otra sugerencia es evaluar los efectos del transporte de carga posicionado simétricamente sobre el equilibrio postural, verificando si estos efectos desaparecen, como suele ocurrir en las tareas de soporte de carga. Además, sería importante verificar las modificaciones después de transportar cargas en campo (fuera del laboratorio) y también en distancias más largas.

AUTORÍA Y CONTRIBUCIONES

Miriam Raquel Meira Mainenti, Ricardo Alexandre Falcão, Luis Aureliano Imbiriba – concepción y diseño de la obra; recopilación, análisis e interpretación de datos; revisión crítica de la obra para garantizar la relevancia del contenido intelectual; aprobación final de la versión enviada a la Coleção Meira Mattos (Colección Meira Mattos).

Jonathan Vieira da Silva, Victor Vinícius Ribeiro Lima – recopilación, análisis e interpretación de datos; elaboración del trabajo; aprobación final de la versión enviada a la Coleção Meira Mattos (Colección Meira Mattos).

Fabio Alves Machado – interpretación de datos; revisión crítica del trabajo para garantizar la relevancia del contenido intelectual; aprobación final de la versión enviada a la Coleção Meira Mattos (Colección Meira Mattos).

Adriane Mara de Souza Muniz – análisis e interpretación de datos; revisión crítica del trabajo para garantizar la relevancia del contenido intelectual; aprobación final de la versión enviada a la Coleção Meira Mattos (Colección Meira Mattos).

REFERENCIAS

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: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16328298/>. Acesso en: 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: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2872740/>. Acesso en: 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: <https://www.scielo.br/j/aob/a/TTs4rXhkqgDbMqtDcDhQLfw/?lang=pt>. Acesso en: 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: <https://www.scielo.br/j/rbcdh/a/gxZPZRjTt65QTPKz9MMHXqH/?lang=pt>. Acesso en: 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: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/>. Acesso en: 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: http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/006_outras_publicacoes/01_diretrizes/04_estado-maior_do_exercito/port_n_850_eme_31ago2022.html. Acesso en: 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: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8478345/>. Acesso en: 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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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: <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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26101902/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22814245/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9284239/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24491620/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9214811/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14626373/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21356532/>. Acceso en: 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. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20947353/>. Acceso en: 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: <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: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18725699/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

